

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO DE SANTA CATARINA

Gabrielly Cristhine Zwang Baptista¹
Dirceu Luis Severo²

Resumo: O objetivo deste trabalho é caracterizar a variabilidade espacial e temporal da precipitação de Santa Catarina, verificando tendências e ciclos nas suas séries históricas. Foram analisadas 127 séries pluviométricas, distribuindo-as espacialmente, dividindo-as em seis regiões homogêneas. Selecionou-se estações pluviométricas representativas de cada região, que foram submetidas aos testes de Mann Kendall e Sen (análise de tendências) e à Análise de Ondaletas para observação do comportamento temporal da precipitação para a identificação de ciclos. Encontrou-se uma divisão espacial Leste-Oeste, com distribuições pluviométricas diferenciadas tanto em intensidade quanto em relação ao período chuvoso. As séries analisadas, de forma geral, não apresentaram tendência significativa. Quanto ao comportamento temporal, foi possível verificar ciclos com multiescalas temporais coincidentes com a eventos climáticos como El Niño e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

Palavras-chave: Variabilidade espaço-temporal; Tendências; Ondaletas.

SPACE AND TIME VARIABILITY OF THE RAINFALL IN SANTA CATARINA

Abstract: The aim of this study is to characterize the space and time variability of rainfall in the Santa Catarina state, searching for trends and cycles in time series. We analyzed 127 rainfall time series, distributing them spatially and identified six regions with homogeneous behavior. From these, representing rainfall time series were selected, which were submitted to Mann Kendall's and Sen's tests (trends analyze) and Wavelet Analysis to identify cycles. We found a east-west space division, with rainfall distributions different both in intensity and in relation to the rainy season. The time series analyzed, in general, no significant trend were identified. As for the temporal behavior, it was possible to verify cycles with temporal multiscale coincident with climatic events such as El Niño and Pacific Decadal Oscillation (PDO).

Keywords: Spatiotemporal variability; Trends; Wavelets.

VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN DE SANTA CATARINA

Resumen: El objetivo de este trabajo es caracterizar la variabilidad espacial y temporal de la precipitación de Santa Catarina, verificando tendencias y ciclos en sus series históricas. Se analizaron 127 series pluviométricas, distribuyéndolas espacialmente, dividiéndolas en seis regiones homogéneas. Se seleccionaron estaciones pluviométricas representativas de cada

¹ Msc., Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Email: gabriellyzbaptista@gmail.com

² Dr., Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Email: dirceuluis@gmail.com

región, que fueron sometidas a las pruebas de Mann Kendall y Sen (análisis de tendencias) y al Análisis de Ondaletas para observación del comportamiento temporal de la precipitación para la identificación de ciclos. Se encontró una división espacial Este-Oeste, con distribuciones pluviométricas diferenciadas tanto en intensidad como en relación al período lluvioso. Las series analizadas, en general, no presentaron una tendencia significativa. En cuanto al comportamiento temporal, fue posible verificar ciclos con multiescalas temporales coincidentes con eventos climáticos como El Niño y Oscilación Decadal del Pacífico (ODP).

Palabras clave: Variabilidad espacio-temporal; tendencias; wavelets

INTRODUÇÃO

A importância do estudo da precipitação está relacionada com a disponibilidade hídrica, a produtividade agrícola, e também a determinação de particularidades locais. O conhecimento da variabilidade espacial e temporal se faz necessária para o planejamento e desenvolvimento de diversas atividades antrópicas (SILVA; REBOITA, 2013).

O clima é o comportamento do estado médio e estatístico da variabilidade de parâmetros do tempo referente a um período suficientemente longo, com no mínimo 30 anos. Os dados de precipitação são comumente utilizados, e sua variabilidade espacial e temporal é consequente das características do clima de determinada região. As séries temporais de precipitação são formadas por variáveis discretas e não estacionárias, ou seja, apresentam componentes como sazonalidade, tendências e aleatoriedade.

RAO et al. (2016) observaram que em Santa Catarina o período chuvoso apresentava tendência de alteração crescente e o período seco decrescente, mas com baixa significância estatística. Outros estudos foram realizados na região, como Pinheiro, Graciano e Severo (2013) que analisaram as tendências em séries de chuva de longa duração para o sul do Brasil; Back, Bruna e Felipetto (2013) que avaliaram as tendências em estações pluviométricas do planalto serrano catarinense. Em todos os estudos, apenas a estação pluviométrica instalada no município de Pomerode (SC) apresentou tendência crescente e significativa (PINHEIRO; GRACIANO; SEVERO, 2013).

Considerando a não aleatoriedade das séries temporais, também é possível identificar ciclos com escalas superiores àqueles associados às variações sazonais. Essas variações cíclicas são associadas a fenômenos climáticos, como o El Niño e outros ciclos multianuais, como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) (SIQUEIRA; MOLION, 2015). Para estas análises são utilizadas ferramentas, como a Transformada das Ondaletas (TO), que decompõem os sinais em tempo e escala, sendo possível observar sinais com maior energia, que, ordenados no tempo, indicam ciclos significativos nas séries analisadas (TORRENCE; COMPO, 1998).

O estado de Santa Catarina está localizado na região Sul do Brasil, apresentando importância, a nível nacional, no setor agropecuário, atividade para a qual é necessário o conhecimento da distribuição da precipitação. Os estudos existentes do clima desta região, no entanto, foram realizados de forma pontual, não contextualizando todas as regiões do estado (CRUZ; MINUZZI, 2009; BACK; BRUNA; FELIPETTO, 2013).

O clima catarinense é influenciado principalmente pela proximidade do anticiclone do Atlântico Sul, conciliado com fatores geomorfológicos que determinam os balanços de calor e de umidade (VICTORIA; PEREIRA; VICTORIA, 2007), também apresentando influências locais expressivas.

Sabendo-se da importância das informações da precipitação para o desenvolvimento das atividades econômicas do estado, o objetivo deste trabalho é caracterizar a variabilidade espacial e temporal da precipitação de Santa Catarina e verificar tendências e ciclos nas séries temporais de precipitação.

Material e métodos

O estado de Santa Catarina se localiza na região Sul do Brasil, com uma área de 95,4 mil km² e banhado pelo oceano Atlântico. Apresenta distribuição regular da precipitação, com ocorrência de chuvas em todos os meses do ano.

