Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA, INDICADORES DE SECA E A APLICAÇÃO DO ÍNDICE SPI PARA A REGIÃO DO MÉDIO VALE PARAÍBA DO SUL NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

GOIS, Givanildo de – givanildogois@gmail.com
Universidade Federal Fluminense / UFF

OLIVEIRA-JÚNIOR, José Francisco de – jose.junior@icat.ufal.br
Universidade Federal de Alagoas / UFAL

PAIVA, Roberta Fernanda da Paz de Souza – robertapaz2003@yahoo.com.br
Universidade Federal Fluminense / UFF

FREITAS, Welington Kiffer – wkifferpgtauff@gmail.com
Universidade Federal Fluminense / UFF

TERASSI, Paulo Miguel de Bodas – pmbterassi@yahoo.com.br
Universidade de São Paulo / USP

SOBRAL, Bruno Serafini – brunossobral@gmail.com
Instituto de Terras e Cartografia do Estado do Rio de Janeiro / ITERJ

Submetido em: 04/05/2019
Aceito para publicação em: 03/07/2020
Publicado em: 20/07/2020
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.66703

RESUMO: Nos últimos anos a chuva tem sido destaque, em virtude de chuvas intensas e secas que interferem nas atividades humanas. No estado do Rio de Janeiro têm acontecido eventos climáticos extremos de forma frequente, que necessitam ser constantemente avaliados sobre os aspectos de modelagem numérica e observacional. Com base no exposto, os objetivos do presente trabalho são: i) avaliar a variabilidade temporal das chuvas e espaço-temporal do índice SPI-1 na região do Médio Paraíba do Sul – RJ, ii) identificar os possíveis anos de mudanças abruptas no SPI-1 via teste de Pettitt e iii) relacionar os padrões de chuva e seca com o modo de variabilidade climática ENOS. Para isso, foram usados dados pluviométricos mensais de 27 estações que apresentavam falhas, sendo aplicado o pacote "mtsdi" do ambiente R na contagem das falhas. As séries pluviométricas com falhas foram preenchidas via produto 3B43 (satélite TRMM) e pelas normais climatológicas (INMET). A estatística aplicada foi baseada na descritiva (média e coeficiente de variação - CV%) e não paramétrica (teste de Pettitt). Os dados pluviométricos foram usados no cálculo do SPI mensal (SPI-1). Para classificação das fases do ENOS foi usado o índice ONI baseado na região do ENOS 3.4. Os mapas de SPI-1 utilizaram o interpolador *Inverse Distance Weighting* (IDW). Na escala temporal, o SPI-1 nas décadas e no período de 2010/2013 registrou 2356 eventos nas categorias moderadamente a extremamente seco no Médio Paraíba do Sul. Para as categorias moderadamente a extremamente úmidos também ocorreram nas décadas de 1970, 1980, 1990 e 2000, as exceções foram 1960 (7,09%) e o período de 2010 a 2013 (9,21%). O teste de Pettitt aplicado ao SPI-1 revelou mudanças significativas na série temporal, principalmente na década de 1980, com chuva durante eventos Neutros do ENOS, onde as exceções foram os anos de 1980, 1981, 1982, 1985, 1988 com eventos de seca moderada a extrema. O uso do SPI-1 é uma ferramenta prática na identificação de extremos de seca e chuva no Médio Paraíba do Sul - RJ.

PALAVRAS-CHAVE: Chuva; seca; série temporal; ENOS.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

PLUVIOMETRIC VARIABILITY, DROUGHT INDICATORS AND THE APPLICATION OF THE SPI INDEX TO THE MIDDLE VALE OF PARAÍBA DO SUL REGION - RIO DE JANEIRO

ABSTRACT: In recent years, rainfall has been more studied due to intense events and droughts, which interfere with human activities. The state of Rio de Janeiro has been experiencing these extreme climatic events on a frequent basis, which need to be constantly evaluated on the aspects of numerical and observational modeling. Based on the above, the objectives are: i) to evaluate the spatiotemporal variability of rainfall and for the monthly SPI (SPI-1) in the Middle Paraíba do Sul region - RJ, ii) to identify possible years of abrupt changes in SPI-1 via Pettitt´s test and iii) correlate patterns of rainfall and drought with the ENSO mode of climate variability. For this, monthly rainfall data from 27 stations were used, and the "mtsdi" package from environment R was applied to complete data faults. Missing rainfall data were filled via product 3B43 (TRMM satellite) and by climatological normals made available by INMET. The applied statistics was descriptive - mean and coefficient of variation – CV (%) and with the use of non-parametric test (Pettitt). The pluviometric data were used to calculate SPI-1. For classification of the ENOS phases, the ONI index based on the ENOS 3.4 region was used. The SPI-1 maps used the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolator. In the temporal scale, the SPI-1 in the decades and in the period of 2010/2013 registered 2356 events in the moderately to extremely dry categories in the Middle Paraíba do Sul region. Moderately to extremely humid categories also occurred in the 1970s, 1980s, 1990s and 2000, the exceptions were 1960 (7.09%) and the period from 2010 to 2013 (9.21%). According to the Pettitt test applied to the SPI-1, it revealed significant changes in the temporal series, mainly in the 1980s, with a predominance of ENOS Neutral phase rainfall events in the Middle Paraíba, with exceptions for years 1980, 1981, 1982, 1985, 1988 with moderate to extreme drought events. The use of SPI-1 is a practical tool in the identification of extreme rainfall and drought in the Middle Paraíba do Sul region.

KEYWORDS: Rainfall; drought; time series; ENSO.

1. INTRODUÇÃO

O estado do Rio de Janeiro (ERJ) tem sofrido nas últimas décadas com as mais diversas alterações climáticas (COSTA et al., 2012), que por sua vez, aumentam a vulnerabilidade da sociedade aos riscos climáticos. Tais riscos são devidos ao aumento gradual da temperatura média do ar, das chuvas extremas e, principalmente, pela severidade e duração das secas em algumas regiões do Rio de Janeiro (ANDRÉ et al., 2005; BRITO et al., 2016; SOBRAL et al., 2018b; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2018). A *United Nations Convention to Combat Desertification* (UNCCD, 1994) define a seca como sendo um período de chuvas abaixo da normal climatológica, que causa desequilíbrio hidrológico nas regiões urbanas e rurais, tendo como consequências a redução da disponibilidade de água para o consumo dos seres humanos, dessedentação de animais e para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas, água aos animais, à população e à vegetação.

A seca pode impactar de forma negativa a economia de um país, ao afetar o consumo de água, a produção agrícola e a produção de energia, principalmente, nos países emergentes ou em desenvolvimento (GOIS et al., 2005; MARENGO, 2008; MACHADO FILHO et al., 2016). A seca é a responsável direta por inúmeros prejuízos socioambientais e socioeconômicos, sendo a agricultura e o abastecimento os segmentos mais afetados, a curto e longo prazo (BLAIN, 2005; SANTOS, 2011).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

No Brasil, as secas não se restringem apenas aos estados da região do Nordeste (BARRA et al., 2002; GOIS et al., 2005; LYRA et al., 2014), mas abrangem outros estados das demais regiões do país que também vêm sendo afetados por episódios prolongados de seca registrados nas últimas décadas (MARENGO et al., 2015). Por exemplo, a recente crise hídrica que afetou os estados de São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ), com chuvas abaixo da média histórica na região Sudeste do Brasil entre 2013 e 2015. A principal consequência da seca de 2014 no estado do São Paulo levou a uma redução expressiva dos recursos hídricos e, consequentemente, a uma diminuição do fornecimento de água à população da Região Metropolitana (RM), que foram forçadas a depender de caminhões-pipa.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), respondeu à crise no abastecimento de água reduzindo a retirada de água dos reservatórios em quase um terço e oferecendo descontos para os clientes que reduzissem o seu consumo. Como consequência grave, a população teve dificuldades no abastecimento de água em grande parte da região metropolitana. Uma seca dessa magnitude, que afeta os níveis dos mananciais e acarreta um grave problema social, é precisamente o tipo de fenômeno climático extremo projetado entre os diversos impactos decorrentes das mudanças climáticas. Conforme Clemente et al. (2017), as épocas de seca extrema favorecem formação de focos de calor, que, muitas vezes, podem culminar em incêndios florestais ou queimadas, representando graves problemas ambientais, por exemplo, a emissão de CO_2 para atmosfera. A seca também demonstrou impactos socioeconômicos, principalmente, nos setores do turismo, alimento, energia e da saúde. Outro efeito negativo da seca foi o aumento do número de focos de queimadas (COSTA, 2004; COELHO, 2016; NOBRE, 2016; MARENGO et al., 2015; SILVA, 2018; MOLION e BRAGA, 2018).

Segundo Fernandes et al. (2009), as secas podem ser identificadas, com base em séries históricas meteorológicas, seguido de índices estatísticos e empíricos que quantifiquem o início e o fim, e a sua duração. A utilização desses índices contribui para a determinação da duração, intensidade, frequência e severidade da seca. Diversos estudos e metodologias foram desenvolvidos nas últimas décadas, e que são capazes de quantificar e identificar a seca, entre as quais se destacam os índices que se baseiam em variáveis climáticas (chuva e temperatura do ar) e hidrológicas (capacidade disponível de água - CAD e vazão dos rios) - (BARRA et al., 2002; SOBRAL et al., 2018a).

Siqueira e Nery (2017) em um estudo sobre a seca no estado de São Paulo, com base no Standardized Precipitation Index (SPI), nas escalas de 6, 9 e 12 meses para o período de 1970 a 2010, afirmam que o SPI é uma ferramenta consistente e que responde de forma significativa à variabilidade da chuva. As respostas para os eventos de El Niño – Oscilação Sul (ENOS) foram consistentes com a variabilidade da chuva, ou seja, quando ocorre a fase quente no oceano Pacífico Equatorial (El Niño), chove mais no estado de São Paulo, portanto essa área se torna mais úmida e o inverso ocorre na fase fria do oceano Pacífico (La Niña).

Silva (2018) avaliou os eventos de seca na região Sudeste do Brasil. Ele mostrou que o período entre 2013-2015 foi o mais seco já observado para a região centro sul do Sudeste do Brasil, com anos consecutivos de chuva abaixo da média histórica, seguido de temperaturas médias altas. O autor recomenda a

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

utilização do Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI) para a cidade de São Paulo, uma vez que a cidade se mostra mais sensível aos efeitos da temperatura do que as demais cidades estudadas. Para as cidades de Lavras, Nova Lima, Campinas e Piracicaba observou-se que os resultados dos SPI e SPEI são similares e ambos os índices, são recomendados para a identificação e eventos de seca.

No mundo, o uso de SPI tem sido amplamente utilizado, por exemplo, Tadesse et al. (2005) usaram o SPI na caracterização dos eventos de seca ocorridos na região de Nebraska, EUA, entre 1950 e 1999. Eles mostraram que a maioria dos eventos de seca foi precedida por valores negativos do Índice de Oscilação Sul (IOS). Zhai et al. (2010) mostraram que o SPI pode ser usado para descrever tendências climáticas nas condições do globo terrestre. Merabti et al. (2018) usaram o SPI e Reconnaissance Drought Index (RDI) nas escalas de 3, 6 e 12 meses, em cinco estações meteorológicas localizadas em diferentes zonas climáticas no nordeste da Argélia. Os resultados mostraram que ambos os índices são mais sensíveis à seca quando aplicados em zonas semiáridas e áridas, no entanto RDI mostra diferenças menores entre as zonas climáticas e escalas de tempo, o que é uma vantagem em relação ao SPI, em que a escala de tempo de 3 meses, o RDI identificou os eventos extremamente úmidos e secos, que também foram identificados pelo o SPI, mas com valores mais baixos. Para os intervalos de tempo de 6 e 12 meses, as diferenças entre os índices foram menores.

No Brasil, Li et al. (2008) indicaram tendência de queda nos valores do SPI, relativos ao sul da região Amazônica, entre os anos de 1970 e 1999. No estado do Rio Grande do Norte Suassuna e Maia (2017), aplicaram o SPI na escala mensal em três cidades Natal, Martins e Caicó. Ambas as cidades apresentaram similaridade quanto à ocorrência de seca. Os resultados obtidos para valores médios do SPI registraram 23, 21 e 22 episódios de seca para as cidades de Natal, Caicó e Martins, respectivamente. Porém, não se verificou episódios de seca severa ou extrema para os valores do SPI médio nas três cidades.

Santos et al. (2017) determinaram as regiões homogêneas do SPI-6 meses, com base em dois conjuntos de dados pluviométricos mensais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional das Águas (ANA) distribuídas no estado do Pará para o período de 32 anos (1980 a 2011). O estudo objetivou determinar as regiões homogêneas na Amazônia Oriental e analisar as principais características dos eventos secos e chuvosos em cada região. Com a aplicação da análise de agrupamento, segundo o método hierárquico de Ward e a Análise de Componentes Principais (ACP) para determinar os principais padrões de variabilidade climáticas associados aos eventos secos e chuvosos. Os resultados obtidos aos dados do SPI-6 identificaram 3 Regiões Homogêneas (RH). A RH-1 localizada no nordeste (NE) do estado apresentou 15 eventos secos e 10 de chuva. Na RH-2 que ocupa a maior parte do estado observou-se 10 eventos secos e 15 de chuva. E a RH-3 encontra-se situada ao sul (S) com 10 eventos secos e 15 chuvosos para o período estudado. De um modo geral, a região NE possui maior registro de eventos secos que chuvosos. Nas demais regiões (central e sul) a situação é inversa, isto é, existem mais eventos de chuva, porém de pouca duração. Adicionalmente, a região S do Estado apresentou a seca mais severa e prolongada. Além disso, é importante salientar que os eventos secos e chuvosos

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

nas RHs estavam associados à variabilidade climática que ocorre nos oceanos Atlântico (Gradiente do Atlântico) e Pacífico (ENOS).

