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

EVENTOS DE EL NIÑO E A SUA INFLUÊNCIA NAS CHUVAS DA ZONA OESTE DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO/RJ

LUCENA, Andrews José de – lucenageo@gmail.com
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro / UFRRJ

OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco – junior_inpe@hotmail.com
Universidade Federal de Alagoas / UFAL

GOIS, Givanildo – givanildogois@gmail.com
Universidade Federal de Alagoas / UFAL

MIRANDA, Vitor Vieira Vasconcelos de – vitormiranda91@yahoo.com.br
Universidade Federal do Rio de Janeiro / UFRJ

Submetido em: 18/12/2019
Aceito para publicação em: 06/07/2020
Publicado em: 12/07/2020
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.70854

RESUMO: O objetivo deste estudo é analisar a influência do fenômeno El Niño sobre o padrão da distribuição espaço-temporal das chuvas na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro (ZOCRJ) dos últimos 20 anos. Os dados pluviométricos foram obtidos do Alerta Rio da Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro (CRJ) no período de 1997-2016, sendo selecionadas 14 estações da ZOCRJ. A ZOCRJ é uma importante região e se assemelha, em área e em tamanho populacional, a grandes cidades do Brasil. Os episódios de El Niños foram escolhidos conforme o início da série do Alerta Rio e da intensidade do fenômeno. Os episódios selecionados foram 1997/98, 2002/03, 2009/10 e 2015/16. As estatísticas aplicadas consistem na descritiva (histograma), exploratória (boxplot), paramétrica e multivariada (análise de agrupamento - AA). A técnica AA identificou três grupos homogêneos de chuva (G1, G2 e G3). Os grupos foram formados devidos à influência dos sistemas meteorológicos e às características locais e da fisiografia. O teste de Pettit identificou os meses de setembro/outubro (1997) e agosto (2002) com mudança significativa da chuva, as exceções foram os ciclos 2009/10 e 2015/16. O ciclo 2009/10 foi o mais chuvoso em contraste ao ciclo 2015/16, mais seco. A influência do El Niño não alterou na sazonalidade das chuvas, mantendo-se os mais chuvosos ciclos na primavera-verão e os mais secos no inverno.

PALAVRAS-CHAVE: ENOS; aspectos físicos; precipitação; Rio de Janeiro

EL NIÑO EVENTS AND ITS INFLUENCE ON THE RAIN OF THE WEST ZONE OF THE RIO DE JANEIRO CITY/RJ

ABSTRACT: The goal of this study is to analyze the influence of the El Niño phenomenon on the temporal and spatial distribution pattern of rainfall in the West Zone of the Rio de Janeiro city (WZRJC) over the last 20 years. The data were obtained from Alerta Rio series of the Rio de Janeiro city (RJC) in the period from 1997 to 2016, and 14 stations were selected in WZRJC. The WZRJC is an important region and resembles, in area and population size, other big cities in Brazil. The episodes of El Niños were chosen according to the beginning of the Alerta Rio series and the intensity of the phenomenon. The selected episodes were 1997/98, 2002/03, 2009/10 and 2015/16. The applied statistics consist of descriptive (histogram), exploratory (boxplot), parametric and multivariate (cluster analysis - CA). The AA technique identified three homogeneous rainfall groups (G1, G2 and G3). The groups were formed due to the influence of meteorological systems and local characteristics and the physiography. The Pettit Test identified the september/october (1997) and august (2002) months with significant rainfall change, exceptions were the 2009/10 and 2015/16 cycles. The 2009/10 cycle was the rainiest in

contrast to the dry 2015/16 cycle. The influence of El Niño did not change in the seasonality of the rains, keeping the rainier cycles in the spring-summer and the driest in the winter.

KEYWORDS: ENSO; physical aspects; precipitation; Rio de Janeiro

1. INTRODUÇÃO

O El Niño refere-se à interação climática oceano-atmosfera em larga escala ligada a um aquecimento periódico nas temperaturas da superfície do mar no Pacífico Equatorial central e leste-central (NOOA, 2015) e tem se mostrado como um importante fenômeno no entendimento das mudanças climáticas em curso (Yeh et. al., 2009). O termo El Niño está associado a uma das fases do ciclo El Niño-Oscilação Sul (ENOS), a fase quente, como já dito, enquanto a fase fria é conhecida como La Niña. Embora a frequência possa ser bastante irregular, os eventos El Niño e La Niña ocorrem, em média, de dois a sete anos e, normalmente, o primeiro ocorre com mais frequência que o segundo.

Apesar do conceito acima, definido pela Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos (NOOA), tem sido muito difícil definir o El Nino ou um evento do El Niño. Historicamente, o termo tem mudado de significado, pois ora alguns cientistas confinam o termo ao fenômeno costeiro, enquanto outros o usam para se referir ao fenômeno em toda a bacia do Pacífico, como também pesa a quantificação dos eventos, entre outros critérios (Trenberth, 1999; Larkin and Harrison, 2005).

A tipologia dos El Niños é também uma categoria presente nos estudos. Uma dessas tipologias se enquadra à localização geográfica do fenômeno, que pode ser o EN do Pacífico oriental ou Canônico (EP, sigla em inglês) e o EN do Pacífico Central ou Modoki (CP, sigla em inglês) (Yeh et. al., 2009; Viegas et. al., 2019). Uma segunda tipologia é classificada com base nos padrões espaciais de anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM): uma é o El Nino "língua fria" (CT, sigla em inglês), que pode ser considerada como o El Niño convencional, e a outra o El Ninõ "piscina quente" (WP, sigla em inglês) (Kug and Jin, 2009).

As principais influências globais do ENOS e da sua fase quente, o El Niño, ocorrem no padrão de temperatura do ar e no regime de chuva, com alta variabilidade espacial e temporal, impactando diversas atividades, como a agricultura, o turismo, o abastecimento de água e a pesca, entre outras, por conta das alternâncias sazonais entre seca, enchentes e temperaturas extremas (Grimm et al. 2000, Lyra et al., 2017).

Em estudo recente para a América do Sul Cai et. al., (2020) sintetizam o entendimento das teleconexões do ENOS no continente. Geralmente, os impactos na América do Sul apresentam um padrão de inundações ao longo da costa oeste do Equador, Peru e Colômbia, e secas na Amazônia e no nordeste do continente. No estudo verificou-se que os impactos do ENOS variam acentuadamente, afetados pela sua diversidade e pelos modos de variabilidade dentro e fora do Pacífico. As interações climáticas entre bacias hidrográficas e o aquecimento pelo efeito estufa estão entre esses fatores, tornando desafiadora a previsão sazonal.

Ainda para a América do Sul os estudos demonstram que episódios de El Niño influenciam os campos atmosféricos (Reboita et al., 2010; Cataldi et al.,

2010), que atuam em eventos extremos da chuva durante os períodos sazonais (verão e inverno) e nas estações seca, chuvosa e de transição existentes no continente (Grimm & Tedeschi, 2009; Tedeschi et al., 2016; Lyra et al., 2017; Sobral et al., 2019).

No Brasil, os impactos na chuva e na temperatura do ar são conhecidos: diminuição das chuvas e períodos de secas frequentes na região Norte (Marengo, 1992; Gonzalez et al., 2013); longos períodos de estiagem e secas severas no Nordeste Brasileiro – (NEB) (Nobre & Shukla, 1996; Gonzalez et al., 2013; Lyra et al., 2017); chuvas acima da média e elevação das temperaturas no Centro-Oeste (Magaña et al., 2000; Teodoro et al., 2015); na região Sul, aumento das temperaturas médias e dos volumes de chuva (Minake e Montanher, 2019), principalmente na primavera (Grimm et al., 2000; Grimm, 2003); aumento moderado das temperaturas médias no Sudeste (Grimm et al., 2000; Reboita et al., 2010). E, finalmente, mas sem esgotar este tema, um estudo recente buscou analisar os impactos causados pelo El Niño na ocorrência de incêndios e desconforto térmico da população no Brasil e concluiu que há mais condições de desconforto térmico devido ao calor e ao maior número de focos de incêndios no país (Diniz et. al., 2019).

A região Sudeste, condicionada ou não pelo ENOS, é uma região com grande desigualdade na distribuição espaço-temporal das chuvas, que são explicadas pela dinâmica atmosférica (massas de ar, Sistemas Frontais - SF e a Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS e Zona de Convergência de Umidade - ZCOU) – (Reboita et al., 2010; Cataldi et al., 2010; Oliveira Júnior et al., 2014; Sobral et al., 2018) e por diferentes fatores controladores, por exemplo, as formas de relevo, a continentalidade e a maritimidade (SANT'ANNA NETO, 2005). Contudo, acerca das influências do El Niño sobre o Sudeste, Minuzzi et al. (2007) demonstraram que, em média, o fenômeno não exerça influência no início e final do período chuvoso, bem como, na chuva trimestral, a exceção apenas no extremo sul da região, nos dois primeiros trimestres.