Para este estudo, foram utilizados os totais mensais precipitados obtidos no site da Agência Nacional de Águas (ANA) (<http://hidroweb.ana.gov.br/>). Selecionou-se 105 estações pluviométricas abrangendo todo o estado de Santa Catarina, bem como 8 estações localizadas no perímetro limítrofe com o estado do Rio Grande do Sul e 14 com o Paraná, totalizando 127 estações. A seleção dessas séries foi realizada através da análise de todas as estações pluviométricas localizadas no estado, e foram utilizadas apenas aquelas que possuíam menos de 1% de falhas. Estas falhas foram preenchidas pela média mensal do mês faltante, não alterando estatisticamente a série.

A utilização das séries localizadas nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul foram necessárias para delimitar a região oeste de Santa Catarina, pois considerável número de estações localizadas no oeste do estado não atendeu ao critério de seleção. Caso não fosse adicionada tais estações, não seria possível a delimitação desta região catarinense.

As séries temporais selecionadas foram ordenadas no mesmo período, entre 1984-2014, e se determinou as médias mensais. Com estas séries, realizou-se uma distribuição espacial da precipitação, afim de determinar a climatologia e variabilidade espacial do período analisado.

Essas séries de médias mensais foram submetidas a uma análise de agrupamento hierárquico (Cluster) pelo método de Ward (1963). Essa análise tem o intuito de agrupar as estações com padrões similares de precipitação mensal a partir das dissimilaridades calculadas pelo método (LYRA; OLIVEIRA-JÚNIOR; ZERI, 2014). Definidas as regiões homogêneas, foram escolhidas como representativas as estações pluviométricas que apresentavam menor número de falhas e maior quantidade de dados.

As séries representativas foram submetidas aos testes de Mann-Kendall e Sen para tendências (MANN, 1945; KENDALL, 1975; SEN, 1978). Os testes de Mann-Kendall e Sen foram aplicados para as séries anuais, e para os trimestres mais e menos chuvosos de cada estação, estabelecidos na análise das estações.

O teste de Mann-Kendall é uma análise não paramétrica recomendado para a verificação de tendências em séries temporais de elementos climáticos. O método considera os dados como variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas, e as características intrínsecas nesse teste são de grande importância para a aplicação em séries com variáveis climatológicas, pois não dependem do tipo de série temporal (FERRARI; VECCHIA; COLABONE, 2012).

Para aferição de ciclos, utilizou-se a transformada em ondaletas (TO). O objetivo desse método é dar orientações que forneça boa resolução em tempo e frequência em qualquer localização no plano tempo-frequência, permitindo obter informações da amplitude de quaisquer sinais periódicos dentro da série, e também informações de como esta amplitude varia ao longo do tempo (DOMINGUES et al., 2016).

A TO é uma transformada integral linear utilizada na exploração de características de sinais não-estacionários, a fim de extrair informações sobre variações em certas bandas de frequências e/ou detectar estruturas locais presentes (DOMINGUES et al., 2016). A TO da Função $f(t) \in L^2(\mathfrak{R})$ é definida pela expressão (Equação 1):

$$W_{\psi}f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

em que $a \neq 0 \in \mathfrak{R}^+$ e $b \in \mathfrak{R}$.

Existem algumas funções de ondaletas analisadoras que podem ser utilizadas na análise de TO. As ondaletas analisadoras devem satisfazer a conceitos como admissibilidade, energia unitária e se diferem intrinsecamente em aspectos como momentos nulos e regularidade, que são importantes para sua escolha (DOMINGUES et al., 2016). Optou-se na utilização da ondaleta analisadora de “Morlet”, que apresenta uma boa definição no espaço espectral, fornecendo maior precisão no valor da frequência, que é definida com um produto

entre uma exponencial complexa e um envelope Gaussiano (DOMINGUES et al., 2016). A função ondaleta de Morlet é expressa pela equação 2.

$$g(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (2)$$

em ω_0 é uma frequência adimensional e t é cada valor da série temporal.

Em séries temporais de precipitação é comum serem observados sinais de oscilações em diversas escalas temporais. Uma das dificuldades de identificação de frequências mais baixas é que o sinal de fenômenos associados a frequências mais altas apresenta energia mais elevada. Essas escalas sazonais apresentam maior variabilidade (energia) devido a predominância dos fenômenos regionais sobre os de escala global no auge do verão (SIQUEIRA; MOLION, 2015).

Para auxiliar na identificação e análise de fenômenos de frequência mais baixa é frequente o uso de processos de filtragem dos dados. No presente estudo, as séries temporais foram filtradas com o filtro de Lanczos (DUCHON, 1979) com a utilização de 15 pesos, para reter apenas a parte do sinal com bandas superiores a 12 meses.