Segundo Costa (2012) e, recentemente Gois et al. (2019), a região do Médio Paraíba do Sul apresenta pluviosidade com registros de valores médios anuais superiores a 1300 mm, que se deve à localização dos municípios entre as encostas da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, onde é muito comum a ocorrência de chuvas orográficas. Além disso, Costa et al. (2018) realizaram um estudo sobre regime de chuva entre os anos de 2014 e 2017 na Bacia do rio Paraíba do Sul. Eles quantificaram o regime pluviométrico da região pelos índices de Porcentagem Normal (IPN) e pelo SPI. Os resultados obtidos pelos índices corroboraram com os períodos de secas severas em todas as regiões da bacia do rio Paraíba do Sul, com destaque para os baixos índices pluviométricos entre os anos citados. Os estudos realizados na região do Médio Paraíba do Sul foram baseados em períodos curtos, e assim sem associação com o modo de variabilidade climática, tais como o ENOS, com pouca representatividade espacial, sem uma robustez estatístico-matemática e, ainda sem o uso de técnicas de preenchimento de falhas.

Objetivamente, não há um consenso na literatura da verdadeira influência do ENOS no padrão e na distribuição da chuva no Sudeste do Brasil. No entanto, diversos estudos já foram realizados sobre a sua influência no Sudeste, por exemplo, Minuzzi et al. (2006) avaliaram que o ENOS tem influência marcante no período chuvoso (PC) no Sudeste, com destaque para o extremo sul, em relação ao seu inicio e fim, associado às anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico, enquanto que no restante da região não há influência da fase quente do ENOS (El Niño). Novamente, Minuzzi et al. (2007a) não encontraram padrão relacional entre o El Niño e a chuva efetiva em escala decendial na região Sudeste. Porém, Grimm (2003) mostrou em seu estudo que, embora as anomalias de circulação atmosféricas no Sudeste do Brasil presentes na primavera durante El Niño se devam principalmente a influências remotas do Pacífico, no verão, apenas a influência local é marcante. Grimm e Tedeschi (2009) também identificaram que o padrão de mudanças produzidas pelos episódios de El Niño e La Niña em relação a anos neutros foi aproximadamente simétrico na América do Sul, isto é, as mudanças na intensidade do ENOS foram menos significativas, exceto no Sudeste da América do Sul, onde a frequência de eventos extremos de chuva se sobressaiu, similar ao estudo anterior realizado por Souza e Ambrizzi (2002).

Destaque para outros estudos realizados anteriormente que apontaram que os episódios de ENOS são relacionados às chuvas fortes e as inundações no Sudeste do Brasil (SATYAMURTY et al., 1998; LIMA et al., 2009; CAVALCANTI, 2012), exceto Fisch e Valério, (2005) que mostraram que as chuvas mensais no Vale do Paraíba (SP) não têm conexão com a ocorrência dos eventos El Niño ou La Niña, restritamente associadas à convecção local. Moraes e Nery (2009) observaram que ocorrem chuvas acima da média no Sudeste do Brasil apenas durante a atuação do El Niño, seguido da intensificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Estudos já realizados mostram que o El Niño é favorável a ocorrência de extremos de chuva (SATYAMURTY et al., 1998; FREIRE et al., 2015; QUADRO et al., 2016). A importância de se avaliar a variabilidade do sinal do ENOS, já foi anteriormente reportado por Souza e Ambrizzi (2002), sobre a América do Sul, os autores mostraram que as teleconexões do El Niño indicam excesso de chuva sobre o Sudeste Brasileiro.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Cataldi et al. (2010) mostraram que a teleconexão, ainda pouco explorada, entre as anomalias positivas da TSM do Oceano Atlântico Sul extratropical em relação ao regime hidrometeorológico do Sudeste e outras regiões do Brasil, principalmente com a atuação do ENOS.

Em geral, a chuva na América do Sul, tem forte relação com as anomalias da TSM no Oceano Pacífico e, também em regiões específicas (Satyamurty et al., 1998), onde o sinal do ENOS é acentuado, por exemplo, o Nordeste do Brasil (NEB) – (KANE, 1997; LYRA et al., 2017), o leste da Amazônia, Sul do Brasil (CUNHA, 1999; ALMEIRA et al., 2016) e algumas partes do sul da América do Sul (GRIMM e TEDESCHI, 2009; BOMDARDI et al., 2014). Segundo Tedeschi et al. (2013) as anomalias da TSM no Oceano Pacífico durante os episódios de ENSO mostraram padrões espaciais distintos de ano para ano. Os autores avaliaram as anomalias de TSM das regiões de El Niño 3.0 e 3.4, sendo identificado que as diferenças na chuva na América do Sul estão relacionadas a diferenças na circulação de Walker, similar a Satyamurty et al. (1998) e Souza e Ambrizzi (2002), e na intensidade do fluxo de umidade para o interior do continente.

No entanto, as regiões de transição como o Sudeste do Brasil, o sinal de chuva intensifica durante as anomalias da TSM no leste do Oceano Pacífico, durante os eventos do El Niño (COELHO et al., 2002). É sabido que os padrões anômalos relacionados ao ENOS influenciam os padrões das ZCAS, com fortes variações interanuais e sazonais na América do Sul (SATYAMURTY et al., 1998; AMBRIZZI et al., 2004). Entretanto, Bomdardi et al. (2014) mostraram que durante fase neutra do ENOS, o Dipolo do Atlântico Sul (DAS) também desempenha um papel importante na modulação da ciclogênese e das características da ZCAS no Sudeste do Brasil (Quadro et al., 2016) e, assim, esses sistemas organizam a convecção e aumentam a chuva diária no leste da América do Sul. Anteriormente, Barros et al. (2008) avaliaram as tendências de chuvas na América do Sul e sua relação com as fases do ENOS. Os autores verificaram que houve tendências anuais positivas de chuvas durante a fase neutra do ENOS. Por outro lado, as tendências anuais negativas foram na parte continental, com contribuições de todas as fases do ENOS.

Recentemente, alguns estudos foram realizados no estado do Rio de Janeiro, por exemplo, Sobral et al. (2019) avaliaram os eventos de seca com base no SPI em relação à influência do ENOS no estado do Rio de Janeiro e, concluíram que tendências significativas de aumento e redução anual do SPI foram identificadas nas regiões Centro Sul, Montanhosa e Norte do Estado. Enquanto que Oliveira Júnior et al. (2018) não observaram um padrão relacional por meio de índices estatísticos entre as secas detectadas pelo SPI, ENOS e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). No entanto, quando os ciclos do ENOS foram persistentes nas duas fases da ODP, ocorreram secas, principalmente na escala mensal. Assim se faz necessário um estudo para identificar se há relação entre o ENOS e o Sul do Estado.

Baseado no exposto, os objetivos deste estudo são: i) avaliar a variabilidade temporal das chuvas e espaço-temporal do índice SPI-1 na região do Médio Paraíba do Sul - Rio de Janeiro; ii) identificar os possíveis anos de mudanças no SPI-1 via teste de Pettitt; iii) relacionar os padrões de chuva e seca como o modo de variabilidade climática ENOS.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

No ERJ, a região do Médio Paraíba do Sul possui uma área de 6.251,00 km², localizada entre as latitudes 22º 00’ 00’’S e 23º 00’ 00’’S e as longitudes 43º 00’ 00”W e 44º 30’ 00”W. A região faz divisa ao Sul (S) com a Serra do Mar (com altitudes que podem alcançar 1200 mm) ao Norte (N) com a Serra da Mantiqueira (com altitudes próximas de 2200 m), Noroeste (NW) com Minas Gerais, Sudoeste (SW) com São Paulo e ao Leste (E) com a região da Costa Verde do ERJ (Figura 1).

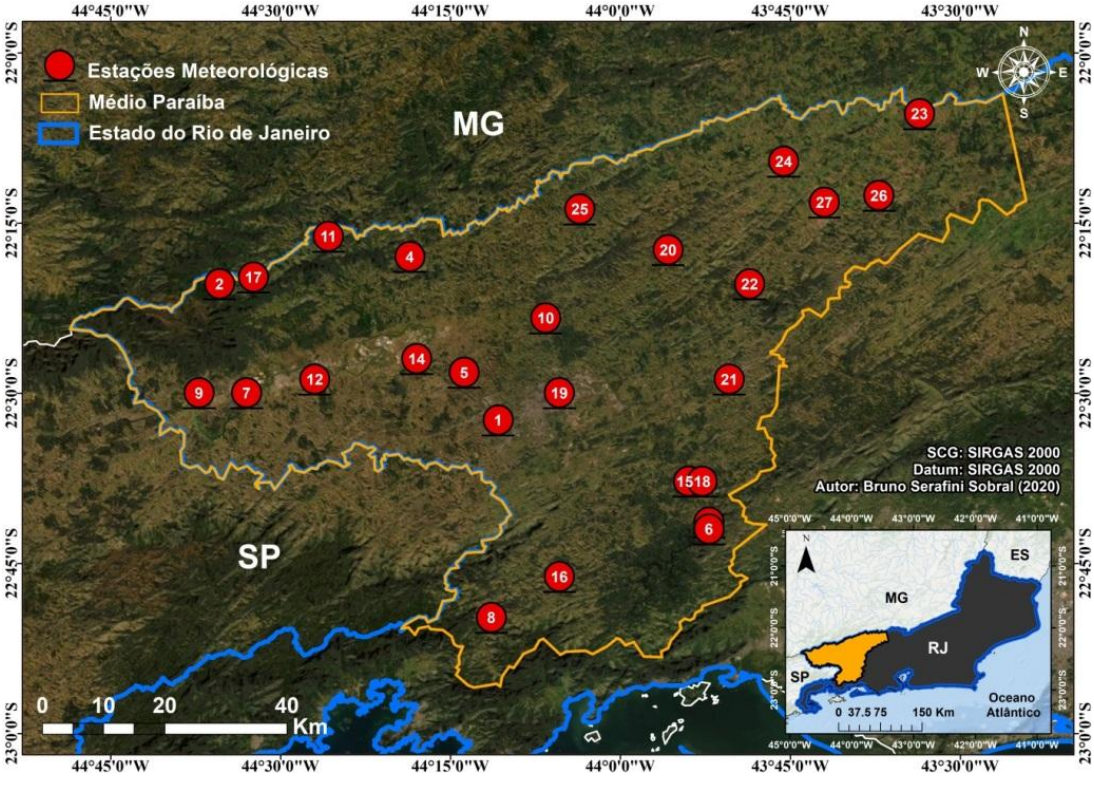


Figura 1 - A área de estudo e a localização das 27 estações pluviométricas na região do Médio Paraíba do Sul - Rio de Janeiro.

Segundo a classificação de Köppen (1948) o clima da região é mesotérmico (“Cwa”), inverno seco e verão quente e chuvoso, com elevados valores de umidade relativa (77%), mesmo nos meses de inverno. As temperaturas médias anuais oscilam entre 17°C e 24°C e a precipitação pluviométrica varia entre 1000 e 1600 mm. ano-1 (MONSORES et al., 2016). Os ventos predominantes na região são alísios do sudeste, provenientes do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Sua penetração é responsável pelos períodos de seca no inverno e na primavera (COSTA et al., 2012).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

As Serras do Mar e da Mantiqueira influenciam diretamente na precipitação pluviométrica, pois formam uma barreira aos ventos de oeste e sudeste, principais responsáveis pelas ocorrências de chuvas no estado; e mesmo não sendo frequentes, constituem um fator determinante ao clima (MONSORES et al., 2016).

A região do Médio Paraíba do Sul representa 14,14% da área total do ERJ e abriga aproximadamente 5,55% de sua população total (SEBRAE, 2016). Nessa região as atividades antrópicas se modificaram, ao longo do tempo, acarretando uma progressiva degradação ambiental e da qualidade de vida dos habitantes. Diversos ciclos econômicos importantes ocorreram na região começando pelo café, que em seguida foi substituído pela pecuária leiteira, que ainda mantem suas atividades. Especialmente, a partir de 1946, intensificou-se a industrialização de São Paulo e sua integração econômica com o Rio de Janeiro, tendo como marco a implantação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Além de abrigar um importante polo metalúrgico, contando com importante participação da indústria automotiva, onde também estão instalados empreendimentos destinados ao aproveitamento hidrelétrico e hídrico (DEMANBORO, 2015).

2.2 SÉRIES TEMPORAL DE CHUVA

Neste estudo foram utilizadas 27 estações pluviométricas que são apresentadas na Tabela 1. Vale ressaltar a representatividade da distribuição espacial das estações na região do Médio Paraíba do Sul do ERJ (Figura 1). Os dados pluviométricos mensais do período de 1967 a 2013 são oriundos das seguintes agências: ANA (Agência Nacional de Água), CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e LIGHT (Light Serviços de Eletricidade S/A).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 - Identificação (ID) das estações pluviométricas do Médio Paraíba do Sul no estado do Rio de Janeiro, coordenadas geográficas, latitude (°), longitude (°), altitude (m), percentual de falhas (%) e período da série temporal.