A cidade do Rio de Janeiro (CRJ), localizada na região Sudeste, é um espaço de muitos contrastes em sua geografia física e humana que repercute de forma distinta em anomalias do clima. As chuvas e seus impactos sobre a CRJ são objeto antigo de estudo, considerando os mais diferentes fatores, de ordem física, humana, de uso e ocupação do solo, poluição atmosférica e qualidade do ar (Brandão, 2001; Zeri et al., 2011; Pimentel et al., 2014).

Uma climatologia do regime de chuva na CRJ foi elaborada por Dereczynski et al. (2009), na qual foi considerado os diferentes espaços físicos e sua influência na distribuição espacial. Os máximos de chuvas concentram-se próximo aos três maciços costeiros existentes (Tijuca, Pedra Branca e Gericinó-Mendanha) e reduzem-se em direção às baixadas, especialmente na Zona Norte. Uma análise dos eventos intensos indicou que 77% dos casos foram provocados por SF, seguidos por ZCAS, Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) e pelo os efeitos das circulações das brisas marítima/terrestre e baías (Oliveira Júnior et al., 2017).

Dereczynski et al. (2013) mostraram a evolução e a tendência das chuvas para o século XXI e concluíram que o aumento das fortes chuvas nos últimos anos, seguido de uma tendência no aumento de períodos secos longos e estações úmidas curtas. Eventos extremos de chuvas foram avaliados nos trabalhos de Marques et al. (2001) e Moura et al. (2013), com destaque aos

mecanismos e aos padrões de circulação atmosférica. Lucena e Oliva (2012) ressaltam os impactos gerados por conta do relevo e do grau de urbanização na CRJ.

Há uma lacuna na literatura sobre o papel do El Niño no padrão e na distribuição das chuvas na CRJ e no estado do Rio de Janeiro (ERJ). Apenas recentemente alguns estudos foram desenvolvidos para as regiões Norte e Noroeste Fluminense (Oliveira-Júnior et al., 2018) e para o ERJ (Sobral et al., 2019).

Atualmente, o grau de urbanização, de diferentes padrões sociais, tem se deslocado para a Zona Oeste da CRJ (ZOCRJ), uma região que apresenta contrastes físicos e humanos, com diferentes grupos sociais e paisagens.

A ZOCRJ pode ser considerada uma cidade dentro da CRJ e da própria RMRJ. Com uma área territorial de 88,624 Km^2, corresponde a 72% da área total da CRJ, e uma população milionária com 2.238,556 de habitantes, 33% do total da cidade (Data Rio, 2020). Somam-se, ainda, a sua geografia física, com baixadas, restingas, maciços, colinas cristalinas, baía, lagoas e lagunas.

As baixadas de Bangu, Santa Cruz e Guaratiba são responsáveis em separar os dois maciços, da Pedra Branca e Gericinó-Mendanha, e as colinas cristalinas derivadas do trabalho erosivo nos maciços. A baixada de Jacarepaguá, que limita com a Zona Norte, é responsável em separar o maciço da Pedra Branca e o Maciço da Tijuca, voltado para as Zonas Norte, Sul e Central da CRJ. Sua baía, a de Sepetiba, localiza-se no extremo oeste, cercada pela restinga da Marambaia que circunda toda a baixada de Santa Cruz e Guaratiba. As lagoas e lagunas entulham-se nas restingas e cordões arenosos do litoral.

Neste cenário, os números, territorial e populacional, da ZCORJ, são superiores a muitas capitais ou áreas metropolitanas do Brasil. Sua geografia física é complexa e oferece respostas distintas na interação espaço e clima. Lucena (2010), sob a perspectiva do Sistema Clima Urbano de Monteiro (1976) e, considerando uma porção da ZCORJ, revela como saídas (output) do sistema, que classifica como derivações climato-ambientais, os seguintes produtos: as ilhas de calor, as enchentes/inundações e a poluição atmosférica. Acerca das chuvas, Santos & Lucena (2016) mostram que a diversidade da sua paisagem define o seguinte mapeamento: os postos meteorológicos com regime mais chuvoso estão localizados no entorno dos maciços com vertente voltada para o oceano, ao passo que os postos meteorológicos com regimes mais secos estão localizados nos vales intermontanos, mais abrigados do aporte de umidade, quadro recorrente no verão e inverno, sendo alternado pelos sistemas atmosféricos.

É a área da cidade com os maiores investimentos, seja de origem pública ou privada, e de transformações espaciais dos últimos 20 anos, que ampliam o estágio de atenção para impactos ambientais iminentes, provenientes de situações ou eventos extremos meteorológicos. Finalmente, a região se destaca como um importante laboratório nos estudos da climatologia da CRJ e RMRJ.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a influência do fenômeno El Niño, de intensidades distintas, sobre o padrão espaço-temporal das chuvas na ZOCRJ, considerando eventos de El Niños dos últimos 20 anos (1997/1998, 2002/2003, 2009/2010 e 2015/2016).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A CRJ é localizada entre as latitudes 22° 45’ e 23° 50’S, e longitudes 43° 05’ e 43° 50’W, no estado do Rio de Janeiro, região sudeste do Brasil (Figura 1). A ZCORJ ocupa boa parte do território municipal, como exibe a Figura 1, com destaque no cenário metropolitano, conforme apontado e discutido na seção final da Introdução.

A classificação climática da CRJ, segundo Köppen, consiste no tipo “Aw”, caracterizado por invernos secos e frios e verões úmidos e chuvosos. A temperatura mínima do ar média varia de 21,1ºC (inverno) e a temperatura máxima média de 27,3ºC (verão). A temperatura média anual é de 23,9ºC, a chuva é cerca de 1.258 mm.ano^{-1} e o número médio de dias com chuva é de 124 (ZERI et al., 2011). A topografia é acidentada e bastante complexa, com os maciços de Gericinó-Medanha ao norte, o da Pedra Branca a sul e o maciço da Tijuca a leste e as suas baixadas principais, Guanabara, Bangu, Guaratiba e Jacarepaguá. Somam-se a influência do mar exercida pelo Oceano Atlântico, as Baías de Sepetiba e da Guanabara e de suas lagunas costeiras, como a Lagoa Rodrigo de Freitas e as lagoas da Barra (Figura 2).

Nesta geografia física diversa e complexa, a ZOCRJ é marcada por todos os sistemas físicos apresentados, com destaque aos Maciços do Gericinó-Mendanha e da Pedra Branca, as baixadas de Bangu, Guaratiba, Santa Cruz e Jacarepaguá, a baía de Sepetiba e as lagunas da Barra (Figura 2).

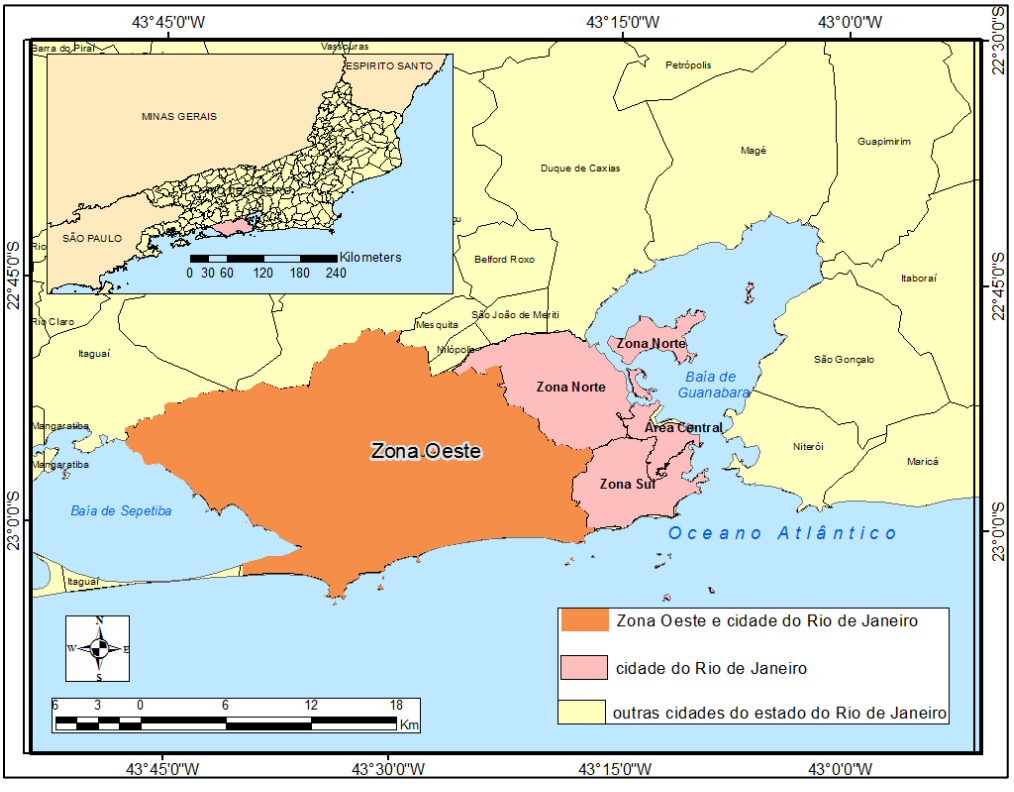


Figura 1 - Localização da Zona Oeste na cidade do Rio de Janeiro.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