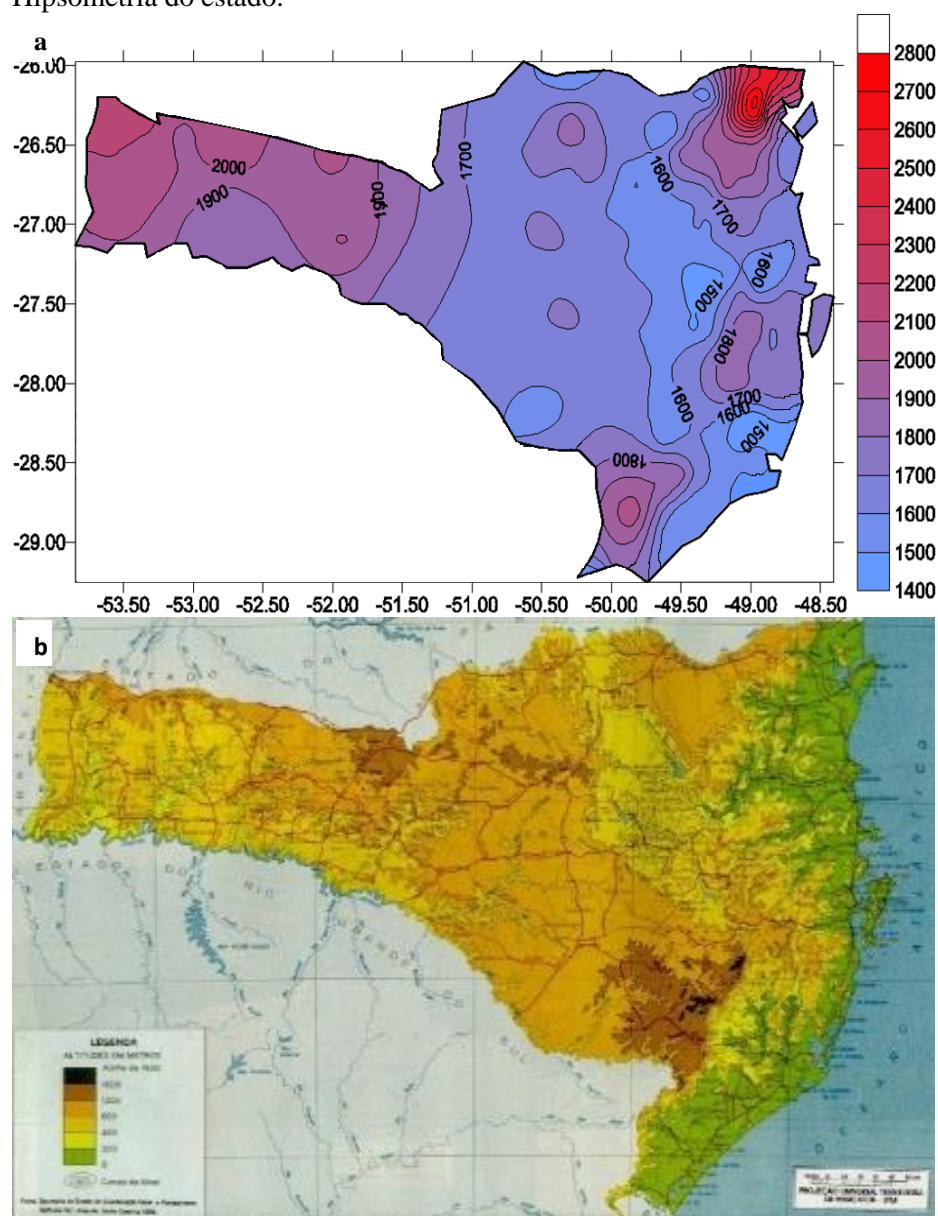
Desenvolvimento

CLIMATOLOGIA DE SANTA CATARINA E SUA VARIABILIDADE ESPACIAL

A climatologia de Santa Catarina é influenciada por fatores de ordem estática (geográfica) e dinâmica. Entre os fatores geográficos se destaca o relevo. Conforme a altimetria do estado, presente no levantamento do IBGE, mais de 56% da área territorial está localizada entre as altitudes de 300-900 m e o restante distribuído, quase igualmente, entre altitudes superiores e inferiores a este limite (Figura 1b) (NIMER, 1971).

Quanto aos fatores dinâmicos, a Região Sul é influenciada por diversos sistemas de latitudes médias e baixas como sistemas frontais, ciclones, vórtices ciclônicos em altos níveis, linhas de instabilidade pré-frontais e complexos convectivos de mesoescala (REBOITA et al., 2010). Embora apresente homogeneidade quanto aos fatores climáticos, a precipitação anual de Santa Catarina apresenta algumas distinções em sua distribuição, como apresentado na Figura 1a. Comparando a climatologia anual da precipitação (Figura 1a) com a hipsometria do estado (Figura 1b), identifica-se que a distribuição da precipitação catarinense acompanha sua geomorfologia.

Figura 1. a) Climatologia anual da precipitação de Santa Catarina para o período de 1984-2014. b) Hipsometria do estado.



Fonte: Autores (2016).

Na climatologia anual da precipitação, observa-se no extremo nordeste de Santa Catarina, uma altura pluviométrica média entre 2.600 e 2.700 mm. Dentre os fatores que podem influenciar essa distribuição se encontram o relevo e a proximidade litorânea. No estado do Paraná, há o Planalto de Curitiba, com altitude superior a 850 m, que apresenta descontinuidade quando chega ao estado catarinense, favorecendo a formação de chuvas orográficas. Também há nesta região formação de tempestades associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que gera áreas de instabilidade que se orientam de noroeste para sudeste formando uma banda de nebulosidade e chuvas, desde o sul do Amazonas, até o norte do Estado de Santa Catarina (MONTEIRO, 2001).

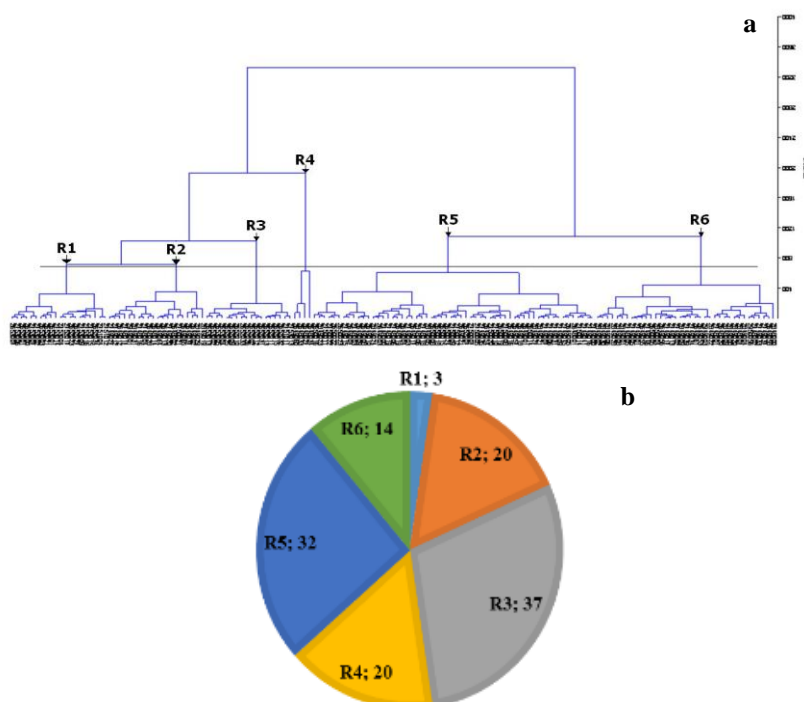
Entre a região oeste e o Planalto Serrano catarinense, o total anual precipitado em relação ao litoral é maior, entre 1900 e 2000 mm (Oeste) e entre 1600 e 1700 mm (Planalto Serrano) ao ano. Segundo Monteiro (2001), isso ocorre devido a influência da “Baixa do Chaco”, especialmente entre o inverno e a primavera, ocasionando instabilidades associadas às frentes frias, com formação de pancadas de chuva e trovoadas.