ID	Agências	Estações	Lat. (º, S)	Long. (º, W)	Alt (m)	% Falhas	Período
1	FURNAS	Barra Mansa	-22,54	-44,18	376	3,23	1940-2009
2	CPRM	Fazenda Agulhas Negras	-22,34	-44,59	1460	0,00	1941-2009
3	CPRM	Fazenda Santa Rosa	-22,69	-43,87	421	19,35	1931-2009
4	CPRM	Fumaça	-22,30	-44,31	720	0,46	1947-2009
5	CPRM	Glicério	-22,47	-44,23	390	2,30	1967-2009
6	SERLA	Ipê	-22,70	-43,87	425	36,41	1965-1988
7	ANA	Itatiaia	-22,50	-44,55	380	19,82	1956-2010
8	LIGHT	Lídice	-22,83	-44,19	554	0,00	1973-1995
9	CPRM	Nhangapi	-22,50	-44,62	440	2,76	1956-2009
10	CPRM	Nossa Senhora do Amparo	-22,39	-44,11	400	19,82	1967-2009
11	CPRM	Ponte do Souza	-22,27	-44,43	950	0,00	1939-2009
12	INMET	Resende	-22,48	-44,45	440	89,86	1925-1998
13	CPRM	Ribeirão de São Joaquim	-22,47	-44,23	620	3,69	1941-2009
14	LIGHT	Sítio das Palmeiras	-22,45	-44,30	390	12,90	1951-1994
15	LIGHT	Usina Elevatório de Vigário	-22,63	-43,90	369	0,00	1949-2004
16	LIGHT	Vargem - Ralo Coletor	-22,77	-44,09	510	0,46	1915-2004
17	CPRM	Visconde de Mauá	-22,33	-44,54	1030	7,37	1937-2009
18	CPRM	Piraí	-22,63	-43,88	388	0,46	1944-2009
19	CPRM	Volta Redonda	-22,50	-44,09	360	1,84	1943-2009
20	CPRM	Conservatória	-22,29	-43,93	550	1,38	1945-2009
21	LIGHT	Elevatório Santa Cecília	-22,48	-43,84	371	0,92	1920-2004
22	CPRM	Fazenda São Francisco	-22,34	-43,81	690	20,74	1975-1992
23	CPRM	Manuel Duarte	-22,09	-43,56	396	6,91	1942-2009
24	CPRM	Pentagna	-22,16	-43,76	497	5,53	1944-2009
25	CPRM	Santa Isabel do Rio Preto	-22,23	-44,06	544	0,92	1941-2009
26	CPRM	Taboas	-22,21	-43,62	444	22,58	1942-2009
27	INMET	Valença	-22,22	-43,70	549	0,92	1944-2009

2.3 CONTROLE DA QUALIDADE DOS DADOS

No estudo foi realizado o controle de qualidade dos dados pluviométricos das 27 estações pluviométricas. A partir desse controle, foi identificado que 8 estações apresentaram os maiores percentuais de falhas entre 13% (Sítio das Palmeiras) e 90% (Resende). Vale destacar que os menores registros de falhas ocorreram em 70,37% das estações com valores entre 0% a 7% (Figura 2).

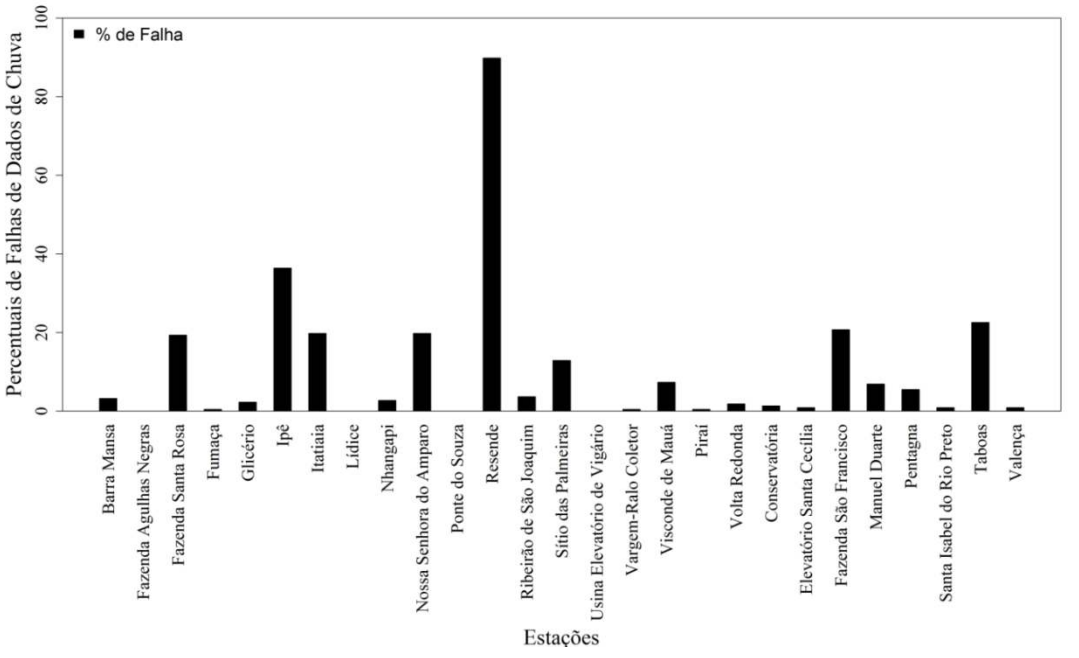


Figura 2 - Percentuais (%) de falhas mensais de chuva das 27 estações pluviométricas, no período de 1967 a 2013 na Região do Médio Paraíba do Sul - Rio de Janeiro.

2.4 SÉRIES TEMPORAIS DE DADOS E PREENCHIMENTO DE FALHAS

Os percentuais de dados faltantes foram contabilizados via aplicação da função "mstats" do pacote "mtsdi" através do software ambiente R versão 3.4.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017). Essa função tem por objetivo principal calcular a proporção de observações ausentes (*missing*) em um determinado conjunto de dados por linhas e colunas, conforme sugerido por Gois et al., (2019). Os comandos são listados a seguir (1), (2), (3) e (4):

```
mstats(dados1)                                                    (1)

FALHAS=c(mstats(dados1))                                          (2)

(TAB_FALHAS_1=FALHAS$columns)                                     (3)

write.xlsx(TAB_FALHAS_1,"MISSING_1967-2013-DIARIO.xlsx",row.names=T)
                                                                  (4)
```

Em que: dados1= banco de dados de chuva mensal (mm); mstats = função para cálculo de dados com falhas no R; TAB_FALHAS_1 = tabela de dados faltosos por coluna; write.xlsx = saída de dados com extensão para o Excel.

As séries temporais pluviométricas com falhas foram preenchidas via produto 3B43 (satélite TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*) e pelas normais climatológicas proveniente do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O produto 3B43 foi usado no período de 1998 a 2009 e as normais climatológicas do INMET no período 1979 a 1997 (BRITO et al., 2016).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

2.5 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Após o preenchimento das falhas foi aplicada a estatística descritiva aos dados pluviométricos, seguido do coeficiente de variação amostral (CV%). Ambos os parâmetros foram calculados via software ambiente R versão 3.4.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

A média aritmética ($\bar{x}$) é a soma de todos os valores observados de chuva dividida pelo número total de observações (MEDRI, 2011). É a medida de tendência central mais utilizada para representar um conjunto de dados. Para um conjunto de n observações, a $\bar{x}$ é definida pela Eq. (5):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + ... + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_n \quad (5)$$

Em que, $\bar{x}$ = média aritmética (mm); n = tamanho da amostra; x_i = valor da medição da amostra em análise.

Segundo Medri (2011), o CV% é definido como a razão entre o desvio-padrão dos dados e sua média, ou seja, é uma medida relativa de dispersão, utilizada para comparar, em termos relativos, o grau de concentração em torno da média, sendo dada pela Eq. (6):

$$CV = \frac{S}{\bar{x}}100 \quad (6)$$

Em que: S = Desvio Padrão e $\bar{x}$ = Média Aritmética.

Conforme Pimentel (1985), a variabilidade de uma série temporal pode ser classificada segundo a magnitude de seu CV (%) da seguinte forma:

- Se CV inferior a 10%, ocorre uma baixa dispersão;
- Se CV entre 10% e 20%, apresenta uma dispersão média;
- Se CV entre 20% e 30%, apresenta uma dispersão alta;
- Se CV acima de 30%, apresenta uma dispersão muito alta.

2.6 CÁLCULO DO SPI E A DEFINIÇÃO DOS ENOS

O SPI é baseado na metodologia proposta por McKee et al., (1993 e 1995) e quantifica o déficit ou o excesso de chuva em multiescala temporal.

O 1º procedimento para o cálculo do SPI é a determinação da probabilidade de distribuição de frequência da série histórica pluviométrica, a qual é calculada por meio da distribuição Gama incompleta. A função normal inversa (Gaussiana) é aplicada a essa probabilidade.

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade – (FDP) (Eq. 7):

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}} x^{\alpha-1} e^{\frac{-x}{\beta}} \quad (7)$$

Em que, $\alpha > 0$ é o parâmetro de forma (adimensional); $\beta > 0$ é o parâmetro de escala (adimensional); $x > 0$ é o total de chuva (mm) e $\Gamma(\alpha)$ é a Função gama definida pela Eq. (8):

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-1} dx \tag{8}$$

Os parâmetros α e β da FDP Gama para as 27 estações foram calculados e ajustados na escala mensal (SPI-1). Segundo, a metodologia proposta por Thom (1966) e Assis et al. (1966), o Método da Máxima Verossimilhança (MMV) é o mais indicado para as estimativas dos parâmetros citados anteriormente (Eqs. 9 e 10):

$$\alpha = \frac{1}{4A}\left(1 + \sqrt{\frac{4A}{3}}\right) \tag{9}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \tag{10}$$

Em que, A é definido pela Eq. (11):

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \ln(x_i) \tag{11}$$

Em que, $\bar{x}$ = Média aritmética da chuva (mm), Ln = logaritmo neperiano, n = número de observações.

Os parâmetros α e β foram calculados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de chuva média mensal sem tratamento, chuva média mensal com tratamento pelo método de Box Cox (1964) e chuva média mensal pela variável reduzida (z_i) da distribuição normal. Em que a probabilidade cumulativa (Eqs. 12 e 13):

$$F(x) = \int_0^{x} f(x)dx = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}} \int_0^{x} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \tag{12}$$

Substituindo o valor de $t = \frac{x}{\beta}$, na Eq. (12) temos a Eq. (13):

$$F(\beta t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}} \int_0^{\beta t} t^{\alpha-1} e^{-1} dx \tag{13}$$

A Eq. (13) é definida como sendo a função Gama incompleta considerando que a função gama incompleta não admite valores nulos. Visto

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

que a distribuição gama é indefinida para valores de chuva iguais a zero, a probabilidade cumulativa pode ser determinada em duas partes (Eqs. 14 e 15):

$$H(x) = q + (1-q)\,G(x) \tag{14}$$

As probabilidades cumulativas empíricas foram bem desenvolvidas por Panofsky e Brier (1958), onde os dados de chuva estão ordenados em ordem crescente de magnitude de forma que os valores são baixos, e o tamanho da amostra é dado pela Eq. 15:

$$q = \frac{m}{n+1} \tag{15}$$

Em que: q = probabilidade de ocorrência de chuva zero; $G(x)$ = distribuição cumulativa teórica, onde os parâmetros são estimados em dias chuvosos; m = número de observações com chuva igual a zero; n = número de observações com chuva maior do que zero.

A distribuição de probabilidade cumulativa $H(x)$ é transformada em uma distribuição normal (valor final do SPI) para a variável (z) aleatória, com média zero e variância um, onde a variável (z) corresponde ao valor do SPI. Por meio das equações desenvolvidas por Abramowitz e Stegun (1965) definido pelas Eqs. (16) e (17):

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{C_O + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0{,}5 \tag{16}$$

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{C_O + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \text{ para } 0{,}5 < H(x) \leq 1 \tag{17}$$

Em que, t é definido pelas Eqs (18) e (19):

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{H(x)^2}\right]} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0{,}5 \tag{18}$$

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{H(x)^2}\right]} \text{ para } 0{,}5 < H(x) \leq 1 \tag{19}$$

Sendo, os coeficientes $c_0 =$ 2,515517; $c_1 =$ 0,802853 $c_2 =$ 0,010328 e $d_1 =$ 1,432788; $d_2 =$ 0,189269; $d_3 =$ 0,001308.

Segundo Blain (2005) no caso da chuva de um determinado período se ajustar à distribuição normal, o SPI será simplesmente a variável reduzida (z_i) da distribuição normal padronizada, definido pela Eq. (20).

$$Z_i = SPI = \frac{P_a - P_m}{\sigma} \tag{20}$$

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Em que: P_0 = Chuva acumulada no período; P_m = Chuva média do período em questão; σ = Desvio padrão da série histórica de chuva na escala em estudo.

Segundo Mckee et al., (1993), o período de ocorrência de uma seca se inicia quando o SPI se torna negativo e atinge o valor -1 e termina quando volta a apresentar valores positivos. Dentro dessa escala os valores de SPI menores ou iguais a -2 indicam secas extremas e os maiores ou iguais a +2 indicam chuvas extremas (Tabela 2). Neste estudo avaliou-se apenas a temporalidade do SPI-1 nas categorias de seca (moderadamente, extremamente e muito seco) e a espacialidade da seca com todas as categorias sugeridas pelo SPI, conforme a Tabela 2. O período de 1967 a 2013 foi divido em décadas (1960, 1970, 1980, 1990, 2000) e no período 2010/2013 para interpretação do SPI-1 espaço-temporalmente.

Tabela 2 - Classificação dos períodos secos e úmidos do SPI (McKee et al., 1993; 1995).

SPI	Categorias
> 2,00	Extremamente úmido
1,5 a 1,99	Muito úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a -0,99	Próximo ao normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Muito seco
< -2,00	Extremamente seco

O ONI (Oceanic Niño Index) é uma medida da variabilidade do ENOS (Terassi et al., 2018). Os períodos quentes (vermelhos) e frios (azuis) são baseados em um limiar de +/- 0,5ºC para uma média mensal de três meses de anomalias da TSM via *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST) versão 5 na região Niño 3.4 (5ºN-5ºS, 120º-170ºW), com base em períodos de 30 anos atualizados a cada 5 anos.

As informações sobre as fases do ENOS foram obtidas na base de dados da *National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center* - NOAA/CPC (NOAA, 2019) conforme a Tabela 3.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 3 - Valores médios do índice ONI, com base em um limite de ± 0,5 °C da TSM do Pacífico Equatorial na região El Niño 3.4, para 3 meses consecutivos de TSM nos anos de El Niño, La Niña e Neutro classificados como quente (vermelho), frio (azul) e neutros (preto) no período de 1967 a 2013.