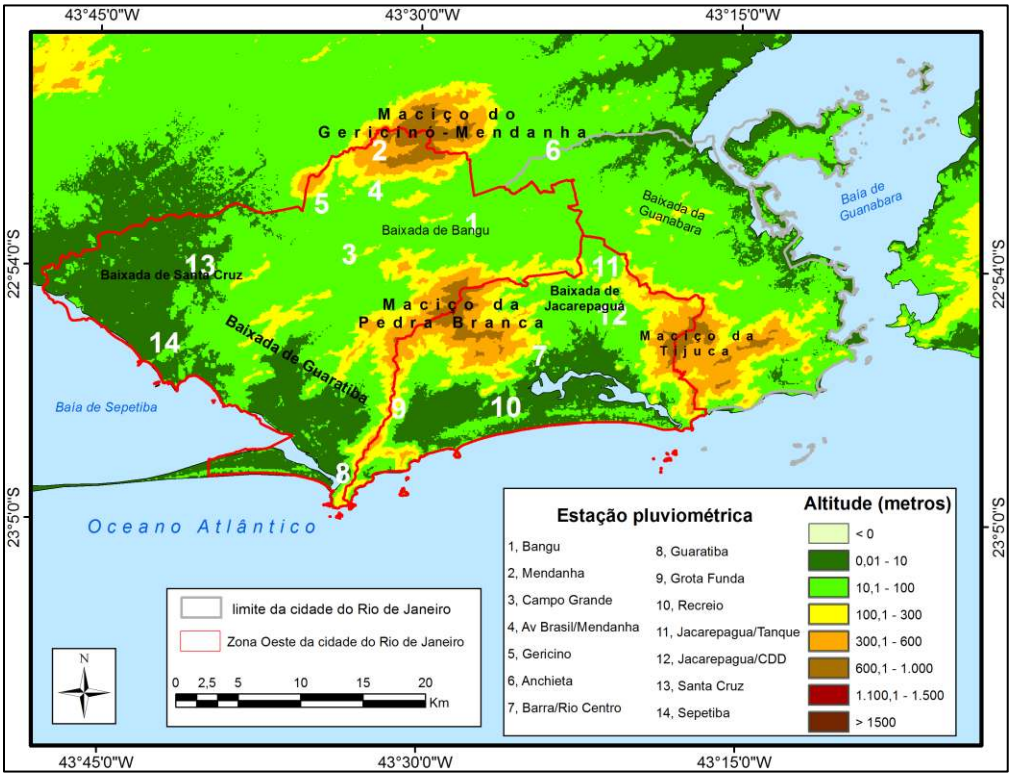


Figura 2 - Localização da Zona Oeste (em contorno vermelho), os aspectos físicos do relevo com hipsometria (m) e a distribuição espacial das 14 estações pluviométricas.

O maciço da Pedra Branca, modelado por rochas graníticas, possui uma topografia bastante movimentada, com serras (a maioria dispostas no sentido oeste-leste separadas por profundos vales, com exceção da serra Geral de Guaratiba, disposta na direção NNE-SSO), morros e picos, estando nele localizado o ponto culminante do município: o Pico da Pedra Branca (1024m.). É o maior centro dispersor de águas do município, localizando-se aí os rios que descem para as baixadas da Guanabara, de Jacarepágua e de Sepetiba, como o Sarapuí, o Fundo e o Cabuçu.

O maciço do Gericinó disposto na direção leste-oeste é dividido pelo vale do Guandu do Sapê em duas principais serras, a do Mendanha e de Madureira. As rochas predominantes são as gnaisse-graníticas e as eruptivas alcalinas. O ponto culminante do maciço é o Pico do Guandu (964m.), situado na serra do Mendanha que ao contrário das serras do Maciço da Pedra Branca dispõe de floresta mais densa e preservada, no entanto, já são perceptíveis alguns núcleos de ocupação incidindo diretamente em focos de desmatamento.

Das baixadas, a de Bangu, está estrangulada entre os maciços da Pedra Branca e do Gericinó, de ocupação urbana intensa, com uma rede de rios e canais, canalizados e assoreados em sua maioria, sujeitos a inundações constantes durante as fortes chuvas. A baixada de Jacarepaguá apresenta um padrão de drenagem e ocupação semelhante a de Bangu, mas é estrangulada pelos Maciços da Tijuca e da Pedra Branca. A baixada de Santa Cruz é uma extensa baixada aberta em direção a baía de Sepetiba, atravessada por uma rede de rios e canais que deságuam diretamente na baía. A ocupação humana é ainda rarefeita, se comparada à baixada de Bangu, porém percebe-se nos

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

últimos anos um aumento paulatino e desorganizado de núcleos urbanos, os quais têm trazido impactos ambientais como as enchentes e o carregamento no volume da carga de sedimentos e materiais em direção à baía.

A ZCORJ abriga as temperaturas mais altas da cidade como também as mais baixas (temperatura máxima acima de 32ºC no verão e temperatura mínima em torno dos 19ºC no inverno). As temperaturas mais elevadas, ultrapassando 40ºC nos dias mais quentes do verão carioca, são registradas na baixada de Bangu, em virtude da circulação atmosférica local, enquanto que no extremo oeste estão as temperaturas mais amenas durante o inverno, com mínima absoluta bem próxima a 15ºC.

2.2. Dados

2.2.1. SÉRIE PLUVIOMÉTRICA

Os dados pluviométricos foram obtidos do Sistema Alerta Rio da Prefeitura da CRJ (http://alertario.rio.rj.gov.br/download/dados-meteorologicos/). O monitoramento das chuvas iniciou em 1997 e, atualmente, conta com uma rede de 37 estações. Neste trabalho foram selecionadas 14 estações pluviométricas que estão localizadas na ZOCRJ em diferentes espaços quanto ao relevo, segundo a ocupação e ao uso do solo e a proximidade ao ambiente costeiro (Quadro 1; Figura 2).

Quadro 1 - Identificação (ID) das estações pluviométricas com seus respectivos períodos, latitude (°), longitude (°) e altitude (m).

ID	Estação	Lat (°)	Long (°)	Alt(m)	Período
1	Bangu	-22,88°	-43,46°	15	1997-2016
2	Mendanha	-22,86°	-43,54°	30	1997-2010 (março)
3	Campo Grande	-22,90º	-43,56°	30	1997-2016
4	Avenida Brasil/Mendanha	-22,85º	-43,54º	30	Abril de 2010-2026
5	Gericinó	-22,52º	- 43,34º	30	1997-2010 (maio)
6	Anchieta	-22,82º	-43,40º	50	1997-2016
7	Barra/Rio Centro	-22,98º	-43,40°	0	1997-2016
8	Guaratiba	-23,05º	-43,59º	0	1997-2016
9	Grota Funda	-23,01º	-43,52º	11	1997-2016
10	Recreio dos Bandeirantes (Itaúna até abril de 2010)	-23,01º	-43,44º	10	1997-2016

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

11	Jacarepaguá/ Tanque	-22,91º	-43,36º	73	1997-2016
12	Jacarepaguá/ Cidade de Deus	-22,94º	-43,36º	15	1997-2016
13	Santa Cruz	-22,90º	-43,68º	15	1997-2016
14	Sepetiba	-22,96º	-43,71º	62	1997-2016

A regressão linear simples (Kite, 1988) foi utilizada para preencher lacunas na série temporal de chuvas mensais. A regressão foi realizada entre cada série e uma referência, que era composta por médias de estações. As estações homogêneas foram determinadas utilizando o coeficiente de correlação de Pearson (r > 0,70) (BRITO et al., 2017; LYRA et al., 2014; LYRA et al., 2017). O preenchimento da lacuna foi realizado de acordo com a Eq. (1):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (1)$$

Em que Y_i, em mm, é a diferença mensal de precipitação, X_i, em mm, é a chuva do mês na série de referência, e β_0 e β_1 são os coeficientes de regressão.

As primeiras seis estações (Bangu, Mendanha, Campo Grande, Av. Brasil/Mendanha, Gericinó e Anchieta) estão distribuídas na baixada de Bangu, e/ou na encosta do Maciço do Gericinó-Mendanha. A estação ID 6, Anchieta, não integra a ZOCRJ oficial segundo a Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, mas foi incorporada neste estudo, pois é a única estação além dos limites da Zona Oeste localizada próximo a encosta do Maciço Gericinó-Mendanha.