A região litorânea do estado possui um ritmo estacional “de certa forma regular”, como descrito por Nimer (1971). Nessa região, a altura pluviométrica não é tão elevada e nem bem distribuída, apresentando significativa diferença entre os períodos mais e menos chuvosos. O período mais chuvoso ocorre nos meses de verão e mais seco no inverno, sendo um ritmo estacional característico de regiões com clima tropical, ocasionado pela proximidade do oceano.

REGIÕES HOMOGÊNEAS

Determinou-se pelo método de agrupamento seis regiões com características homogêneas (Figura 2). A região R1 apresentou o menor número de estações, e também a maior variabilidade nos dados de precipitação.

Figura 2. Dendograma (a) e Distribuição do número de estações por regiões homogêneas (b).



Fonte: Autores (2016).

A distribuição espacial das regiões encontradas (Figura 3) apresenta uma configuração de leste para oeste, com uma separação a partir da Serra Geral, situada no Planalto Serrano. As estações que formaram a região 5 (R5) se localizam no oeste e meio-oeste do estado de Santa Catarina, sudoeste do Paraná e noroeste do Rio Grande do Sul. As estações da região 2 (R2) estão distribuídas no Planalto Serrano. A região 1 (R1) está localizada no extremo norte catarinense. As estações pluviométricas das regiões 3, 4 e 6 são gradualmente distribuídas a partir do Planalto Serrano. Contíguo ao Planalto se localiza a região 3 (R3), com relativa altitude, especialmente situada no início e meio de importantes bacias hidrográficas, como a do rio Itajaí, também incluindo as escarpas do Norte e Sul (Serra do Mar). Na região 4 (R4), conseqüente à R3, localizam-se regiões de profundos vales, como o Baixo Vale do Itajaí e a bacia do Itapocu, e também áreas que circundam o litoral, na encosta da Serra do Mar. Por fim, na região 6 (R6) estão as estações localizadas no litoral Norte e Sul catarinense.

Figura 3 - Distribuição espacial das regiões homogêneas



Fonte: Autores (2016).

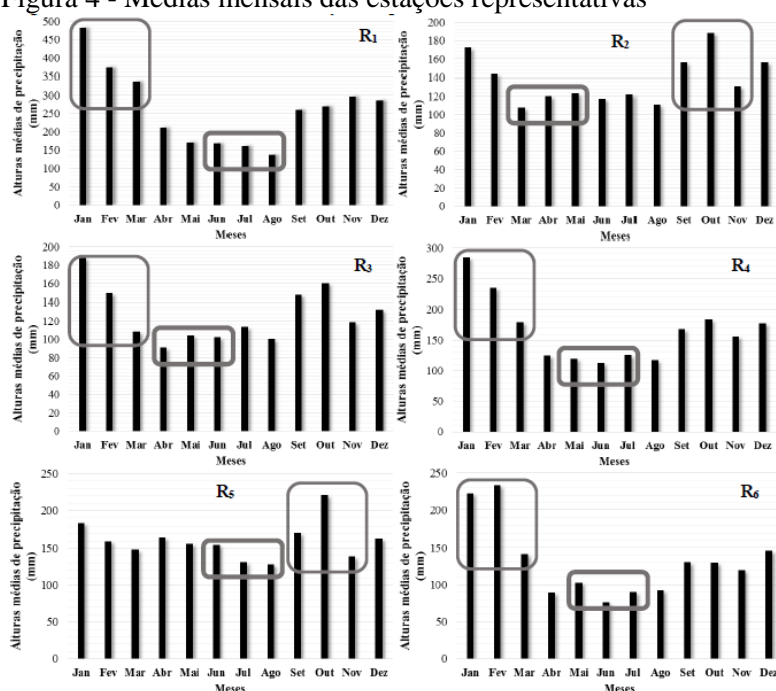
Como as séries pluviométricas pertencentes a cada região homogênea apresentam características semelhantes, pode-se escolher uma delas como representativa da região homogênea. Os critérios utilizados para selecionar a série representativa foi o maior período de dados e o menor número de falhas. As estatísticas destas séries representativas são mostradas na Tabela 1. Os períodos mais chuvosos são demonstrados nos gráficos das médias mensais observados na Figura 4.

Tabela 1 – Estações definidas para a caracterização das regiões.

Re-gião	Estação	Média anual (mm)	Desv. Pad. (mm)	Série (anos)	Altítu- de (m)	Tri + chuva-so	Tri- chuva-so	Município
1	2649060	2408,4	527,7	1981-2014	790,0	Jan/Fev/Mar	Jun/Jul/Ago	Joinville
2	2750009	1650,6	344,1	1958-2014	829,0	Set/Out/Nov	Mar/Abr/Maio	Curitibanos
3	2749001	1519,5	288,0	1934-2014	151,0	Jan/Fev/Mar	Abr/Maio/Jun	Ibirama
4	2649002	1986,4	348,8	1929-2014	63,0	Jan/Fev/Mar	Maio/Jun/Jul	Pomerode
5	2652000	1920,4	544,0	1957-2014	760,0	Set/Out/Nov	Jun/Jul/Ago	Abelardo Luz
6	2849001	1576,7	311,5	1939-2014	80,0	Jan/Fev/Mar	Maio/Jun/Jul	Orleans

Fonte: Autores (2016).

Figura 4 - Médias mensais das estações representativas



Fonte: Autores (2016).

ANÁLISE DE TENDÊNCIA

Os testes de tendência foram aplicados às séries anuais e dos trimestres secos e chuvosos apresentados na Tabela 1. Como os dados são mensais, as tendências estariam mais presentes em períodos com mais ou menos chuvas, bem como poderiam ser visualizadas nos totais anuais. Essa análise foi realizada para a série completa de cada estação, não contemplando o mesmo período.

A estação representativa da R4 foi a única que apresentou tendência significativa para as três séries analisadas, referentes aos trimestres seco e chuvoso, e a série anual, corroborando o encontrado por Pinheiro, Graciano e Severo (2013). A série anual da R2, também apresentou significância, porém não foi identificada alteração nas séries trimestrais.

Os resultados obtidos pelo teste de Mann-Kendall (Tabela 2) foram próximos ao de Rao et al. (2016), em que na maioria das regiões analisadas não houve indícios de tendências significativas.