Anos	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1967	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,4
1968	-0,6	-0,7	-0,6	-0,4	0,0	0,3	0,6	0,5	0,4	**0,5**	**0,7**	**1,0**
1969	**1,1**	**1,1**	**0,9**	**0,8**	**0,6**	0,4	0,4	**0,5**	**0,8**	**0,9**	**0,8**	**0,6**
1970	**0,5**	0,3	0,3	0,2	0,0	-0,3	**-0,6**	**-0,8**	**-0,8**	**-0,7**	**-0,9**	**-1,1**
1971	**-1,4**	**-1,4**	**-1,1**	**-0,8**	**-0,7**	**-0,7**	**-0,8**	**-0,8**	**-0,8**	**-0,9**	**-1,0**	**-0,9**
1972	**-0,7**	-0,4	0,1	0,4	**0,7**	**0,9**	**1,1**	**1,4**	**1,6**	**1,8**	**2,1**	**2,1**
1973	**1,8**	**1,2**	**0,5**	-0,1	**-0,5**	**-0,9**	**-1,1**	**-1,3**	**-1,5**	**-1,7**	**-1,9**	**-2,0**
1974	**-1,8**	**-1,6**	**-1,2**	**-1,0**	**-0,9**	**-0,8**	**-0,5**	-0,4	-0,4	**-0,6**	**-0,8**	**-0,6**
1975	**-0,5**	**-0,6**	**-0,7**	**-0,7**	**-0,8**	**-1,0**	**-1,1**	**-1,2**	**-1,4**	**-1,4**	**-1,6**	**-1,7**
1976	**-1,6**	**-1,2**	**-0,7**	**-0,5**	-0,3	0,0	0,2	0,4	**0,6**	**0,8**	**0,9**	**0,8**
1977	**0,7**	**0,6**	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,8**
1978	**0,7**	0,4	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0,0
1979	0,0	0,1	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,3	**0,5**	**0,5**	**0,6**
1980	**0,6**	**0,5**	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0
1981	-0,3	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1
1982	0,0	0,1	0,2	**0,5**	**0,7**	**0,7**	**0,8**	**1,1**	**1,6**	**2**	**2,2**	**2,2**
1983	**2,2**	**1,9**	**1,5**	**1,3**	**1,1**	**0,7**	0,3	-0,1	**-0,5**	**-0,8**	**-1,0**	**-0,9**
1984	**-0,6**	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	**-0,6**	**-0,9**	**-1,1**
1985	**-1,0**	**-0,8**	**-0,8**	**-0,8**	**-0,8**	**-0,6**	**-0,5**	**-0,5**	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4
1986	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,2	0,4	**0,7**	**0,9**	**1,1**	**1,2**
1987	**1,2**	**1,2**	**1,1**	**0,9**	**1**	**1,2**	**1,5**	**1,7**	**1,6**	**1,5**	**1,3**	**1,1**
1988	**0,8**	**0,5**	0,1	-0,3	**-0,9**	**-1,3**	**-1,3**	**-1,1**	**-1,2**	**-1,5**	**-1,8**	**-1,8**
1989	**-1,7**	**-1,4**	**-1,1**	**-0,8**	**-0,6**	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,4	0,3	0,2	0,3	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,6**	**0,6**	**0,8**	**1,2**	**1,5**
1992	**1,7**	**1,6**	**1,5**	**1,3**	**1,1**	**0,7**	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1
1993	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	**0,6**	**0,7**	**1**	**1,1**
1995	**1**	**0,7**	**0,5**	0,3	0,1	0,0	-0,2	**-0,5**	**-0,8**	**-1,0**	**-1,0**	**-1,0**
1996	**-0,9**	**-0,8**	**-0,6**	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,3	**0,8**	**1,2**	**1,6**	**1,9**	**2,1**	**2,3**	**2,4**	**2,4**
1998	**2,2**	**1,9**	**1,4**	**1**	**0,5**	-0,1	**-0,8**	**-1,1**	**-1,3**	**-1,4**	**-1,5**	**-1,6**
1999	**-1,5**	**-1,3**	**-1,1**	**-1,0**	**-1,0**	**-1,0**	**-1,1**	**-1,1**	**-1,2**	**-1,3**	**-1,5**	**-1,7**
2000	**-1,7**	**-1,4**	**-1,1**	**-0,8**	**-0,7**	**-0,6**	**-0,6**	**-0,5**	**-0,5**	**-0,6**	**-0,7**	**-0,7**
2001	**-0,7**	**-0,5**	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
2002	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1**	**1,2**	**1,3**	**1,1**
2003	**0,9**	**0,6**	0,4	0,0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
2004	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**
2005	**0,6**	**0,6**	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	**-0,6**	**-0,8**
2006	**-0,8**	**-0,7**	**-0,5**	-0,3	0,0	0,0	0,1	0,3	**0,5**	**0,7**	**0,9**	**0,9**
2007	**0,7**	0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	**-0,5**	**-0,8**	**-1,1**	**-1,4**	**-1,5**	**-1,6**
2008	**-1,6**	**-1,4**	**-1,2**	**-0,9**	**-0,8**	**-0,5**	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	**-0,6**	**-0,7**
2009	**-0,8**	**-0,7**	**-0,5**	-0,2	0,1	0,4	**0,5**	**0,5**	**0,7**	**1**	**1,3**	**1,6**
2010	**1,5**	**1,3**	**0,9**	0,4	-0,1	**-0,6**	**-1,0**	**-1,4**	**-1,6**	**-1,7**	**-1,7**	**-1,6**
2011	**-1,4**	**-1,1**	**-0,8**	**-0,6**	**-0,5**	-0,4	**-0,5**	**-0,7**	**-0,9**	**-1,1**	**-1,1**	**-1,0**
2012	**-0,8**	**-0,6**	**-0,5**	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	-0,2
2013	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3

Fonte:https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

2.7 TESTE DE PETTITT (P) APLICADO AO SPI – 1

Para identificar os anos de possíveis mudanças abruptas na média da série temporal do SPI-1 foi aplicado o teste de Pettitt (1979). As mudanças identificadas pelo teste foram associadas com as fases do ENOS, segundo índice ONI, e posteriormente foram criados mapas de SPI-1 para a região do Médio Paraíba do Sul. O interpolador matemático espacial usado foi o Inverse Distance Weighting (IDW).

O teste de Pettitt é definido como sendo um teste não paramétrico e utiliza uma adaptação do teste de Mann-Whitney, na qual verifica se duas amostras $X_1,...,X_t$ e $X_{t+1},...,X_T$ pertencem à mesma população.

A estatística do $U_{i,T}$ faz uma contagem do número de vezes em que um membro da 1ª amostra é maior que o membro da 2ª amostra, sendo definido pela Eq. (21):

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^{T} \operatorname{sgn}\,(x_i - x_j) \qquad \text{para } t = 2,...,T \tag{21}$$

Em que; $\operatorname{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\operatorname{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\operatorname{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

A estatística $U_{i,T}$ é então calculada para os valores de $1 < t < T$, e assim a estatística $k(t)$ do teste corresponde ao máximo em valor absoluto de $U_{i,T}$ e, assim, são estimados os anos onde ocorre a mudança abrupta, dada pela Eq. (22):

$$k(t) = \underset{1<t<T}{\boldsymbol{Max}} \left| U_{t,T} \right| \tag{22}$$

O teste de Pettitt localiza o ponto onde houve uma mudança brusca na média de uma série temporal, e a sua significância é dada pela Eq. (23):

$$p \cong 2\exp\{-6k(t)^2/(T^3 + T^2)\} \tag{23}$$

O ponto de mudança brusca é o t, onde ocorreu o máximo de $k(t)$, os valores críticos de k são calculados pela Eq. (24):

$$\mathrm{k_{crit}} = \pm\sqrt{\frac{\ln(\mathrm{p}/2)(\mathrm{T}^3 + \mathrm{T}^2)}{6}} \tag{24}$$

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE TEMPORAL DA CHUVA E DO SPI-1 NA REGIÃO DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL

• Chuva

Todas as estações apresentaram pluviometria anual superior a média de 1595,29 mm, devido à localização destas em altitudes superiores a 300 m (Tabela 1).

Tal condição mostra a maior interação entre a orografia e os sistemas meteorológicos responsáveis pela geração das chuvas, conforme observado nos estudos realizados por Silva et al., (1993) na região do rio Paraíba do Sul, Terassi et al., (2018) na região Norte do Paraná, André et al., (2005), Brito et al., (2016) e Sobral et al., (2018b) para o ERJ. Todavia, o menor volume de chuva média anual foi registrada no ano de 1968 (1223,39 mm), seguidas pelos anos de 1970 (1278,53 mm), 1984 com 1122,57 mm, 1997 com 1329,49 mm, 2007 com 1354,00 mm e 2011 com chuva média anual de 1551,78 mm. Valores médios anuais de chuva superiores a 1300 mm nessa região são comum, em virtude da ocorrência de chuvas orográficas, as quais se formam em decorrência do relevo complexo das Serras do Mar (litoral) e da Mantiqueira (interior) (OLIVEIRA et al., 2007; COSTA et al., 2012; FARIAS et al., 2018; SOBRAL et al. 2018b; GOIS et al., 2019).

Quanto aos maiores volumes de chuvas médias anuais (Figura 3a) observa-se no ano de 1967 um valor de 1864,05 mm, seguido pela década de 1970 com chuva média anual nos anos de 1972 de 1669,87 mm, 1973 (1634,45 mm), 1975 (1631,84 mm), e o ano de 1976 com uma chuva média anual de 1637,20 mm. A década de 1980 também apresenta valores de chuvas médias anuais semelhantes a década anterior, onde o ano de 1982 mostrou uma chuva média anual de 1664,17 mm, 1983 (1967,48 mm), 1985 (1842,58 mm) e 1986 com 1714,45 mm. Já na década de 1990 a chuva média anual apresentou os maiores valores de chuva média anual nos anos de 1994 com registo de 1759,01 mm, 1995 com 1720,12 mm e 1996 com 1756,28 mm. Todavia, na década de 2000 o total pluviométrico foi similar àqueles registrados nas décadas de 60, 70 e 80 com chuva média anual de 1759,01 mm no ano de 2004, 1720,12 mm em 2005 e 1602,07 mm em 2006. Porém, os anos de 2008 a 2010, registraram chuva média anual acima de 1999,90 mm, em que se destacam os anos de 2008 com 2137,44 mm e 2009 com 2137,44 mm.

Os valores do CV (%) obtidos para as séries pluviométricas anuais mostraram alta variabilidade, onde oscilaram entre dispersão muito alta a média durante o período considerado, exceto o período de 2010/2013 que foi caracterizado pela baixa dispersão (CV% = 10%), conforme Pimentel (1985). Contudo, para as maiores chuvas médias anuais registradas no período de estudo foram observadas dispersão entre alta e média, sendo registrado valores heterogêneos da chuva na série temporal, segundo CV (%) na região do Médio Paraíba do Sul (Figura 3b).

Vale ressaltar que Costa et al., (2012) mostraram via análise de consistência dos dados a chuva média anual nas estações pluviométricas de Volta Redonda, Barra Mansa, Itatiaia, Resende, Piraí, Barra do Piraí e Rio Claro, apresentaram algumas diferenças, mas ainda assim seguem o mesmo padrão da região do Médio Paraíba do Sul.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Destaque para as estações de Lídice (1782 mm) e Várzea (1602 mm) localizadas no município de Rio Claro, por apresentarem os maiores registros de chuvas médias anuais e, sendo superiores aos demais municípios da região, que variam entre 1290 mm a 1430 mm. Segundo os autores isso se deve a localização dos postos pluviométricos na região do Médio Paraíba do Sul fluminense, por se encontrarem na vertente oceânica da Serra do Mar favorecida pela sua posição geográfica e a altitude superior a 300 m na região, isto é, onde o ar caracterizado pela situação instável, devido à contribuição de núcleos de condensação (NC) oriundos do Oceano Atlântico e trazido pela circulação atmosférica, contribui para o aumento da umidade/condensação (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2014; BRITO et al., 2016; FARIAS et al., 2018; SOBRAL et al., 2018a).

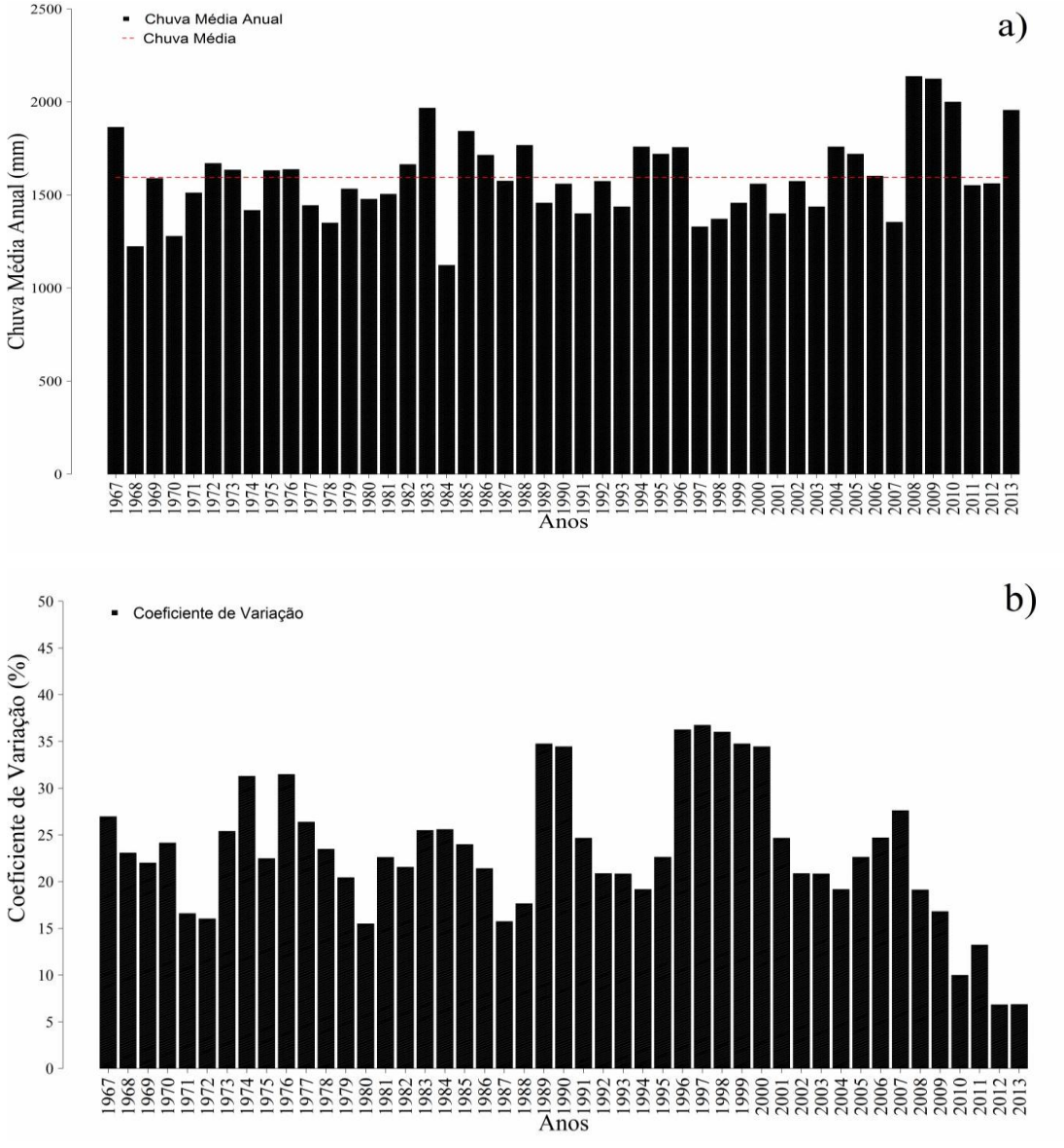


Figura 3 - Distribuição da chuva média anual e a média (mm) – (a) e coeficiente de variação CV (%) anual das 27 estações pluviométricas no Médio Paraíba do Sul, no período de 1967-2013(b).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