As estações de ID 7 a ID 12 (Barra da Tijuca/Rio Centro, Guaratiba, Grota Funda, Recreio, Jacarepaguá/Tanque e Jacarepaguá/Cidade de Deus) distribuem-se à barlavento do Maciço da Pedra Branca, em sua vertente sul, de fronte ao mar, e pela Baixada de Jacarepaguá, em franca urbanização, espremida entre o maciço da Pedra Branca e o maciço da Tijuca e estendendo-se pelo litoral. Finalmente, as duas últimas estações, ID 13 e ID 14 (Santa Cruz e Sepetiba), estão localizadas nas baixadas de Guaratiba e Santa Cruz no extremo oeste, na borda da baía de Sepetiba.

Boa parte das estações pluviométricas tem uma série interrupta, desde 1997, com exceções. A estação do Mendanha, desativada em março de 2010, foi substituída pela estação Avenida Brasil/Mendanha, que inicia a sua operação em abril, porém em local diferente mais distante da encosta do maciço Gericinó-Mendanha. A estação Gericinó também foi desativada em 2010, mas em maio, e se localizava nas proximidades da atual estação Avenida Brasil/Mendanha. A estação Recreio dos Bandeirantes tem seus registros desde 1997, porém com o nome Itaúna. Os dados foram mantidos, mas a troca no nome, em maio de 2010, também alterou o local, distantes entre eles em 1 km, mas de características similares.

2.2.2. ESTUDOS DE CASOS DOS EL NIÑOS

Os episódios de El Niños foram escolhidos obedecendo a dois critérios: i) o início da série de dados do Sistema Alerta Rio e ii) a intensidade do fenômeno,

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

segundo o *Oceanic Niño Index* (ONI) da *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA). Quanto ao primeiro critério, ele foi discriminado na seção anterior. Quanto ao segundo, foram selecionados os ciclos dos El Niños de 1997/98 (junho a julho), 2002/03 (junho a março), 2009/10 (junho a maio) e 2015/16 (junho a junho).

A intensidade dos ciclos de El Niño é classificada em fraca, moderada, forte e muito forte e se baseia nas anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico tropical nas regiões chamadas de Niños (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4). Um ciclo é nomeado de El Niño quando há cinco períodos consecutivos de 3 meses com anomalia do ONI igual ou acima + 0,5°C da TSM na região no Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W). Deste modo, a intensidade do El Niño é classificada nas seguintes anomalias da TSM: fraca (0,5 a 0,9°C), moderada 1,0 a 1,4°C), forte (1,5 a 1,9°C) e muito forte (igual ou acima de 2,0°C), similar ao estudo realizado por Terassi et al. (2018).

Desde 1997, quando iniciada a série pluviométrica do Sistema Alerta Rio, até 2016[1], há três ciclos considerados fracos (2004/05, 2006/07 e 2014/15), dois considerados moderados (2002/03 e 2009/10), dois considerados muito fortes (1997/98 e 2015/16) e nenhum considerado forte. Para este trabalho, foram selecionados os ciclos moderados e muito fortes, por se tratarem de pares iguais, excluindo assim os ciclos fracos, que são três.

O Quadro 2 mostra os valores médios do índice ONI para esses ciclos. O ciclo 1997/98 apresentou 13 meses de El Niño (Junho a Junho), sendo sete meses muito fortes, igual ou acima de 2,0°C (Agosto a Fevereiro). O ciclo 2015/16 também mostrou 13 meses de El Niño (Junho a Junho) e seis meses com anomalia igual ou acima de 2,0°C (Setembro a Fevereiro). O ciclo de 2002/03 apresentou 10 meses de El Niño (Junho a Março) e seis meses na categoria moderada, entre 1,0 e 1,4°C (Agosto a Janeiro). E, finalmente, o ciclo 2009/10 mostrou 10 meses de El Niño (Junho a Maio) e também seis meses com anomalia entre 1,0 e 1,4°C (Setembro a Março).

Quadro 2 - Valores médios do índice ONI (°C) para 3 meses consecutivos[2] da região Niño 3.4 para os ciclos 1997/98, 2002/03, 2009/10 e 2015/16.

Ciclos	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ
1997/98	1,4	1,7	2,0	2,2	2,3	2,3	2,1	1,8	1,4	1,0	0,5	-0,1
2002/03	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,1	0,9	0,6	0,4	0,0	-0,2	-0,1
2009/10	0,5	0,6	0,7	1,0	1,2	1,3	1,3	1,1	0,8	0,5	0,0	-0,4
2015/16	1,2	1,5	1,8	2,1	2,2	2,3	2,2	1,9	1,5	1,1	0,6	0,1

[1] Do ano de 2016 até este momento, mês de maio de 2020, há mais dois ciclos de El Niño, conforme o Índice ONI, que são 2018/2019 e 2019/20, ambos considerados fracos. Disponível em: https://ggweather.com/enso/oni.htm

[2]Com início em Junho. Fonte: Adaptado de NOOA, 2016 (http://ggweather.com/enso/oni.htm).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

2.3. ESTATÍSTICAS APLICADAS A SÉRIE TEMPORAL

A análise exploratória da série temporal se baseou no cálculo da média, mediana, extremos, primeiro e terceiro quartil e *outliers*, apresentada na forma de *boxplot*. A grande vantagem no uso dos boxplots é ter uma visão geral da distribuição dos dados. A estatística descritiva aplicada à série temporal foi baseada nos parâmetros média, máxima e mínima, desvio padrão e coeficiente de variação (CV,%) e por meio dos histogramas para revelar a frequência com que as chuvas se distribuíram durante os meses dos ciclos de El Niño.

A técnica de análise de agrupamento (AA) foi aplicada às 14 estações por meio do software ambiente R versão 3.1.1 (R Development Core Team, 2011), para a determinação dos respectivos números de grupos e o dendrograma. O número de grupos adotados e a estratificação das estações foram baseados no método hierárquico aglomerativo de Ward (1963) por meio da medida de dissimilaridade a distância Euclidiana (Everitt & Dunn, 1991; Lyra et al. 2014). A distância Euclidiana é dada pela Eq. (2):

$$d_E = \sqrt{\sum_{j=1}^{p} (x_{ij} - x_{kj})^2} \quad (2)$$

Em que, d_E é a distância Euclidiana; x_{ij} e x_{kj} são variáveis quantitativas j dos indivíduos p e k, respectivamente.

No método de Ward (1963) a distância entre dois agrupamentos é a soma dos quadrados entre os dois agrupamentos feitam sobre todas as variáveis. Neste método, minimiza-se a dissimilaridade, ou minimiza-se o total das somas de quadrados dentro de grupos, ou seja, se dá pela homogeneidade dentro de cada grupo e a heterogeneidade fora de cada grupo (Lyra et al., 2014; Brito et al., 2017), sendo dada pela Eq. (3):

$$W = \sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2} - \frac{1}{n}(\sum x_i)^2 \quad (3)$$

Em que, W é a homogeneidade e heterogeneidade intra-grupos por meio da soma do quadrado dos desvios; n é o número de valores analisados; x_i é i-ésimo elemento do agrupamento.

O teste de Pettitt foi aplicados as 14 estações pluviométricas da área de estudo, em que foram identificados os anos e os meses de ocorrência de mudança abrupta na série mensal da chuva da ZOCRJ de precipitação pluviométrica.

O teste faz uso de duas amostras X_1,... X_t e X_{t+1},...., X_T que pertencem a mesma população. A estatística $U_{t,\,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da 1ª amostra é maior que o membro da 2ª, conforme a Eq. (4):

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^{T} \mathrm{sgn}(X_i - X_j) \text{ para t = 2, ..., T} \quad (4)$$

em que, sgn (x) = 1 para x > 0; sgn (x) = 0 para x = 0; sgn (x) = -1 para x < 0.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A estatística $U_{t,\,T}$ é calculada para os valores de $1 < t < T$, e a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt é dado por:

$$k(t) = MAX_{1 \le t \le T} \left| U_{t,T} \right| \quad (5)$$

O teste de Pettitt mensal localizou o ponto em que ocorreu uma mudança brusca na média de uma série mensal da chuva da ZOCRJ e a sua significância pode ser calculada pela Eq. (6):

$$p \cong 2\exp\left\{ \frac{-6k(t)^2}{\left(T^3 + T^2\right)} \right\} \quad (6)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

A técnica AA permitiu identificar três grupos homogêneos de chuva (G_1, G_2 e G_3) na ZOCRJ (Figura 3). O corte foi definido pela medida de dissimilaridade e o número de grupos, quando a taxa de variação da medida de dissimilaridade apresentou um aumento brusco, conforme a Figura 4. O estabelecimento do corte já foi realizado em estudos anteriores (Lyra et al., 2014; Teodoro et al., 2015; Brito et al., 2017). O grupo 1 (G_1) foi composto apenas por 2 estações. O grupo 2 (G_2) foi composto por 3 estações, juntamente com o grupo G_1 são os menores grupos homogêneos pluviométricos na ZOCRJ, enquanto o grupo 3 (G_3) foi composto por 9 estações (maior grupo).