Os coeficientes angulares (α) da reta, ajustada pelo método dos mínimos quadrados, além do valor da estatística z para cada série analisada, são mostrados na Tabela 2. Nota-se que, a um nível de significância de 95%, duas regiões apresentam tendência de decréscimo da precipitação. Uma delas é a R5 que corresponde a região oeste do estado de Santa Catarina. Esse decréscimo pode estar associado a intensos eventos de La Niña ocorridos na década de 2000, que ocasionaram períodos de seca na região, resultando em prejuízos nas safras (CRUZ; MINUZZI, 2009). Os maiores valores observados para a R1 refletem o menor período de dados utilizados e também a maior variabilidade entre os extremos (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise de Mann-Kendall, em que os valores indicados com (*) apresentaram significância estatística para $\alpha = 0,05$

Região	Coeficiente α			Valor Z		
	Anual	+Chuvoso	- Chuvoso	Anual	+Chuvoso	- Chuvoso
1	8,74	6,23	2,44	1,10	0,76	1,13
2	6,82	2,49	1,85	2,62*	1,71	1,52
3	0,41	-0,95	-0,24	0,66	-1,71	-0,21
4	6,58	1,89	1,93	4,39*	2,11*	2,96*
5	1,72	0,39	-0,24	0,81	0,54	-0,38
6	1,15	1,27	0,24	0,76	1,07	0,47

Fonte: Autores (2016).

ANÁLISE DE MULTIESCALA VIA ANÁLISE DE ONDALETAS

As variações temporais das séries de precipitação não se apresentam constantes, devido a tendências atribuídas a estes períodos. Essas influências, geralmente, são referentes a fenômenos climáticos que influenciam as precipitações. Ao analisar as séries temporais das seis estações representativas analisadas, foi possível a observação de escalas (períodos) em que as variâncias se apresentaram mais intensas e significativas, representada no espectro como energia.

Entre as escalas significativas encontradas nas séries temporais, está aquela que pode ser associadas ao El Niño e La Niña, cujo período está entre 36 e 60 meses, com oscilação na escala multianual. A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), outro sinal de baixa frequência, tem período estimado entre 120 e 240 meses, e é um fenômeno que atua em escala multidecadal.

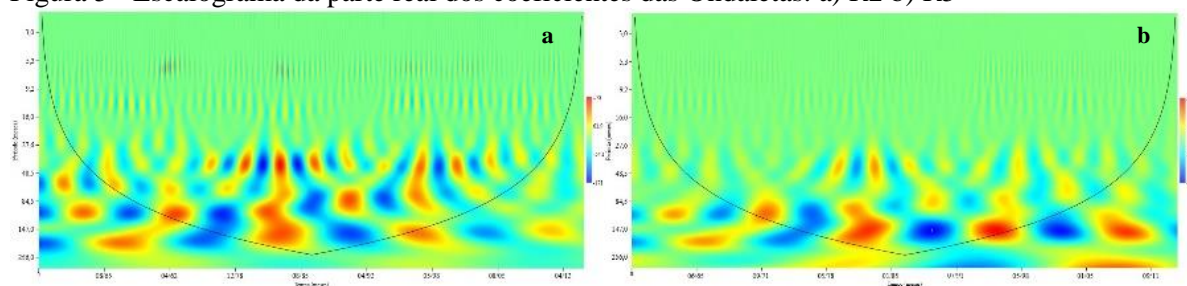
Outro ciclo de baixa frequência que pode ser associado a precipitações é o Ciclo Nodal Lunar (Saros). Com período estimado de 18,6 anos, sua influência foi sugerida ser no Oceano Ártico. Esse ciclo apresenta grande influência sobre o sistema de Oscilação Ártica, que influencia as flutuações de longo prazo na extensão do gelo ártico. O espectro nodal lunar na cobertura de gelo do Ártico tem uma potencial influência no índice de inverno da Oscilação do Atlântico Norte (ONA) (YNDESTAD, 2006).

As séries mensais de precipitação foram submetidas à Análise de Ondaletas. O objetivo dessa análise é observar o comportamento das precipitações ao longo do tempo, e verificar sinais significativos que possam descrever ciclos coincidentes com os fenômenos climáticos citados.

Região Oeste: R2 e R5

Para a região R2 (figura 5a), a banda com períodos entre 27,6 e 48,5 meses se destaca no final dos anos 70 e início da década de 80 e, no final da década de 90. Pela proximidade dos eventos, estas oscilações podem ser associadas aos eventos El Niño de 1982-83 e 1998. Nota-se também a sobreposição entre a banda associada ao El Niño a banda entre 48,5 e 147 meses (possivelmente relacionada à ODP). Para a região R5 (figura 5b) as amplitudes das oscilações são mais fracas, mas continuam presentes no espectro.

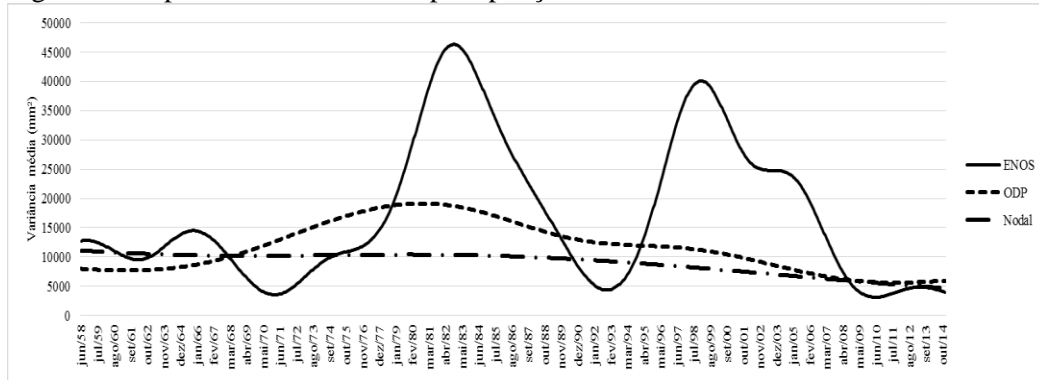
Figura 5 - Escalograma da parte real dos coeficientes das Ondaletas: a) R2 b) R5



Fonte: Autores (2016).

Na Figura 6 foram sobrepostas as médias das três bandas que se destacaram nos escalogramas da Figura 5a. Nota-se que os dois máximos desta oscilação ocorreram em abril de 1982 e julho de 1998, coincidentes com dois eventos de El Niño intensos.