- **SPI-1**

A análise temporal do SPI-1, nas décadas de 1960, 1970, 1980, 1990, 2000 e no período de 2010 a 2013 na região do Médio Paraíba do Sul (Tabela 4 e Figura 4) registrou 2356 eventos de seca nas categorias moderadamente a extremamente seco. Os maiores registros ocorreram nas décadas de 1970 (638 eventos, 27,08%), 1980 (501 eventos, 21,26%), 1990 (429 eventos, 18,21%) e 2000 (404 eventos, 17,15%), respectivamente. Situação contrária ocorreu na década de 1960 (167 eventos, 7,09%) e no período de 2010 a 2013 (217 eventos, 9,21%) que registram as menores frequências na região.

Em geral, o SPI-1 contabilizou um total de 1289 eventos de seca moderada (54,71%), 594 eventos na categoria muito seco (25,21%) e 473 eventos na categoria seca extrema (20,08%). Quanto à ocorrência de eventos na categoria próximos ao normal, as décadas em destaque foram à década de 1970 (2250 eventos, 21,29%), a década de 1980 (2258, 21,37%), a década de 1990 (2247 eventos, 21,26%) e a década de 2000 (2390 eventos, 22,62%). Novamente, as exceções foram à década de 1960 (600 eventos, 5,68%) e o período de 2010/2013 (822 eventos, 7,78%) com as menores frequências.

A frequência do SPI-1 para os eventos moderadamente úmidos a extremamente úmidos foi similar aos resultados obtidos para todas as categorias moderadamente seco e extremamente seco (Tabela 4). As décadas de 1970, 1980, 1990 e 2000 registraram 2373 eventos nas três categorias seca, segundo SPI (Tabela 2). As décadas de 1970 (533 eventos, 22,46%) e 1990 (525 eventos, 22,12%) registraram as maiores frequências de eventos úmidos, seguidas pelas décadas de 1980 (449 eventos, 18,92%) e 2000 (427 eventos, 17,99%). Vale ressaltar que elas apresentaram as maiores sequências chuvosas do SPI-1, sendo diretamente associadas aos eventos de La Niña forte nas respectivas décadas (Tabela 3). Novamente, as exceções foram a década de 1960 (205 eventos, 8,06%) e o período de 2010/2013 (234 eventos, 9,86%). A região do Médio Paraíba do Sul registrou 1592 eventos (67,09%) na categoria moderadamente úmido, 572 eventos (24,10%) na categoria muito úmido e 209 eventos (8,81%) classificados como extremamente úmido, categorizado como de Moderado El Niño, forte El Niño, forte La Niña e anos neutros (Tabela 3).

Resultados similares quanto a sensibilidade e variabilidade do SPI-1 foram obtidos nos estudos realizados por Guttman (1999), Blain (2010), Gois (2013), Oliveira-Júnior et al., (2018) e Sobral et al., (2019).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 4 - Frequência (%) decadal dos eventos de seca na região do Médio Paraíba do Sul, via SPI – 1 no período de 1967 a 2013.

Categorias	1960	1970	1980	1990	2000	2010-2013	Total
Moderadamente Seco	96	321	253	261	236	122	1289
Muito Seco	35	134	132	116	114	63	594
Extremamente Seco	36	183	116	52	54	32	473
Total	**167**	**638**	**501**	**429**	**404**	**217**	**2356**
Moderadamente Seco (%)	4,07	13,62	10,74	11,08	10,02	5,18	54,71
Muito Seco (%)	1,49	5,69	5,60	4,92	4,84	2,67	25,21
Extremamente Seco (%)	1,53	7,77	4,92	2,21	2,29	1,36	20,08
Total (%)	**7,09**	**27,08**	**21,26**	**18,21**	**17,15**	**9,21**	**100**
Próximo da Normal	600	2250	2258	2247	2390	822	10567
Total (%)	**5,68**	**21,29**	**21,37**	**21,26**	**22,62**	**7,78**	**100**
Moderadamente Úmido	142	312	321	366	309	142	1592
Muito Úmido	43	123	108	122	104	72	572
Extremamente Úmido	20	98	20	37	14	20	209
Total	**205**	**533**	**449**	**525**	**427**	**234**	**2373**
Moderadamente Úmido (%)	5,98	13,15	13,53	15,42	13,02	5,98	67,09
Muito Úmido (%)	1,81	5,18	4,55	5,14	4,38	3,03	24,10
Extremamente Úmido (%)	0,84	4,13	0,84	1,56	0,59	0,84	8,81
Total (%)	**8,64**	**22,46**	**18,92**	**22,12**	**17,99**	**9,86**	**100**

O índice SPI-1 foi comparado aos eventos de ENOS (Figura 4). Segundo a classificação próxima ao normal na década de 1960, os anos de 1967, 1968 e 1969 se destacaram e foram anos categorizados como El Niño fraco e La Niña fraca. Destaca-se que os anos não apresentaram alterações expressivas do SPI-1. Porém, a década de 1970 mostrou a ocorrência de evento de La Niña moderada, seguidos pelos eventos de La Niña fraca (1971 e 1974) e forte (1973 e 1975) com intensidade entre moderada e extrema do SPI-1. Os eventos de El Niño forte (1972) e fraco foram registrados nos anos de 1976, 1977 e 1979 que

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

foram classificados, como anos de seca extrema a moderada a partir do SPI-1, e que foram também acompanhados por situações de Neutralidade em 1978 na região do Médio Paraíba do Sul.

A década de 1980 mostrou que os anos de 1980, 1981, 1985 e 1989 foram anos de neutralidades segundo a classificação do ENOS e o índice ONI. Porém, eventos extremamente úmidos e secos foram registrados com El Niño muito forte (1982) e La Niña fraca (1983/84), destaque para esse período em relação a chuva na América do Sul, principalmente com relação as áreas secas e chuvosas que apresentaram variações mensais quanto a extensão e intensidade (Kayano e Moura, 1986), acompanhados por eventos de El Niño moderado (1986/87), e de La Niña forte (1988), segundo o índice ONI. Os anos de 1990, 1992, 1993 e 1996 também foram anos que apresentam neutralidades de acordo com a classificação do ENOS, para a década de 90, sendo acompanhado pelos El Niño moderado (1991) e fraco (1994) e de La Niña fraca (1995).Destaque para os eventos de El Niño muito forte (1997) e La Niña moderada (1998 e 1999) registrados na região do Médio Paraíba do Sul.

Na década de 2000, o destaque foi para a ocorrência de evento de La Niña fraca em 2000, com intensidade de seca moderada a extrema na região. No entanto, os eventos Neutros do ENOS foram observados nos anos de 2001, 2003, 2005 e 2008, anos categorizados como extremamente e moderados secos ou úmidos (Figura 4). Um evento de El Niño moderado foi registrado em 2002, seguidos de El Niño fracos nos anos de 2004 e 2006, acompanhados por eventos de La Niña moderada nos anos de 2007 e 2009. Todos os eventos foram classificados como extremamente secos ou úmidos segundo o SPI-1(Figura 4). O período de 2010/2013 mostrou a ocorrência de eventos de La Niña moderada (2010), La Niña fraca (2011) e Neutro nos anos de 2012 e 2013, classificados como extremamente secos ou úmidos conforme o SPI-1.

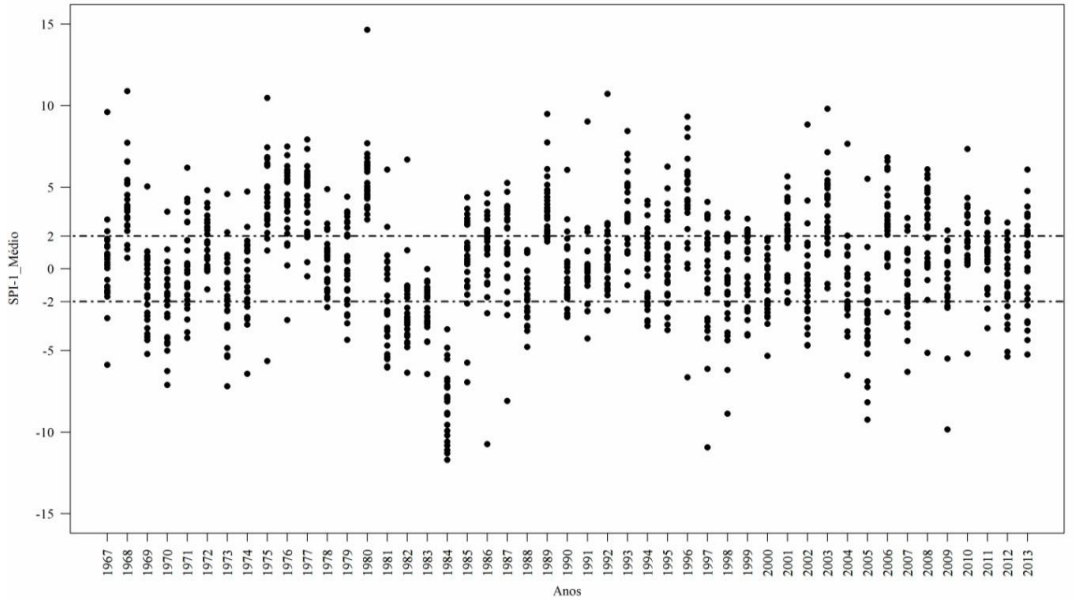


Figura 4 - Distribuição anual do SPI mensal médio no Médio Paraíba do Sul no estado do Rio de Janeiro.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3.2 TESTE DE PETTITT APLICADO AO SPI-1 NO MÉDIO PARAÍBA DO SUL NO PERÍODO DE 1967-2013

A variabilidade do SPI-1 na região do Médio Paraíba do Sul via o teste de Pettitt ao nível de probabilidade de 5% indicou uma mudança abrupta do valor máximo de $K_{crítico}$, significativa (p-valor>0,05) (Figuras 5 e 6). As mudanças bruscas ocorreram nas estações Fazenda Santa Rosa (ID-3), Glicério (ID-5), Ipê (ID-6), Lídice (ID-8), Sítio das Palmeiras (ID-14), Usina Elevatória de Vigário (ID-15), Vargem Ralo Coletor (ID-16), Visconde de Mauá (ID-17), Volta Redonda (ID-19), Elevatória de Santa Cecília (ID- 21), Manuel Duarte (ID-23), Valença (ID-27), Barra Mansa (ID-1), Fazenda Agulhas Negras (ID-2), Nossa Senha do Amparo (ID-10) e Ponte do Souza (ID-11) no ano de 1985 (Figura 5 e Tabela 1). O ano de 1985 é categorizado como fase Neutra do ENOS, conforme a Tabela 3.

Porém, observa-se na Figura 6, que as chuvas apresentaram oscilações com valores baixos entre nos períodos de 1967 a 1974 e de 1984 a 2013, e oscilações com valores altos foram observadas, apenas no período de 1974 a 1984, isso indicou que na década de 1980 houve uma mudança no padrão de chuva anual da região, com uma tendência de crescimento significativa a partir de 1979, conforme o valor crítico de 122 e pvalor de 0,8615. Vale ressaltar que no período ocorreram vários episódios de El Niño Muito forte e La Niñas moderada a forte na região (Tabela 3).

Os resultados obtidos são consistentes e similar aos encontrados por Costa et al. (2001). Eles afirmaram que a variabilidade anual das chuvas na região do Médio Paraíba do Sul segue uma tendência natural, com destaque para os anos mais chuvosos de 1965 a 1967 e os anos secos (1963-1964 e 1968-1970). O El Niño de 1983 atuou com forte intensidade na região de estudo, com influência direta na variabilidade temporal das chuvas. Segundo os autores, neste ano as chuvas na região ultrapassaram 1760 mm acumulados anual na maior parte das estações pluviométricas, exceto Barra Mansa. Situação contrária, em 1984, associado à ocorrência de La Niña com registros pluviométricos reduzidos, entre 914 a 1230 $mm.ano^{-1}$.