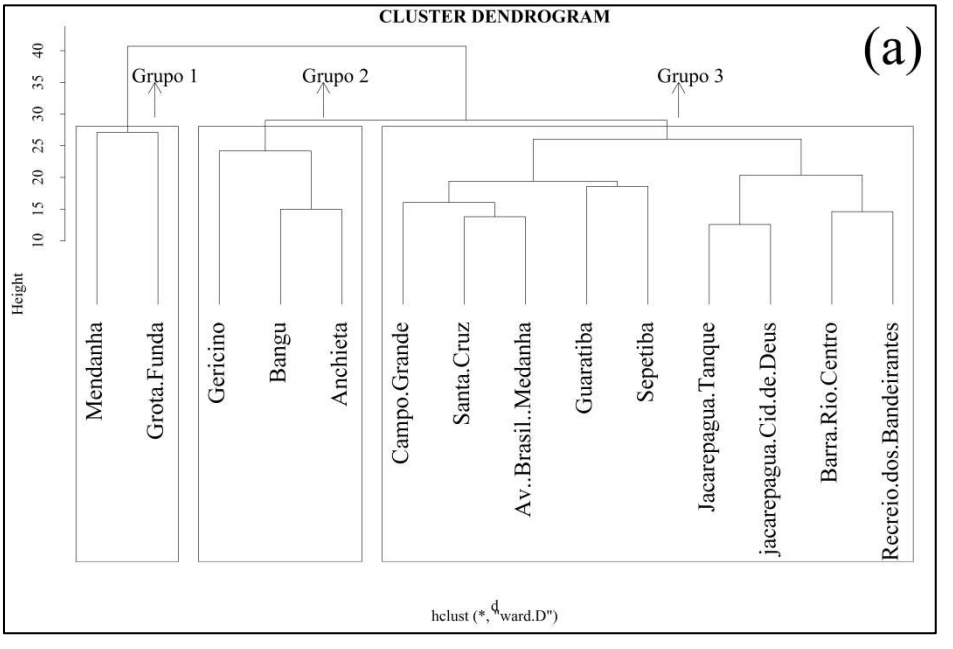


Figura 3 - Dendograma dos grupos homogêneos de chuva (G_1, G_2 e G_3) da Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro criado com base na distância normalizada entre grupos.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

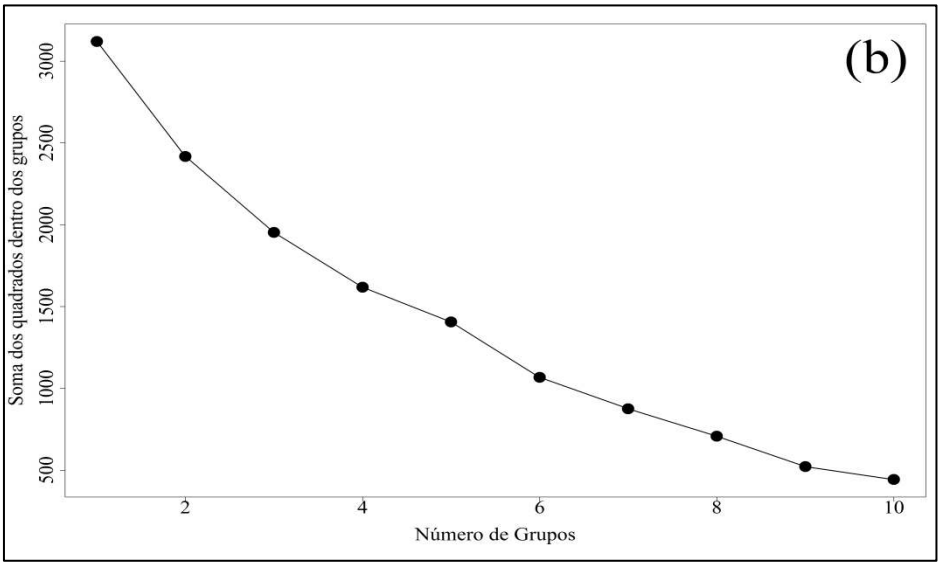


Figura 4 - Número de grupos estabelecidos pela Soma dos Quadrados entre os Grupos.

O grupo G_1 (1491,51 ± 88,13 mm) é formado pelas estações do Mendanha (ID 2) e da Grota Funda (ID 9), distantes uma da outra, mas se localizam nas encostas dos maciços do Gericinó-Mendanha e da Pedra Branca, respectivamente. O grupo G_2 (1112,02 ± 76,93 mm) é formado pelas estações Gericinó (ID 5), Bangu (ID 1) e Anchieta (ID 6), localizadas entre ou próximos aos principais maciços da ZOCRJ. A estação Gericinó é isolada em comparação as outras duas estações, sendo a mais próxima da vertente sul do maciço Gericinó-Mendanha. As estações Bangu e Anchieta compreendem um padrão espacial homogêneo por estarem localizadas nas áreas planas de suas respectivas baixadas urbanizadas, Bangu e Guanabara, distanciando-se das vertentes dos maciços.

O grupo G_3 (1132,08±69,87 mm) é formado pelas estações Campo Grande (ID 3), Santa Cruz (ID 13), Avenida Brasil/Medanha (ID 4), Guaratiba (ID 8), Sepetiba (ID 14), Jacarepaguá-Tanque (ID 11), Jacarepaguá-Cidade de Deus (ID 12), Barra/ Rio Centro (ID 7) e Recreio dos Bandeirantes (ID 10) (Quadro 3). Deste grupo destacam-se quatro subgrupos com maior homogeneidade, conforme a Figura 3.

Quadro 3 - Identificação dos grupos pluviométricos homogêneos (G_1, G_2 e G_3), estações pluviométricas, desvio padrão (mm), CV (%), média (mm) e falhas nos dados (%).

Grupos	Estações Pluviométricas	Desvio Padrão (mm)	Média (mm)	CV (%)	Falhas nos Dados (%)
G_1	Medanha	92,62	1514,59	61,10	34,17
	Grota Funda	83,63	1468,43	57,20	0,42
G_2	Gericinó	83,69	1175,31	71,20	33,33

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

	Bangu	69,05	1029,77	67,10	0,42
	Anchieta	78,05	1130,98	69,00	0,42
G_3	Campo Grande	71,82	1079,36	66,50	0,42
	Santa Cruz	72,18	1177,10	61,30	0,42
	Avenida Brasil/Mendanha	70,44	1222,15	57,60	67,08
	Guaratiba	62,56	1067,23	58,60	0,42
	Sepetiba	69,98	1111,33	63,00	0,42
	Jacarepaguá/ Tanque	72,68	1083,11	67,10	0,42
	Jacarepaguá/ Cidade de Deus	64,12	1080,94	62,10	0,42
	Barra/Rio Centro	75,00	1252,61	59,90	0,42
	Recreio dos Bandeirantes	67,08	1114,85	60,20	0,42

O primeiro subgrupo é definido pelas estações Campo Grande, Santa Cruz e Avenida Brasil/Mendanha, distribuídas pelas baixadas de Bangu e Santa Cruz. O segundo subgrupo é composto pelas estações de Guaratiba e Sepetiba, ambas situadas próximo à costa, principalmente Guaratiba. O terceiro subgrupo é composto pelas duas estações de Jacarepaguá: Tanque (ID 11) e Cidade de Deus (ID 12), bem próximas uma da outra, localizadas na área urbanizada da baixada de Jacarepaguá, entre os maciços da Pedra Branca e da Tijuca. E, finalmente, o quarto subgrupo é composto pelas estações Barra/Rio Centro (ID 7) e Recreio (ID 10), próximas uma a outra e localizadas na Baixada de Jacarepaguá, margeadas pelas lagoas de Jacarepaguá e de Marapendi, respectivamente, e próximas ao cordão litorâneo da praia do Recreio dos Bandeirantes (Oceano Atlântico). O padrão de distribuição espacial do agrupamento é dado na Figura 5.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