Figura 6 – Espectro de variância da precipitação da R2 nas escalas de El Niño, ODP e Nodal.



Fonte: Autores (2016)

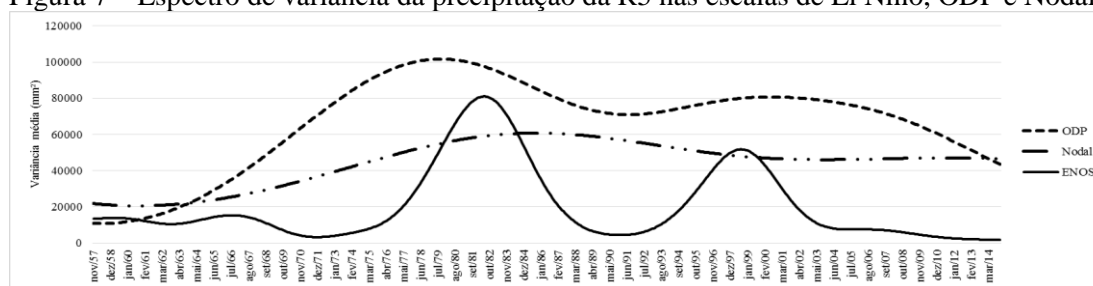
A oscilação associada com a ODP também apresenta máximo no início da década de 1980. A sobreposição destas duas oscilações parece indicar que as precipitações ocorridas no estado de Santa Catarina nos anos de 1982 e 1983 podem ter ocorrido por consequência da sobreposição das escalas El Niño e ODP. Observa-se também a coincidência entre a fase negativa da escala associada a ODP com a escala de incidência do La Niña, a partir de 2008, sendo um período de fortes estiagens na região oeste catarinense e com variâncias próximas a zero (CRUZ; MINUZZI, 2009). Desta forma, pode-se observar que a sobreposição dos harmônicos comparados com os fenômenos climáticos, podem explicar o comportamento temporal da série de precipitação da R2, tanto positivamente quanto negativamente.

Por apresentar período maior, a escala associada ao ciclo Nodal apresenta menor variância que os demais (SIQUEIRA; MOLION, 2015). Entretanto, pode-se observar que esta escala está em uma fase positiva também na década de 1980, em fase com as outras duas escalas analisadas.

Para a região R5 (figura 5b), o ciclo anual não apresenta um sinal tão intenso como nas outras regiões. Isso ocorre por conta da distribuição uniforme da precipitação ao longo do ano, não havendo grandes variações nos índices pluviométricos entre o período seco e chuvoso. Por causa desta característica, o processo de filtragem realçou os demais ciclos presentes na série de precipitação, como o da ODP.

As sobreposições de escalas desta região também não são tão evidentes no escalograma. Porém, ao analisar as médias extraídas do espectro de variâncias (Figura 7), nota-se novamente dois picos associados aos eventos El Niño de 1982-1983 e 1998. Para esta série de precipitação a sobreposição das oscilações associadas ao El Niño, à ODP e ao ciclo Nodal é mais nítida do que na região R2. A escala referente ao Ciclo Nodal se mostra em fase com as outras oscilações na década de 1980, embora seu pico esteja levemente defasado com a escala de El Niño no ano de 1998.

Figura 7 – Espectro de variância da precipitação da R5 nas escalas de El Niño, ODP e Nodal.



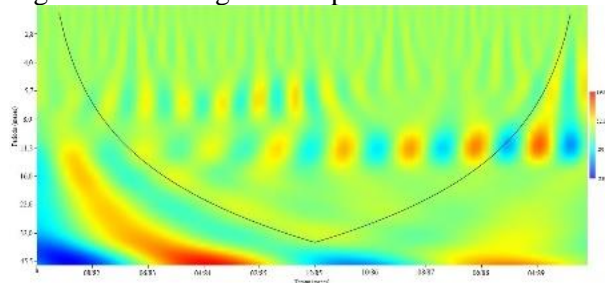
Fonte: Autores (2016).

Sabendo-se da forte relação das secas com o fenômeno da La Niña (CRUZ; MINUZZI, 2009), observa-se novamente um decréscimo na variância da precipitação nas três escalas, especialmente na do El Niño, a partir do início da década de 2000, quando foram registrados quatro eventos La Niña.

Região Extremo Norte (R1)

A série de precipitação representativa da R1 é a mais curta das séries estudadas, por este motivo, as oscilações de mais baixa frequência não estão presentes no escalograma da série representativa (Figura 8), prevalecendo a escala sazonal.

Figura 8 – Escalograma da parte real dos coeficientes das Ondaletas para a R1.

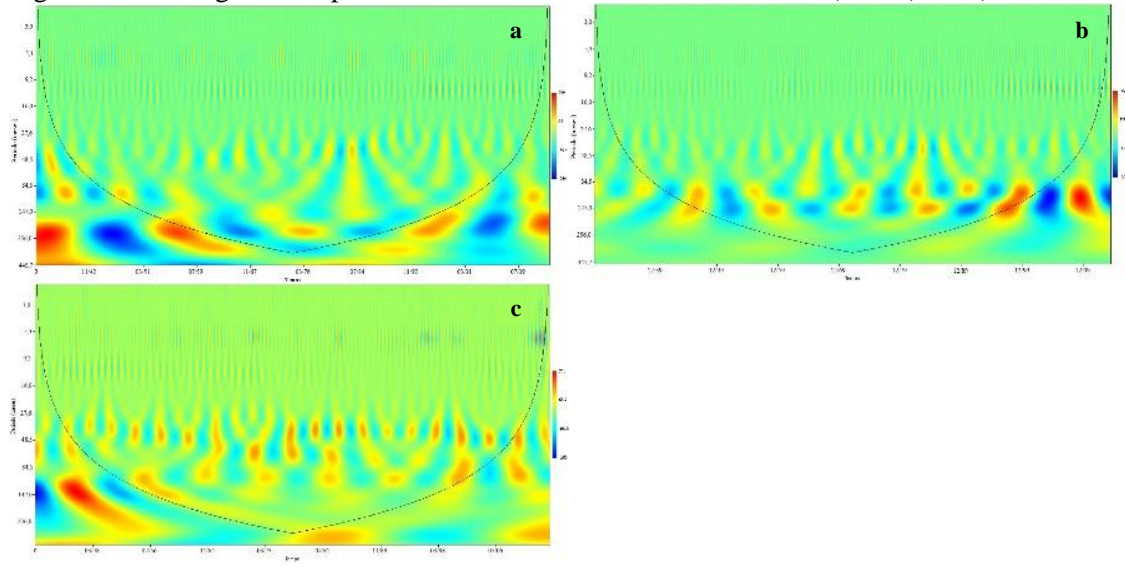


Fonte: Autores (2016).