Essa variabilidade identificada no estudo pelo teste de Pettitt mostra que a mudança no padrão de chuva de uma região seja apenas uma oscilação natural, não necessariamente associada a uma mudança definitiva, conforme a ideia defendida por Fontana e Berlato (1997). Na mesma temática, Ayoade (1996) e Back (2001) ressaltam que as flutuações no clima de uma região em períodos de 30 a 35 anos não podem ser consideradas como eventos de mudanças climáticas.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

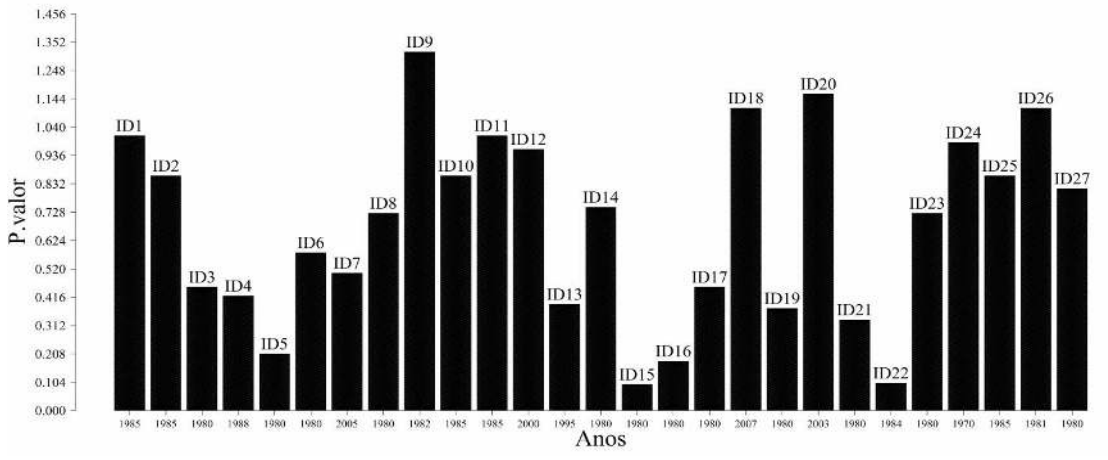


Figura 5 - Distribuição do p. valor do teste de Pettitt nas estações (ID) da região do Médio Paraíba do Sul - Rio de Janeiro.

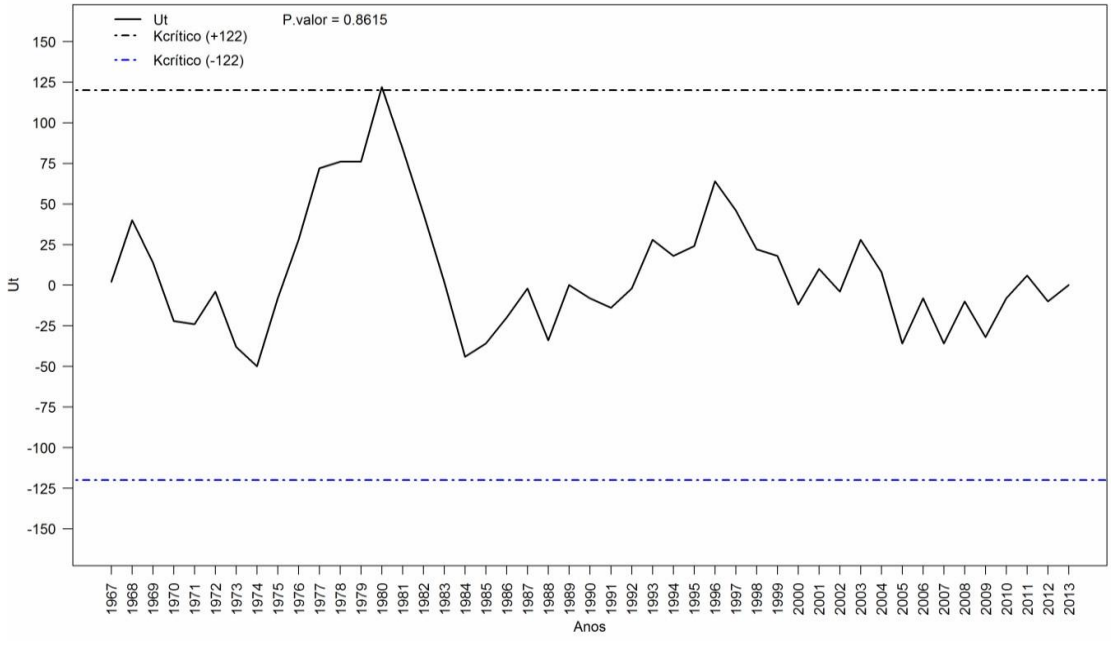


Figura 6 - Teste de Pettitt aplicado à série temporal de SPI-1 de 1967 a 2013 na região do Médio Paraíba do Sul - Rio de Janeiro.

3.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO SPI-1 NA REGIÃO DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL NOS ANOS IDENTIFICADOS PELO TESTE DE PETTITT

Após a identificação dos meses onde ocorreram as mudanças abruptas, alguns anos foram escolhidos para interpolação espacial do SPI-1 com base no IDW. A análise espacial mostrou que em 1980, na região do Médio Paraíba do Sul, eventos mensais na categoria extremamente úmido ocorreram em praticamente toda a região, embora a chuva média anual de 1477,86 mm neste ano tenha sido inferior à média anual da região (1595,29 mm). Vale ressaltar que os eventos nas categorias muito seco e extremamente seco na porção noroeste (NW) da região e as categorias muito úmido e próximo ao normal na

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

porção Sudeste (SE) (Figura 7 - superior). Apesar das mudanças abruptas registradas pelo teste de Pettitt no ano de 1980, segundo a NOAA (2019), neste ano não foram registrados eventos de ENOS de acordo com o índice ONI, sendo categorizado como Neutro (Tabela 3).

Para o ano seguinte (1981) a distribuição espacial do SPI-1 (Figura 7 - central) revelou eventos de seca nas categorias extremamente seco, muito seco e moderadamente seco nas regiões S, E e W da região do Médio Paraíba do Sul, opondo-se o que foi registrado no anteriormente. Destaque para os eventos com a classificação próximo ao normal a moderadamente seco e úmidos observados nas regiões NW e SW da região que se mantiveram no ciclo 1980/81. Os resultados obtidos foram similares aos resultados encontrados anteriormente por Costa et al., (2012) nos municípios de Volta Redonda, Barra Mansa, Itatiaia, Piraí, Barra do Piraí e Rio Claro, com valores médios anuais superiores a 1300 mm. Recentemente Sobral et al., (2018) identificaram à ocorrência de períodos secos seguidos de chuvas orográficas nos municípios citados, que por sua vez se devem a posição dos postos pluviométricos, que se encontram na vertente oceânica da Serra do Mar e da Mantiqueira, com altitude superior a 500 m. A posição geográfica e a altitude favorecem a instabilidade do ar, especialmente oriundo do Oceano Atlântico e, assim maior quantidade de umidade do que os outros postos pluviométricos. Nesta condição as Serras do Mar e da Mantiqueira dão origem ao efeito de sombra de chuva (PELLEGATTI, 2010). As demais estações (postos pluviométricos) estão localizadas bem no interior do Vale do Rio Paraíba do Sul (Figura 1), com altitudes menores – (COSTA et al., 2012).

Os eventos extremamente secos se sobressaem nas regiões NE e NW da região central do Médio Paraíba do Sul. Ressalta-se que no ano de 1981 na região do Médio Paraíba do Sul apresentou chuva média anual de 1504,27 mm, bem próxima à média anual (1595,29 mm) da região, e que neste ano não foram registrados eventos de ENOS segundo o NOAA (2019). Anteriormente, Kayano e Moura (1986) mostraram que ENOS pode afetar áreas secas e chuvosas, seguido de variações quanto a extensão e intensidade.

Por fim, a distribuição espacial do SPI-1 para o ano de 1985 (Figura 7 - inferior) identificou eventos de seca de diversas intensidades, com destaque para a ocorrência de episódios de seca extrema nas regiões N, NE e W da região do Médio Paraíba do Sul. Porém, eventos próximos ao normal foram observados nas regiões N e S da região, principalmente os eventos extremamente úmidos nas regiões NE/NW e SE/SW da região do Médio Paraíba, com uma chuva média anual de 1842,58 mm superior à chuva média anual (1595,29 mm) da região (Figura 3). Segundo o NOAA (2019), novamente categoriza-se este ano como um ano Neutro de acordo com a escala do ENOS a partir do índice ONI.

Em 1982 o SPI-1 (Figura 8 – superior) mostrou a ocorrência de meses sob seca extrema nas regiões N, S e E (janeiro, fevereiro, abril, maio, junho, julho, setembro, novembro e dezembro). No entanto, meses extremamente úmidos a muito seco foram registrados nas regiões SW e W do Médio Paraíba do Sul (abril, junho, setembro e novembro), tais diferenças nos totais mensais de chuvas se devem a influência da orografia, segundo Oliveira et al., (2007) na região do Vale Médio Paraíba do Sul é comum a ocorrência de chuvas orográficas, pois se formam em decorrência do relevo circundante das serras do Mar (litoral) e da Mantiqueira (interior), que faz com que o ar a se eleve, perda

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

temperatura e condensa o vapor d'água e, assim com índices pluviométricos elevados.

Ainda segundo a NOAA (2019), em 1982 foi registrado El Niño muito forte na região, com uma chuva média anual de 1664,17 mm superior à média anual da região. Diaz et al. (1998), mostraram que independente dos efeitos remotos, por exemplo, o ENOS, as maiores correlações entre a TSM e a chuva na América do Sul são encontradas nos meses de abril a julho, quando é encontrado o sinal mais forte de modulação da chuva no Oceano Atlântico Sudoeste (ATS). Para o ano de 1988 na escala SPI-1 (Figura 8 - central) mostra à ocorrência de evento de La Niña moderada seguido de uma chuva média anual na região de 1767,02 mm superior à média de 1595,29 mm da região, porém, eventos nas categorias, muito seco e próximo ao normal foram registrados pelo SPI-1 nas regiões E a W do Médio Paraíba do Sul.

Entretanto, eventos extremamente secos também foram registados nas regiões E, W e S. A distribuição espacial do SPI-1 (Figura 8 - inferior) no ano de 1995 revelou a ocorrência de eventos de La Niña fraca na região, com o predomínio de eventos moderadamente seco a extremamente seco, ao E, W e S, similar ao ano de 1988. Porém eventos próximo ao normal foram observados nas respectivas regiões, seguidos por eventos moderadamente a extremamente úmidos nas regiões N, S e W do Médio Paraíba do Sul, em que a chuva média anual (1767,02 mm) registrada na região foi superior à média (1595,29 mm), essa variabilidade pode gerar enormes problemas à população como dificuldades no abastecimento de água em períodos secos e inundações, e processos de deslizamento em encosta nos períodos chuvosos.

A distribuição espacial do SPI-1 (Figura 9 - superior) no ano de 2000 mostrou a presença de El Niño fraco na região do Médio Paraíba do Sul, onde se observou as ocorrências de eventos extremamente secos, muito secos e moderadamente secos ao N e S. Porém, eventos próximos ao normal foram observados ao E, W e S, seguidos por eventos moderadamente úmidos a extremamente úmidos a NE e SW, que ocorreram durante as inundações em áreas ribeirinhas, nos munícipios Barra Mansa, Resende, Volta Redonda e Barra do Piraí, em 2000 ANA (2010).

O ano de 2005, segundo a NOAA (2019), foi classificado como Neutro. A distribuição espacial do SPI-1 (Figura 9 - central) mostrou a ocorrência de eventos extremamente secos nos setores N, S, E e W. No entanto, eventos nas categorias muito secos e moderados foram observados, apenas a SW do Médio Paraíba do Sul. A ocorrência de eventos entre muito secos a extremamente úmidos via SPI-1 ocorreram a NE, NW e SW.

Para o ano de 2007, a distribuição espacial do SPI-1 (Figura 9 - inferior) para o Médio Paraíba do Sul, mostrou uma ocorrência de eventos extremamente secos nas áreas ao N, NW e S da área de estudo. No entanto, eventos nas categorias muito e moderadamente seco e próximo ao normal foram observados em SE e SW. Os eventos categorizados como moderadamente a extremamente úmidos foram observados a NW e SE. A classificação do NOAA (2019) com base no índice ONI mostrou que o ano de 2007 foi categorizado como La Niña moderada, com chuva média anual inferior à média na região do Médio Paraíba do Sul.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

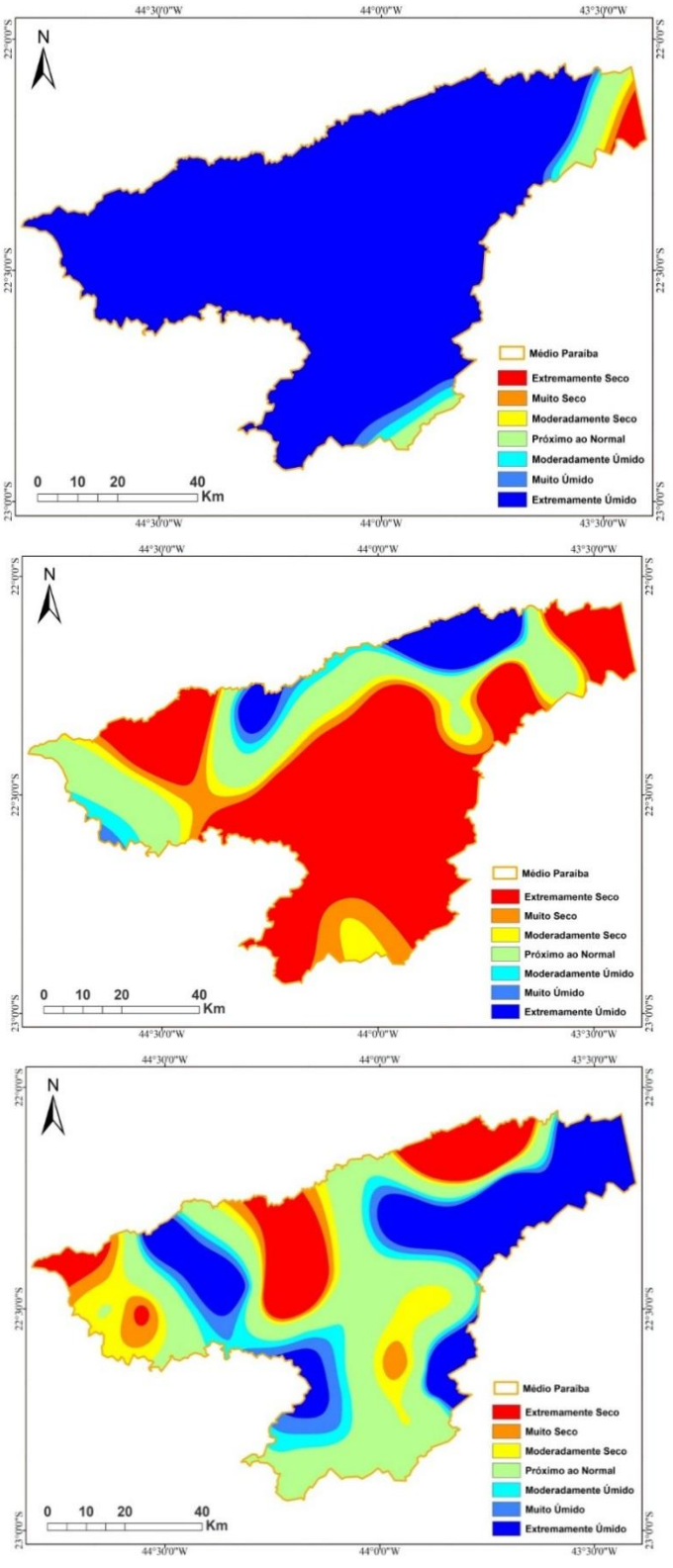


Figura 7 - Distribuição espacial do SPI-1 de 1980 (superior), de 1981(central) e de 1985 (inferior) na região do Médio Paraíba do Sul - Rio de Janeiro.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