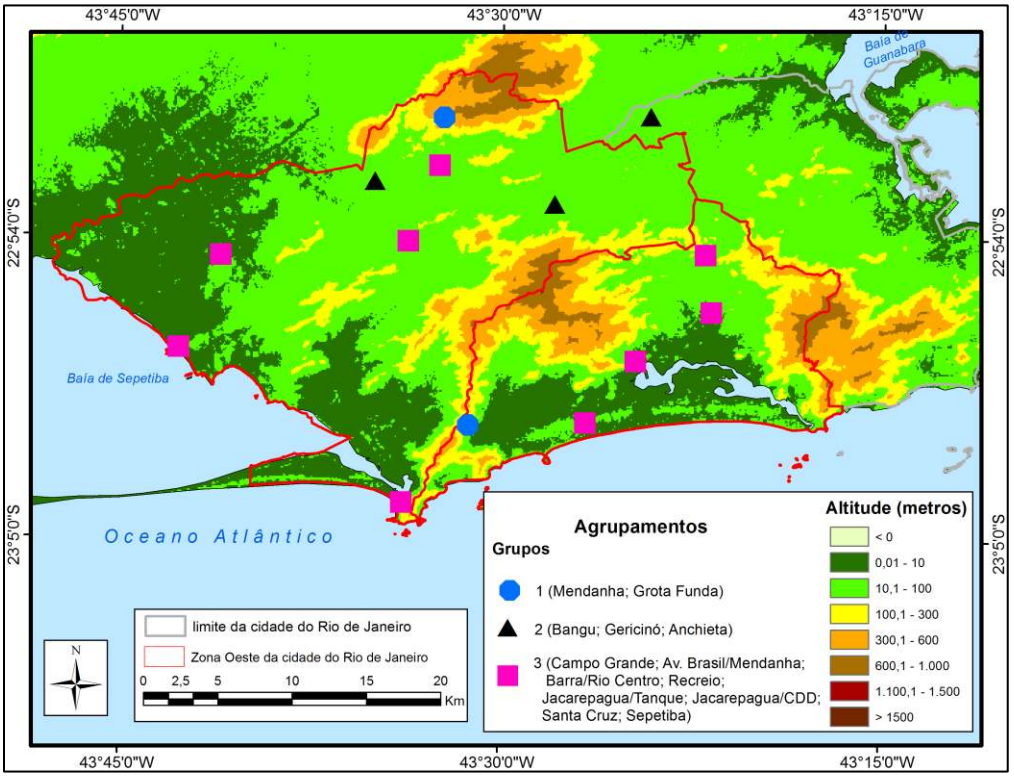


Figura 5 - Localização de cada estação e dos grupos homogêneos de chuva (G_1, G_2 e G_3) da Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro com respectiva hipsometria (m), após o agrupamento pelo método de Ward.

Os grupos G_1 a G_3 são formados sob a influência dos sistemas meteorológicos que atuam na região Sudeste, e às características locais e da fisiografia como, por exemplo, a proximidade do ambiente costeiro e topografia complexa (regiões montanhosas que se contrastam com as planícies e manguezais), (Oliveira Júnior et al., 2015) e duas Baías (Guanabara e Sepetiba), que induzem a regimes de circulação local (Zeri et al., 2011; Pimentel et al., 2014; Oliveira Júnior et al., 2017) e da ICU (Moraes et al., 2005; Lucena et al., 2013).

Aquelas características locais podem induzir a formação de chuva orográfica ou convectiva, chuva produzida pelas circulações de brisa vale/montanha, lacustre/baía e marítima/terrestre, além de interagir e intensificar outros sistemas meteorológicos como os SF, os SCM, a ZCAS, a ASAS, os BA, as circulações de brisas, a chuva orográfica, as tempestades convectivas, entre outros (Dereczynski et al., 2009; Cataldi et al., 2010; Zeri et al. 2011; Oliveira Júnior et al., 2014; Brito et al., 2017; Sobral et al., 2018).

Em suma, a técnica de análise de agrupamento definiu três grupos pluviométricos homogêneos. O agrupamento considerou as características da geografia física contrastante da Zona Oeste, especialmente os grupos G_1 e G_2, sendo o primeiro com duas estações localizadas nas bordas dos maciços costeiros e o segundo com três estações distribuídas no domínio das Baixadas, urbanizadas, e um pouco mais distantes dos maciços. Um terceiro grupo, G_3, com oito estações, não apresenta um agrupamento tão homogêneo quanto aos grupos anteriores, que é devido ao grande número de estações e a

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

complexidade da geografia física. Ainda assim, esse grupo se subdividiu em quatro subgrupos, que obedeceram as características da geografia física, tomando como exemplo, o quarto subgrupo, com duas estações, próximas uma da outra, localizadas às margens das lagoas da Baixada de Jacarepaguá.

3.2 ESTUDOS DE CASO DOS EL NIÑOS NA ZOCRJ

Após a identificação das regiões homogêneas de chuvas da ZOCRJ, foram escolhidas quatro estações (Mendanha, Gericinó, Campo Grande e Barra Rio Centro) representativas dos três grupos para avaliação da chuva mensal via *boxplot* e histograma dos ciclos de El Niños considerados muito fortes e moderados, conforme o Quadro 2.

Apesar de encerrados os registros nas estações Mendanha e Gericinó em fevereiro e abril de 2010, respectivamente (mas interpolados os dados pluviométricos até o ano de 2016), ainda assim optou-se em mantê-las, por conta de suas localizações nas encostas do Maciço Gericinó-Mendanha (embora a estação do Mendanha estivesse inserida na encosta florestada), contrastando às outras duas estações, Campo Grande e Barra – Rio Centro, situadas em área de Baixada, e distantes das encostas.

3.2.1. MENDANHA

A chuva acumulada anual média para todo o período 1997-2016 no Mendanha é de 1514, 19 mm, a mais elevada dentre todas as estações meteorológicas separadas para os estudos de caso. Este valor mais elevado é por conta da localização da estação ao sopé do Maciço de mesmo nome.

Na distribuição de frequência das chuvas por boxplots (Figura 6), o ciclo 1997/98 apresentou os menores valores em comparação aos demais ciclos, com mediana igual a 106 mm, média igual a 112,12 mm e frequência entre 90 e 130 mm. Os totais registrados foram altamente variáveis neste ciclo: 11,40 mm (julho) e 226 mm (fevereiro). O ciclo 2015/16 é o segundo com menor distribuição das chuvas entre os ciclos, com a mediana igual a 120,57 mm, média igual a 109,32 e frequência entre 80 e 140 mm. Novamente, destaque para menores registros de chuva em julho (15,12 mm) e agosto (15,20 mm).

O ciclo 2002/03 mostrou uma mediana de 117,20 mm e média de 142,54 mm, sendo que o regime de chuva se concentrou entre 56 e 195 mm e, novamente, dentro do ciclo do ENOS foram identificados menores registros de chuva em junho (28,20 mm) e altos registros em março (309 mm). Finalmente, o ciclo 2009/10 é o que mais se destaca dentre os demais, com uma mediana de 161,80 mm, média de 198,67 mm e o regime de chuva se concentra entre 120 e 200 mm. O ciclo 2009/10 apresentou a assimetria superior a mediana, ou seja, a maioria dos valores foram superiores a 161,80 mm, provavelmente devido aos *outliers* de abril (466,90 mm) e dezembro (551,20 mm) (Figura 6).

É importante ressaltar que o uso dos boxplots tem o intuito de observar a distribuição dos dados, a partir da análise exploratória da sua série temporal, que se baseou na média, mediana, extremos, primeiro e terceiro quartil e *outliers*. Não cabe a comparação com a média climatológica de todo o período para a estação, que neste caso foi de 1997 a 2016 e que indicamos no primeiro

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

parágrafo desta subseção, para averiguar valores acima ou abaixo da média e verificar possivelmente algum tipo de anomalia. Os ciclos analisados neste trabalho não possuem o mesmo número de meses ou estão padronizados em 12 meses o que também inviabiliza este tipo de comparação.

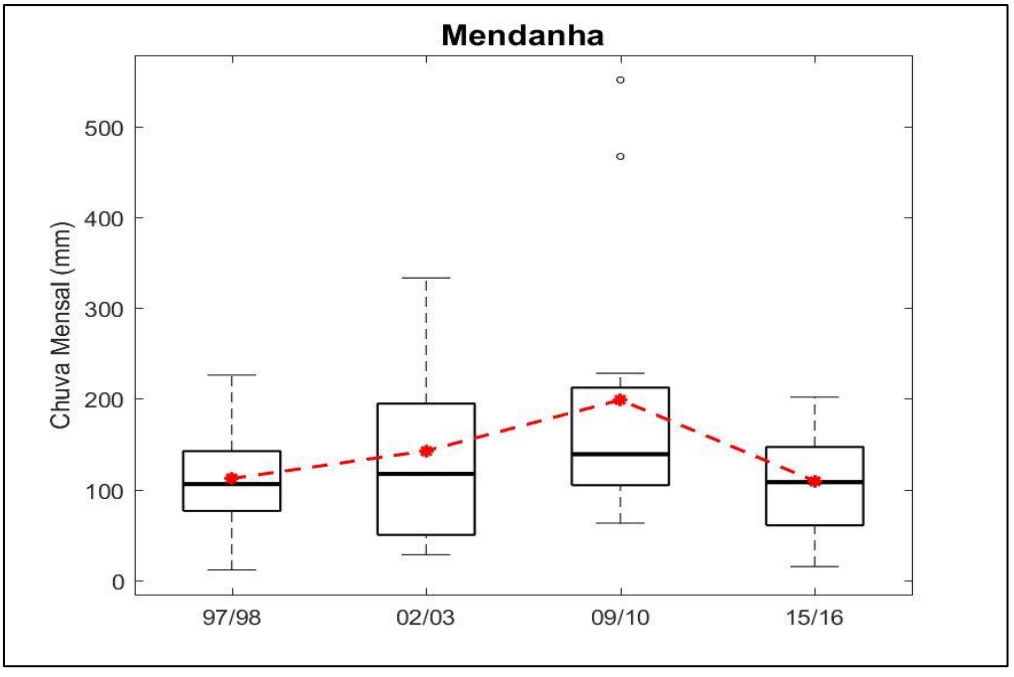


Figura 6 - Boxplots da chuva mensal (mm) da estação Mendanha nos quatro ciclos do El Niño (97/98; 02/03; 09/10; 15/16) na ZOCRJ.