Região Leste (R3, R4 e R6)

A região Leste catarinense, por conta da influência litorânea, tem um forte sinal sazonal, devido a diferença no total precipitado nos períodos mais e menos chuvosos (SIQUEIRA; MOLION, 2015). Nas regiões R3, R4 e R6, a filtragem se mostrou eficiente, conseguindo enfatizar as bandas de baixa frequência (Figura 9).

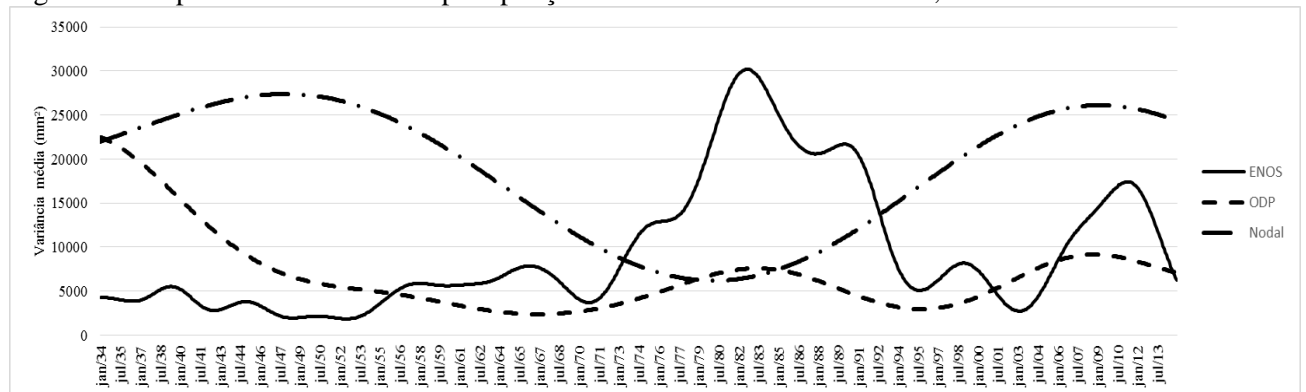
Figura 9 – Escalograma da parte real dos coeficientes das Ondaletas: a) R3 b) R4 c) R6.



Fonte: Autores (2016).

A R3 apresenta a sua maior variância em 1983 (Figura 10), ano de intenso El Niño, que ocorreu em coincidência com a fase positiva da ODP, gerando grandes inundações no Alto Vale do Itajaí, onde se localiza a estação pluviométrica analisada. Em contrapartida, o evento é coincidente com a menor variância detectada na escala Nodal.

Figura 10 - Espectro de variância da precipitação da R3 nas escalas de El Niño, ODP e Nodal.

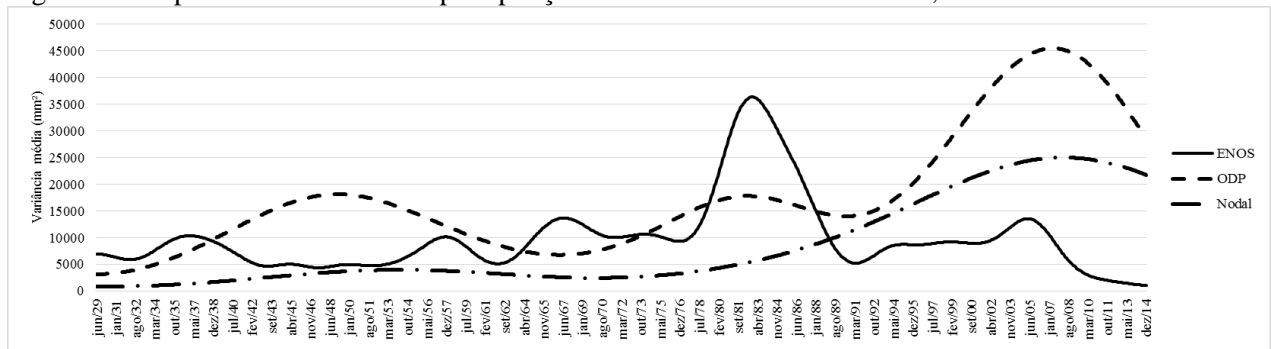


Fonte: Autores (2016).

O outro evento de El Niño que ocasionou elevada variância na série foi a do início da década de 2010, em que as três escalas apresentaram coincidência com o evento e se encontram em fase positiva.

A R4, região correspondente ao Vale do Itajaí e do Itapocu, as grandes enchentes de 1983-1984, foram consequência do alto índice pluviométrico precipitado, em decorrência do intenso El Niño de 1982-1983, período no qual essas escalas se apresentam em fase com a ODP positiva e também com a crescente variância Nodal na série temporal analisada (Figura 11).

Figura 11 - Espectro de variância da precipitação da R4 nas escalas de El Niño, ODP e Nodal.

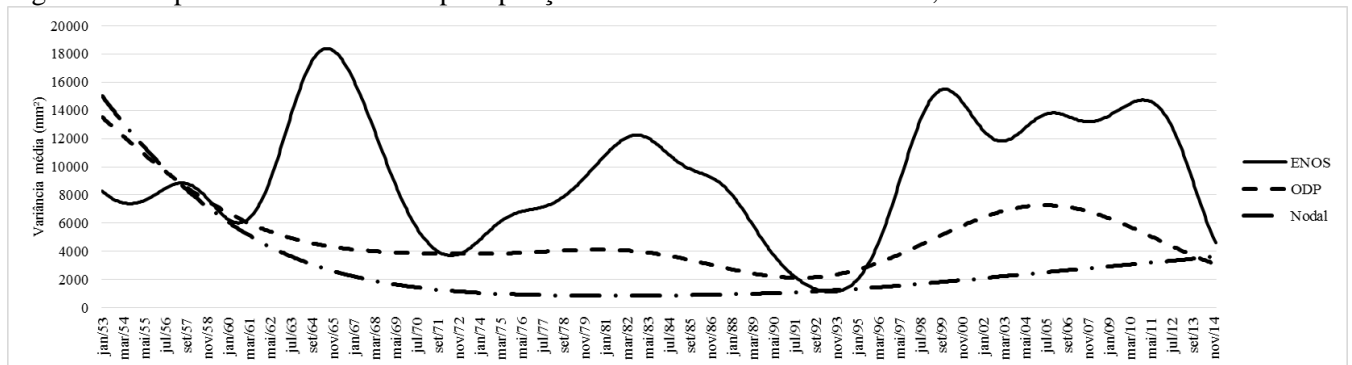


Fonte: Autores (2016).