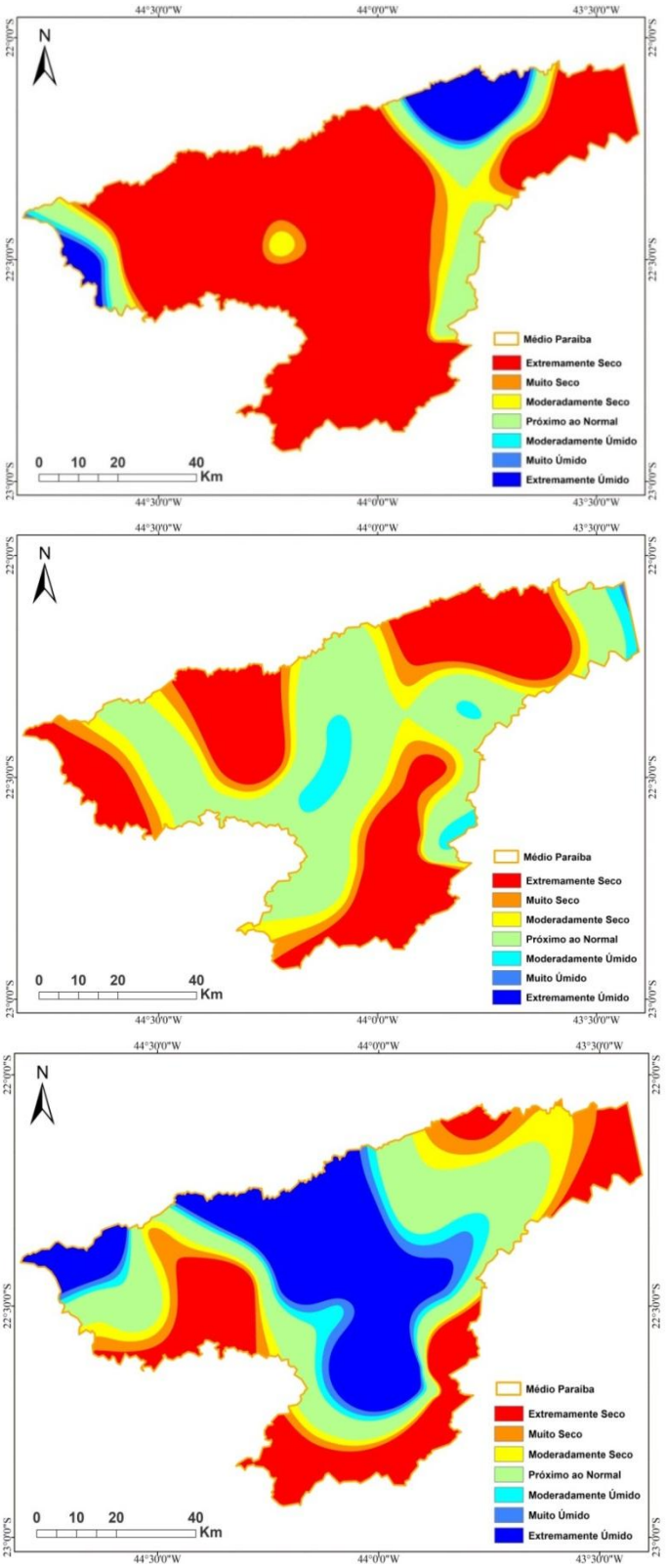


Figura 8 - Distribuição espacial do SPI-1 de 1982 (superior), de 1988 (central) e de 1995 (inferior) na região do Médio Paraíba do Sul - Rio de Janeiro.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

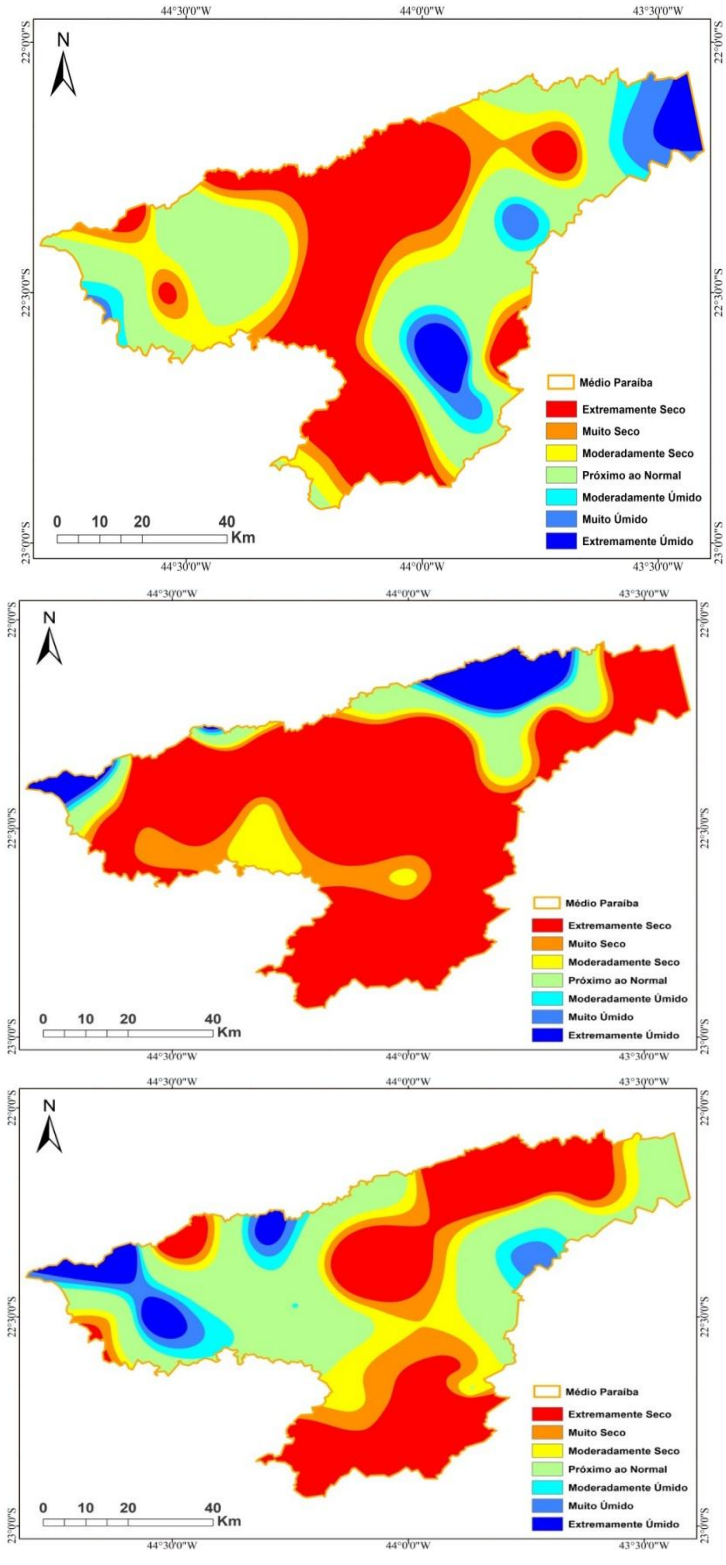


Figura 9 - Distribuição espacial do SPI-1 de 2000 (superior), de 2005 (central) e de 2007 (inferior) na região do Médio Paraíba do Sul - Rio de Janeiro.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Vale ressaltar que a resposta do ENOS no Sudeste do Brasil não é tão linear quanto às regiões Sul e Sudeste, talvez porque a região dependa mais do que ocorre sobre o Oceano Atlântico, e a resposta no Atlântico não é tão simétrica quanto no Pacífico (MINUZZI et al., 2005). Anteriormente, Grimm et al. (2000) mostraram que os episódios El Niño e La Niña influenciam de forma significativa a chuva em escala sazonal nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, principalmente nas estações da primavera e outono.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seca mensal com base no SPI mostra o predomínio nas categorias moderadamente e extremamente seco nas décadas de 60, 70, 80, 90, 2000 e no período de 2010/2013 na região do Médio Paraíba do Sul. Situação similar para a categorização de eventos moderadamente úmidos a extremamente úmidos, com destaque apenas para as décadas de 70, 80, 90 e 2000.

A chuva na região do Médio Paraíba do Sul é altamente variável em todo o período de estudo, a exceção é o período de 2010/2013, caracterizado pela baixa dispersão segundo CV% anual, sendo que os maiores registros de chuvas são observados em todas as décadas e no período de 2010/2013. Porém, há uma similaridade na variabilidade temporal da chuva entre à década de 60 e a década de 2000. Tal variabilidade da chuva nessa região está diretamente relacionada aos aspectos fisiográficos, devido a proximidades das Serras do Mar e da Mantiqueira, e ainda pela influência do modo de variabilidade climática ENOS.

A variabilidade mensal do SPI na região do Médio Paraíba do Sul, segundo o teste de Pettitt, mostra a ocorrência de mudanças significativas, principalmente, na década de 80, em 44% das estações pluviométricas utilizadas neste estudo.

A distribuição espacial do SPI-1 na região do Médio Paraíba do Sul, para os anos identificados pelo teste de Pettitt, mostra que as décadas de 1980 e 2000 apresenta forte influência no padrão de chuva e seca mensal na ocorrência de eventos de neutralidade do ENOS. A análise dos eventos espaço-temporal da seca e regime de chuva na região do Médio Paraíba do Sul no ERJ via índice SPI mostra eficácia para no cumprimento dos objetivos desse estudo.

O uso do SPI mensal como ferramenta de estimativa de seca pode ser amplamente utilizado para diferentes finalidades com proteção florestal, agropecuária, planejamento urbano, manejo de bacias hidrográficas, controle de vazão de barragens e outros, pois podem indicar situações extremas, tanto de excesso quanto de escassez da chuva, principalmente em regiões altamente industrializada e urbanizada.

A principal limitação do estudo é não ter sido avaliado os métodos de interpolação para espacialização da seca com rigor matemático-estatístico, portanto como principal proposta de trabalho futuro sugere-se avaliar qual (is) melhor(es) método(s) de interpolação espacial para geoespacialização da seca no Estado do Rio de Janeiro. Outras proposições são: i) estudar a influência da ODP juntamente com as fases dos ENOS para o Sul do Estado usando técnica de Wavelet e ii) avaliar o impacto de outras regiões de origem do ENOS, além da região 3.4, na espaço-temporalidade da chuva e da seca no Sul do Estado.

5. AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos de Pós-Doutorado (PNPD), junto ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental (PGTA). O segundo autor agradece ao CNPq pela concessão da Bolsa de Produtividade de Pesquisa nível 2 (309681/2019-7). O quinto autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Doutorado e à Universidade de São Paulo pelo suporte acadêmico e intelectual ao longo do curso de Doutorado. O sexto autor agradece o Instituto de Terras e Cartografia do Estado do Rio de Janeiro (ITERJ) e a Secretaria de Estado das Cidades (SECID-RJ) pelo incentivo na participação de trabalhos científicos que tratam da variabilidade climática no estado do Rio de Janeiro.

6. REFERÊNCIAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. New York: Dover, 1965.1046 p.

ALMEIDA, C. T.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; CUBO, P.; RAMOS, M. C. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973-2013. International Journal of Climatology, Londres, v. 37, n. 4, p. 2013-2026, 2016.

AMBRIZZI, T.; SOUZA, E. B.; PULWARTY, R. S. The Hadley and Walker Regional Circulations and Associated ENSO Impacts on South American Seasonal Rainfall. In: Diaz H.F., Bradley R.S. (eds) The Hadley Circulation: Present, Past and Future. Advances in Global Change Research, v 21. Springer, Dordrecht, 2004.

ANDRÉ, R.G.B.; MARQUES, V.S.; PINHEIRO, F.M.A. Disponibilidade hídrica para a Região Norte Fluminense. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.13, n.1, p.135-142, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Previsão de Eventos Críticos na Bacia do Rio Paraíba do Sul, R 02 – Coleta de Dados. Engecorps - Brasília: ANA, SUM, 2010. 285p.

ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. Aplicações estatísticas de climatologia: teoria e prática. Pelotas: Editora Universitária/UFPel, 1966. 161p.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

BARRA, T.S.; COSTA, J.M.N.; RAO, T.U.R.; SEDIYAMA G.C.; FERREIRA, W.P.M.; DANTAS NETO, F.S. Caracterização climatológica da severidade de secas do estado do Ceará- Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.1, p.266-272, 2002.

BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n.5, p. 717-726, 2001.

BARROS, V.; DOYLE, M.; CAMILLONI, I. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. Theoretical and Applied Climatology, v. 93, n. 1, p. 19–33, 2008.

BEZERRA, J.R.A. A seca no Nordeste brasileiro: uma leitura do Jornal Folha de São Paulo. Revista Temática, João Pessoa, v.12, n.8, p.146-160, 2016.