Nos histogramas de chuva (Figura 7), os ciclos concentraram-se nos meses correspondentes as estações de primavera e verão, com grande destaque ao ciclo de 2002/03, com três meses consecutivos (novembro, dezembro e janeiro), mais da metade da chuva registrada para todo o ciclo (junho-março), sendo exceção o ciclo 2015/16.

Os ciclos 1997/98 e 2015/16, que são os mais longos (13 meses), proporcionalmente foram os mais secos nesta estação. No ciclo 1997/98 a chuva se concentrou nos meses da primavera, apesar dos maiores valores ocorrerem em janeiro (219,50 mm), enquanto no inverno (1997) há o menor registro pluviométrico (111 mm). No ciclo 2002/03 a distribuição da chuva foi regular em relação ao ciclo 1997/98, e sendo os meses de inverno com os menores registros para todo o ciclo, onde temos em janeiro (333 mm) e março (309 mm) os maiores registros.

Esta comparação entre ciclos de magnitudes distintas, como indicado no parágrafo anterior entre 2002/03 (moderado) e 1997/98 (muito forte), pode causar estranheza e incoerência, inicialmente, para análise. Entretanto, a intenção é justamente confrontar ciclos discrepantes para identificar o impacto do El Niño sobre as chuvas na ZCORJ (ou em qualquer outra região) e buscar entender se, de fato, há diferenças no volume pluviométrico conforme a magnitude.

No ciclo 2009/10 a distribuição foi similar ao ciclo anterior, com maiores registros em dezembro (551,20 mm) e abril (466,90 mm). Em abril ocorreu um

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

grande evento, nos dias 05 e 06, quando uma forte chuva frontal atingiu a cidade do Rio de Janeiro e gerou totais de 300 mm em 24 horas na maioria das estações e configuraram 500 mm no acumulado do mês, também em muitas estações, conforme destacado por Lucena e Oliva (2012), mas que não foi o caso do Mendanha. Este excesso das chuvas no mês de abril será observado nas demais três estações selecionadas do estudo, Gericinó, Campo Grande e Barra-Rio Centro. Vale ressaltar que os meses mais secos foram junho, agosto e maio, a exceção foi julho. E, finalmente, o ciclo 2015/16, o mais seco entre todos os ciclos investigados, onde o maior registro foi em janeiro (201,81 mm), seguido de cinco meses com valores abaixo dos 100 mm.

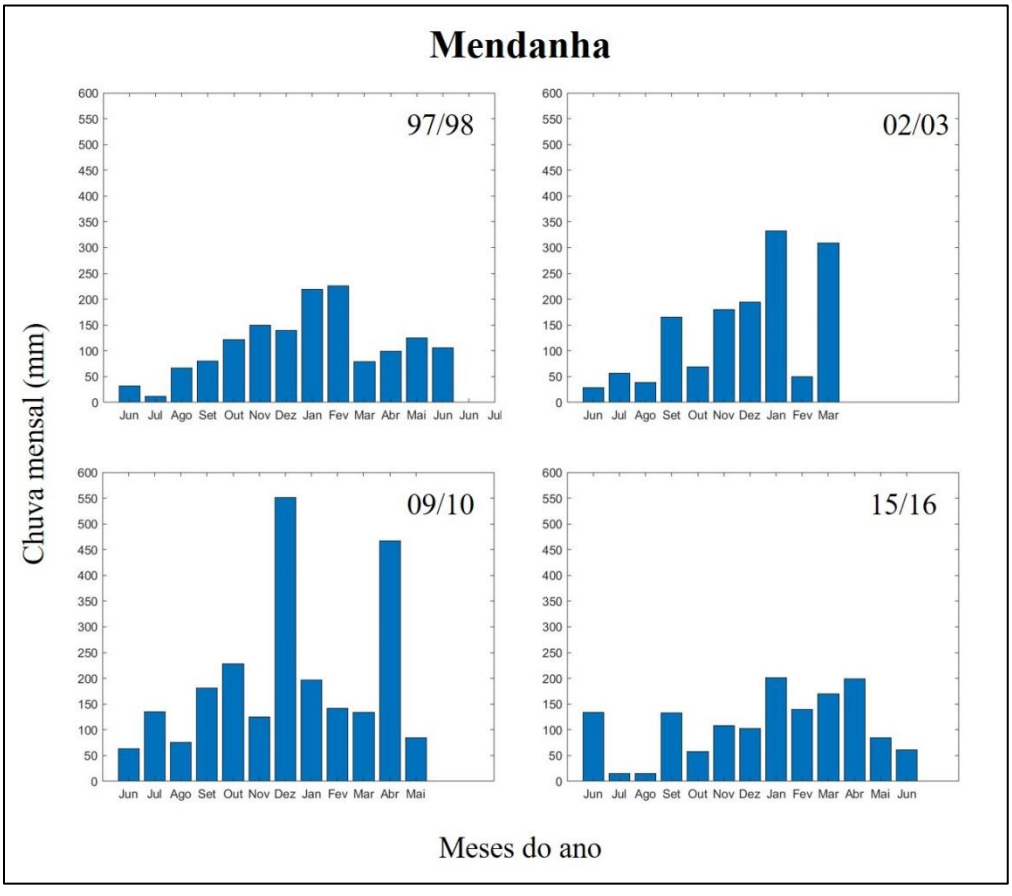


Figura 7 - Histogramas da chuva mensal (mm) da estação Mendanha nos quatro ciclos do El Niño (97/98; 02/03; 09/10; 15/16) na ZOCRJ.

3.2.2. GERICINÓ

A chuva acumulada anual média para todo o período 1997-2016 em Gericinó é de 1175, 31 mm, a terceira mais elevada dentre todas as estações meteorológicas separadas para os estudos de caso.

Na distribuição de frequência das chuvas por boxplots (Figura 8), o ciclo 2015/16 apresentou a menor mediana (59,94 mm) e média (73 mm) seguido de sua frequência entre 50 e 100 mm. Vale destacar que o menor registro foi obtido em agosto (4,89 mm) e o maior em março (124,29 mm). Este ciclo

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

possui uma forte assimetria acima da mediana, justificado pelo *outlier* observado em janeiro (221,70 mm).

O ciclo 2002/03 obteve mediana igual a 74,20 mm, média igual a 82,92 mm e frequência variando entre 33 e 112 mm. Similar ao ciclo de 2015/16 obteve o menor registro igual a 4,80 mm (fevereiro) e maior registro em janeiro (212,80 mm). O ciclo 1997/98 obteve uma mediana de 84,50 mm, média de 92,57 mm e frequência variando entre 49 e 122 mm. O mês de julho (13,70 mm) obteve o menor registro e janeiro (137,80 mm) o maior. Este ciclo mostrou forte assimetria acima da mediana, em virtude do *outlier* de fevereiro (261,30 mm).

Finalmente, o ciclo 2009/10 foi o mais úmido na estação Gericinó, com mediana igual a 129,40 mm, média igual a 144,38 mm e uma frequência entre 60 e 210 mm. O menor registro nesta estação ocorreu em maio (12,97 mm) e o maior foi em dezembro (374,60 mm). Similarmente aos ciclos anteriores foi identificada uma forte assimetria acima da mediana.