Nesta região se observa uma considerável oscilação na escala referente à ODP, apresentando-se em fase com a escala de El Niño da década de 1970-1980, e no EL Niño de 1998. A partir de 2000, observa-se uma considerável elevação de variância das escalas de ODP e Nodal, que pode ser explicada pela coincidência das três cristas e associada ao evento de chuvas intensas de 2008, ocorrida na região.

Na R6, especialmente ao Sul do estado, não apresenta variância tão significativa nas escalas da ODP e Nodal como nas demais regiões ao Leste catarinense (Figura 12). Nesta região o El Niño de 1998 apresentou as três escalas em fase, e representa o evento El Niño que ocasionou mais prejuízos na região.

Figura 12 - Espectro de variância da precipitação da R6 nas escalas de El Niño, ODP e Nodal.



Fonte: Autores (2016).

Considerações Finais

O estado de Santa Catarina, embora represente uma área territorial relativamente pequena, apresenta uma distribuição espaço-temporal heterogênea da precipitação, com uma divisão bem delimitada no sentido Leste-Oeste. A distribuição espacial, subdividindo o estado em seis regiões homogêneas, acompanhou o relevo catarinense, separando as regiões tanto por altitude como pela geomorfologia, com uma divisão Leste-Oeste a partir da Serra Geral.

Quanto a variação temporal da precipitação, também há uma forte relação Leste-Oeste, na qual as regiões à Leste apresentam significativa variação entre os períodos mais e menos chuvosos, com precipitação mais intensa no verão, influenciados pela proximidade litorânea. No Oeste, a distribuição das chuvas é homogênea ao longo do ano, com pouca variação entre o período mais chuvoso e menos chuvoso. Um dos fatores que pode estar associado a esta característica é a proximidade da Baixa do Chaco, que torna o período da primavera mais chuvoso, principalmente pela formação dos Sistemas Convectivos de Mesoescala.

Embora as regiões R2 e R5, representando o oeste catarinense, apresentem variações temporais características, o comportamento quanto a altura pluviométrica e a configuração da topografia não é o mesmo. A região leste (regiões R1, R3, R4 E R6), apresenta uma diminuição na altura precipitada, no sentido serra-litoral. Essa característica pode ser associada com a amplitude entre os períodos chuvoso e seco, ocasionado pelos sistemas atmosféricos que atuam na região nesses períodos, especialmente aqueles relacionados a proximidade litorânea. Também se observou que nas quatro regiões ao Leste, o comportamento quanto aos fenômenos climáticos estudados, o El Niño, a ODP e o Ciclo Nodal também se diferem.

Na análise de Ondaletas, o período de maior variância na precipitação foi observado durante o evento EL Niño de 1983-1984, em que as escalas referentes ao El Niño, ODP e ciclo Nodal se encontravam em fase positiva, o que potencializou o evento no estado. Na região Oeste, observou-se também a fase negativa das três escalas analisadas, que potencializou as secas a partir da década de 2000.

Na análise de tendências, apenas a região R4 apresentou suas três séries com tendências significativas de aumento da precipitação. A R2 apresentou significância apenas para a série anual. Este fato pode ser associado ao comprimento das séries, visto que, a série mais extensa é a de Pomerode (R4).

Sabendo-se que a análise temporal da precipitação somente identifica ciclos significativos, e que os mesmos foram associados aos fenômenos climáticos, sugere-se aos trabalhos futuros a análise da influência desses fenômenos na precipitação do estado. Também se sugere, quanto as tendências, a análise a partir de outras medidas, tais como: dados diários ou número de dias chuvosos para identificar possíveis alterações nas séries.

Referências Bibliográficas

- BACK, A. J.; BRUNA, E. D.; FELIPETTO, J. Tendências nos índices climáticos e agroclimáticos aplicados à videira no Planalto Serrano de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 137-148, 2013.
- CRUZ, G.; MINUZZI, R. B. Influência do fenômeno La Niña na precipitação pluvial na região Oeste de Santa Catarina. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 22, p. 85-87, 2009.
- DOMINGUES, M. O.; MENDES, O.; KAIBARA, M. K.; MENCONI, V. E.; BERNARDES, E. Explorando a transformada wavelet contínua. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol.38, n.3, 2016.
- FERRARI, A. L.; VECCHIA, F. A. S.; COLABONE, R. O. Tendência e variabilidade anuais da temperatura e da pluviosidade em Pirassununga-SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 10, p.30-46, 2012.
- LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v.34, p. 3546–3558, 2014.
- MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **GEOSUL**, v.16, n.31, p. 69-78, 2001.
- NIMER, E. Climatologia da região Sul do Brasil: Introdução à climatologia dinâmica, subsidio à geografia regional do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, ano 33-4, p.3-64, 1971.
- PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, p. 281-290, 2013.
- RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H.; SANTO, C. M. E.; GAN, M. A. An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 1, p. 291-302, 2016.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. S.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p. 185-204, 2010.
- SILVA, E. D.; REBOITA, M. S. Estudo da precipitação no estado de Minas Gerais – MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p.120-136, 2013.
- 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, 2015.
- TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bulletion of American Meteorology Society**, v.79, n.1, p. 61-78, 1998.
- VICTORIA, F. R. B.; PEREIRA, L. S.; VICTORIA, R. L. B. Mudanças climáticas: sinais de efeitos locais e falta de lógica global. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 2007, São Paulo. XVII SBRH - 8 SHRHPLOP. São Paulo: ABRH, 2007.
- YNDESTAD, H. The influence of the lunar nodal cycle on Arctic climate. **ICES Journal of Marine Science**, v. 63, p. 401-420, 2006.

Recebido em 28 de dezembro de 2016.

Aceito em 28 de maio de 2018.