BLAIN, G.C. Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo. 2005. 120f.Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2005.

BLAIN, G.C.; KAYANO, M.T. 118 anos de dados mensais do Índice Padronizado de Precipitação: série meteorológica de Campinas, estado de São Paulo. Revista Brasileira Meteorologia, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 137-148, 2011.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; REBOITA, M. S. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. Climate Dynamics, Boston, v. 42, n. 1, p. 1553-1568, 2014.

BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations. Journal of the Royal Statistical Society, Londres, v.26, n.2, p.211-252, 1964.

BRASIL (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Índices para a Quantificação da Seca. Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, 2009.48p.

BRITO, T., OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F., GOIS, G., LYRA, G., ZERI, M. Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. Meteorology and Atmospheric Physics, Vienna, v.129, n.5, p.469-478, 2016.

CAVALCANTI, I.F.A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. Atmospheric Research, Boston, v. 118, n. 1, p. 27-40, 2012.

CATALDI, M.; ASSAD, L. P. F.; TORRES JUNIOR, A. R.; ALVES, J. L. D. Estudo da influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul extratropical na região da Confluência Brasil-Malvinas no regime hidrometeorológico de verão do Sul e Sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.25, n. 4, p.513-524, 2010.

CLEMENTE, S.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; LOUZADA, M.A.P. Focos de calor na Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.32, n.4, p.669-677, 2017.

COELHO, C., UVO, C.; AMBRIZZI, T. Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. Theoretical and Applied Climatology, Londres, v.71, n. 1, p.185–197, 2002.

COELHO, C.A.S.; CARDOSO, D.H.F.; FIRPO, M.A.F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. Theoretical and Applied Climatology, Londres, v.125, n.3-4, p.769-784, 2016.

COSTA, A.O.; SALGADO, C.M.; DIONALI, Y.T. Caracterização da precipitação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul Fluminense (RJ). Revista Geonorte, Manaus, v.2, n.5, p.1000-1013, 2012.

COSTA, L.F.; Junior, J.E.F.F.; JOHNSON, R.M.F.; PETRUNGARO, A.C.N.; RAMOS, N. P. Análise da precipitação da bacia do rio Paraíba do Sul com enfoque nos anos de 2014 a 2017. In: III Simpósio de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul, Juiz de Fora, p.1-10, 2018.

COSTA, A. O. ; SALGADO, C. M. Caracterização da precipitação no médio vale do rio Paraíba do Sul Fluminense (RJ). Revista Geonorte, Edição Especial 2, V.2, N.5, p.1000 – 1013 , 2012.

COSTA, M.C.L. Teorias médicas e gestão urbana: a seca de 1877-79 em Fortaleza. Revista História Ciência. Saúde-Manguinhos, Rio de Janeiro, v.11, n.1, 57-74, 2004.

CUNHA, G. R. EL Niño –Oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no Sul do Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 7, n. 2., p. 277-284, 1999.

DEMANBORO, A. C. Gestão ambiental e sustentabilidade na macrometrópole paulista - Bacia do Rio Paraíba do Sul. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v.27, n.3, p.515-529, 2015.

DIAZ, A. F.; STUDZINSKI ,C. A.; MECHOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. Journal of Climate, Boston, v. 11, n. 2, p. 251-271, 1998.

FARIAS, O.G.; FRANCISCO, C.N.; SENNA, M.C. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhosa no litoral sul do estado Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v.21, n.13, p.172-185, 2017.

FISCH, G.; VALÉRIO, M. C. Variabilidade intra e interanual da precipitação em Taubaté-SP associado aos eventos El Niño e La Niña. Revista Biociência, Taubaté, v.11, n. 1-2, p. 19-29, 2005.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Influência do El Niño: oscilação sul sobre a precipitação pluvial do Estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.

FREIRE, J. L. M., FREITAS, S. R. D., COELHO, C. A. D. S. Calibration of the BRAMS regional model for predicting climate extreme events. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 30, n. 2, 158- 170, 2015.

GOIS, G.; FREITAS, W.; TERASSI, P.M.B.; OLVEIRA-JÚNIOR, J.F.; PORTZ, A. Variabilidade Anual e Mensal da Chuva e da Temperatura do ar no Município de Resende, Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v.24, n.15, p.94-117, 2019.

GOIS, G.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; DELGADO, R.C.; MORAES, M. Severidade da seca no Estado do Tocantins e suas relações com os eventos de El Niño. Revista Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v.9, n.16, p.1973-1989, 2013.

GOIS, G.; SOUZA, J.L.; SILVA, P.R.T.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F. Caracterização da desertificação no estado de Alagoas utilizando variáveis climáticas. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.20, n.3, p.301-314, 2005.

GRIMM, A. M., BARROS, V. R., DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. Journal of Climate, Boston, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.

GRIMM, A. M. The El Niño Impact on the Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences. Journal of Climate, Boston, v.16, n.2, p.263-280, 2003.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. Journal of Climate, Boston, v. 22, n. 7, p.1589–1609, 2009.

GUTTMAN, N.B. Aceitação do Índice de Precipitação Padronizado: Um Algoritmo de Cálculo1. Journal da Associação Americana de Recursos Hídricos, v. 35, n. 2, 311–322, 1999.

KAYANO, M. T., MOURA, A. D. O El Niño de 1982-83 e a Precipitação Sobre a América do Sul. Revista Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, 201-214, 1986.

KANE, R. P. Prediction of Droughts in North-East Brazil: Role of Enso and Use of Periodicities. International Journal of Climatology, Londres, v. 17, n.6, p.655-665, 1997.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948.

LI, W.; FU, R.; JUAREZ, R.I.N.; FERNANDES, K. Observed change of the standardized precipitation index, its potential cause and implications to future climate change in the Amazon region. Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, v.363, n.1498, p.1767–1772.

LIMA, K.; SATYAMURTI, P.; FERNANDEZ J.P.R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. Theoretical and Applied Climatology, Londres, v. 101, n. 1, p. 121-135, 2009.

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, Londres, v.34, n.13, p.3546-3558, 2014.

LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; CUNHA-ZERI, G.; ZERI, M. Rainfall variability over Alagoas under the influences of SST anomalies. Meteorology and Atmospheric Physics, Vienna, v. 129, n. 1, p. 157-171, 2017.

MACHADO FILHO, H.; MORAES, C.; BENNATI, P.; RODRIGUES, R. A.; GUILLES, M.; ROCHA, P.; LIMA, A.; VASCONCELOS, I. Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil. Brasília: IPC-IG, 2016.

MERABTI, A.; MEDDI, M.; MARTINS, D.S.; PEREIRA, L.S. Comparing SPI and RDI Applied at Local Scale as Influenced by Climate. Water Resources Management, Athens, v.32, n.3, p.1071-1085, 2018.

MARENGO J.A.; NOBRE, C.A.; SELUCHI, M.E.; CUARTAS, A.; ALVES, L.M.; MENDIONDO, E.M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. Revista USP, São Paulo, v.106, n.1, p.31-44, 2015.

MINUZZI, R. B., SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A., COSTA, J. M. N. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira

de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 9, n. 3, 364-371, 2005.

MARENGO, J.A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. Parcerias Estratégicas, Brasília, v.13, n.27, p.149-176, 2008.

McKee, T.B., DOESKEN, N.J., KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: 8th Conference on Applied Climatology, Boston, p.179-184, 1993.

McKee, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. In: 9th Conference on Applied Climatology, Dallas, p.233-236, 1995.

MEDRI, W. Análise exploratória de dados. Londrina: Universidade Estadual de Londrina. 2011.78p.

MINUZZI, R. B., SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. Influência do Fenômeno Climático El Niño no Período Chuvoso da Região Sudeste do Brasil. Geografia, Londrina, v. 15, n. 2, p. 5-19, 2006.

MINUZZI, R. B., SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. Influência do El Niño nas Épocas de Plantio e Fenologia da Cultura da Soja na Região Sudeste do Brasil. Revista Ceres, Viçosa, v. 54, n. 313, p. 316-323, 2007.

MONSORES, D.W.; BUSTAMANTE, J.G.G.; FEDULLO, L.P.L.; GOUVEIA, M.T.J. Relato da situação ambiental com vistas à preservação da área da Floresta da Cicuta. Relatório Técnico (ICMBio), v.17, 2016. 118p.

MORAES, M. P. C.; NERY, J.T. Variabilidade da precipitação na unidade de gerenciamento de recursos hídricos do médio Paranapanema. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 7, n.1, p.169-182, 2009.

NOAA/CPC (National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center).2019. Disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoye

ars.shtml. Acesso em 06/03/2019.

NOBRE, C.A.; MARENGO, J.A. Water crises and megacities in Brazil: Meteorological context of the São Paulo drought of 2014-2015. National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (CEMADEN), Brazil. 2016.6p.

OLIVEIRA B.R.U.; VILELA, A.L.M.; PINTO, L.A.; OLIVEIRA, M.F.A.; CARRIONE, R.M.; PERIRA, C. R. Avaliação da precipitação pluviométrica e sua influência no ecossistema da Serra do Mar. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu, p.1-2, 2007.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; TERASSI, P.M.B.; SILVA JÚNIOR, C.A.; BLANCO, C.J.C.; SOBRAL, B.S.; GASPARINI, K.A.C. Drought severity based on the SPI index and its relation to the ENSO and PDO climatic variability modes in the regions North and Northwest of the State of Rio de Janeiro - Brazil. Atmospheric Research, Boston, v.212, n.1, p. 1-105, 2018.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; DELGADO, R.C.; GOIS, G.; LANNES, A.; DIAS, F.O.; SOUZA, J.C.; SOUZA, M. Análise da Precipitação e sua Relação com Sistemas

Meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. Revista Floresta e Ambiente, Seropédica, v.21, n.2, p.140-149, 2014.

OLIVEIRA B.R.U.; VILELA, A.L.M.; PINTO, L.A.; OLIVEIRA, M.F.A.; CARRIONE, R.M.; PERIRA, C.R. Avaliação da precipitação pluviométrica e sua influência no ecossistema da Serra do Mar. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu (MG), 2007. Anais, SEB. 2007. 2p.

PANOFSKY, H.A.; BRIER, G.W. Some applications of statistics to meteorology. University Park: Pennsylvania State University, 1958.224 p.

PETTITT, A.N.A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics. Journal of the Royal Statistical Society, Londres, v.28, n.2, p.126-135, 1979.

PELLEGATTI, C.H.G.; GALVANI, E. Avaliação da precipitação na Serra do Mar – SP em eventos de diferentes intensidade e duração. GEOUSP: Espaço e Tempo (Online), (27), 147, 2010).

PIMENTEL, G.F. Curso de estatística experimental. 13ª Edição. Piracicaba: Nobel,1990.468p.

QUADRO, S. R. S., SANSIGOLO, C. A., SANTOS, A. P. P. Dinâmica temporal em múltiplas escalas de tempo dos eventos secos e chuvosos no sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 5, p. 1292-1300, 2016.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. 2017. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: https://www.R-project.or

g/. Acesso em 04/05/2019.

SANTOS, M.S. Caracterização espaço-temporal de secas utilizando ondaletas e o standardized precipitation index: Uma aplicação para a parcela mineira da bacia do Rio São Francisco. 2011. 163f. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Saneamento e Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SANTOS, S.R.Q.; BRAGA, C.C.; SANSIGOLO, C.A.; SANTOS, A.P.P. Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.32, n.1, p.111-122, 2017.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; DIAS, P. L. South America. Meteorology of the southern hemisphere. American Meteorological Society, Boston, v. 27, n. 49, p. 119-139, 1998.

SEBRAE (Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). Painel regional: Médio Paraíba do Sul. Rio de Janeiro: Sebrae/RJ, 2016. 32 p.

SIQUEIRA, B.; NERY, J.T. Análise do Índice Padronizado de Precipitação para o Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v.10, n.6, p.1775-1783, 2017.

SILVA, T.M.; MELLO, C.L.; MOURA, J.R.S. Compartimentação morfoestrutural do Médio Vale do rio Paraíba do Sul e áreas serranas adjacentes (RJ/SP/MG). In: III Simpósio de Geologia do Sudeste, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p.103-109, 1993.

SILVA, V.O. Eventos de seca na região sudeste do Brasil: ocorrências temporais e comportamento futuro. 2018. 148f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos de Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

SOBRAL, B.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; TERASSI, P.M.B.; MUNIZ JUNIOR, J.G.R. Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v.22, n.14, p.281-308, 2018a.

SOBRAL, B.S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; TERASSI, P.M.B.; PEREIRA, C.R. Regime de Vento na Serra do Mar - Rio de Janeiro, Brasil. Revista brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 33, n.3, p.441-451, 2018b.

SOUZA, E. D., AMBRIZZI, T. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation. Atmósfera, México, v. 15, n. 2, 105-120, 2002.

SUASSUNA, A.S.A.; MAIA, A.G. Aplicação do índice de precipitação padronizado (SPI) para identificação de períodos de seca no Rio Grande do Norte. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p.1-8, 2017.

TEDESCHI, R.G.; CAVALCANTI, I.F.A.; GRIMM, A.M. Influences of two types of ENSO on South American precipitation. International Journal of Climatology, Londres, v. 33, n. 6, p. 1382-1400, 2013.

TERASSI, P.M.B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; GALVANI, E. Variabilidade do Índice de precipitação padronizada na região norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño-Oscilação Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.33, n.1, p.11-25, 2018.

THOM, H.C.S. Some methods of climatological analysis. Geneva: World Meteorological Organization, 1966.53p.

UNITED NATIONS. United Nations Convention to Combat Drought and Desertification in Countries Experiencing Serious Droughts and/or Desertification. 1994. Disponível em: < https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-10&chapter=27&clang=_en. Acesso em 04/05/2019.

ZHAI, J.; SU, B.; KRYSANOVA, V.; TOBIAS, VETTER, T.; GAO, C.; JIANG, T. Spatial variation and trends in PDSI and SPI indices and their relation to streamflow in ten large regions of China, Journal of Climate, Boston, v.23, n.3, p.649-663, 2010.