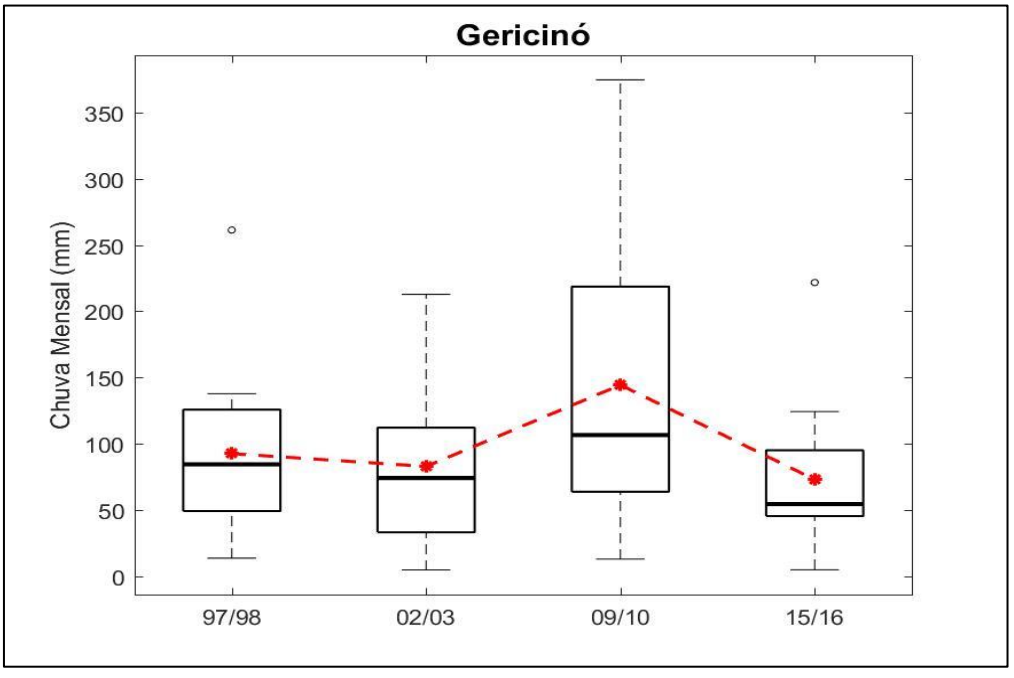


Figura 8 - Boxplots da chuva mensal (mm) da estação Gericinó nos quatro ciclos do El Niño (97/98; 02/03; 09/10; 15/16) na ZOCRJ**.**

Nos histogramas (Figura 9), os ciclos concentraram a pluviometria nos meses correspondentes à primavera e ao verão. Destaque para o ciclo 2009/10 referente a abril (308,00 mm) e dezembro (374,60 mm), com altos valores. Os ciclos 02/03 e 15/16 foram os mais secos com totais de 829,20 e 851,01 mm, ao contrário dos ciclos 97/98 e 09/10 que foram os mais úmidos com totais de 1203,50 e 1616,57 mm, respectivamente. Entre os ciclos 15/16 e 02/03, o primeiro foi o mais intenso, devido ao seu prolongamento e a sua magnitude. Os meses de agosto (ciclo 15/16) e fevereiro (ciclo 02/03) foram os mais secos na estação. Em relação aos ciclos úmidos, o ciclo 2009/10 se sobressaiu ao ciclo 1997/98 e, ainda, registrou a maior pluviometria, principalmente em dezembro (374,60 mm) e abril (308,00 mm).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Ao comparar as estações Gericinó e Mendanha, ambas situadas na vertente do maciço Gericinó-Mendanha, a segunda obteve os maiores valores na soma e na média da chuva para todos os ciclos do ENOS adotados, o que se deve, provavelmente, a sua localização mais abrigada pela floresta.

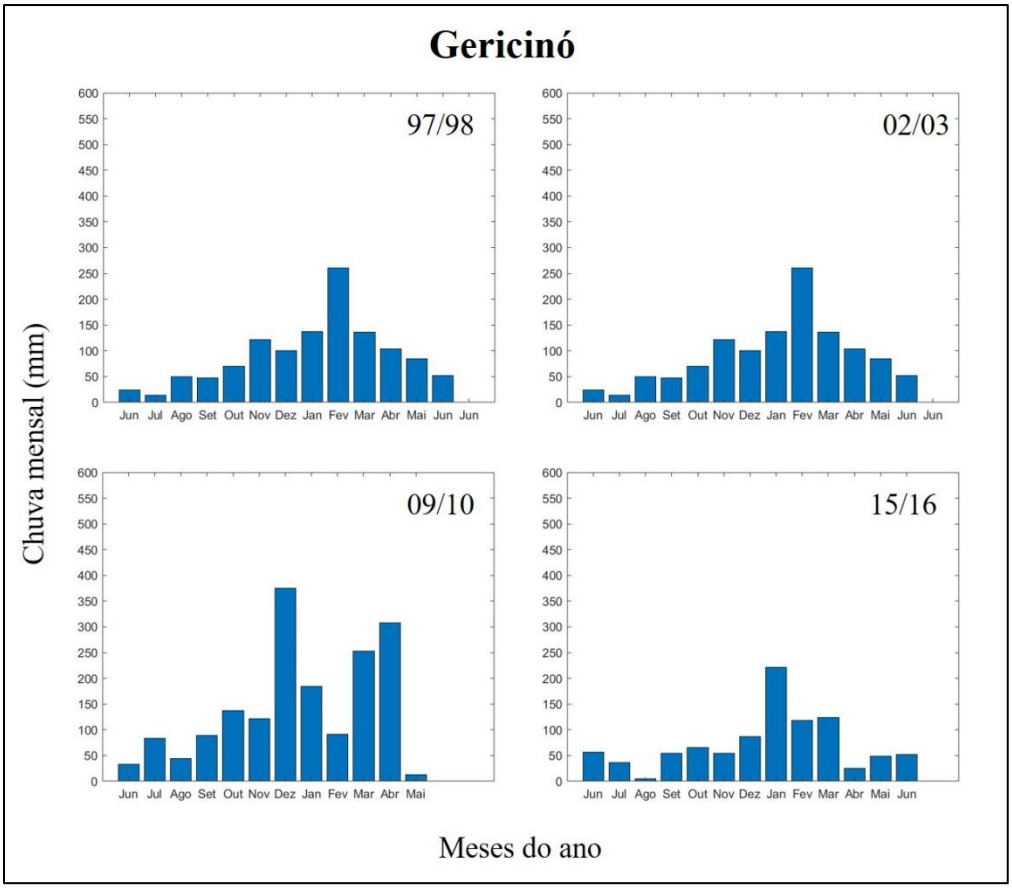


Figura 9 - Histogramas da chuva mensal (mm) da estação Gericinó nos quatro ciclos do El Niño (97/98; 02/03; 09/10; 15/16) na ZOCRJ.

3.2.3. CAMPO GRANDE

A chuva acumulada anual média para todo o período 1997-2016 em Campo Grande é de 1079, 36 mm, a mais baixa dentre todas as estações meteorológicas separadas para os estudos de caso. Provavelmente, isto se deve a sua localização mais interiorana, na Baixada de Guaratiba, distante dos corpos hídricos e escondida da vegetação.

Na distribuição de frequência das chuvas por boxplots (Figura 10), o ciclo 2002/03 apresentou menor mediana (69,60 mm), média igual a 105,32 e frequência entre 40 e 110 mm. O mês com registro mais baixo foi fevereiro (8,80 mm). Há uma forte assimetria acima da mediana, em virtude dos *outliers* de março (264,40 mm) e janeiro (349 mm). O ciclo 2015/16 possui a segunda menor mediana (84,60mm) e menor média (77,67mm) com frequência entre 20 e 110 mm. O mês com o menor registro foi agosto (3,60 mm) e com o maior, novembro (140,20 mm). Há uma assimetria acima da mediana, por causa do *outlier* em janeiro (275,20 mm).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

O ciclo 1997/98 obteve mediana igual a 100,1 mm e média igual a 88,89 mm e frequência entre 45 e 120 mm. O mês de julho define o menor registro (14 mm) e o maior registro em fevereiro (213,30 mm). O ciclo 2009/10 é o que mais se destacou, com mediana igual a 104,00 mm, média igual a 145,28 e frequência entre 70 e 210 mm. O menor registro foi em agosto (39,80 mm) e o maior em abril (368,20 mm). Similar aos ciclos amteriores, foi identificado uma forte assimetria acima da mediana e sem a presença de *outliers*.

Nos histogramas de chuva para a estação de Campo Grande (Figura 11), os ciclos concentraram a pluviometria nos meses da primavera e do verão. Os meses chuvosos ocorreram nos meses de abril (368,20 mm) e dezembro (356,20 mm) no ciclo 2009/10. O ciclo 2009/10 foi o mais chuvoso (1616,20 mm) no seu período de junho a maio seguido pelo ciclo de 1997/98, com total de 1155,60 mm. Os ciclos 2002/03 e 2015/16 foram os mais secos, com destaque aos meses de agosto (3,60 mm) e fevereiro (8,80 mm) do ciclo 2015/16. O ciclo 2002/03 foi mais seco que o ciclo 1997/98. A estação Campo Grande apresentou características pluviométricas similares a estação Gericinó. Comparativamente às duas estações anteriores, nos ciclos secos (2002/03 e 2015/16) a estação Campo Grande foi mais chuvosa, situação contrária ocorreu nos ciclos úmidos (1997/98 e 2009/10).

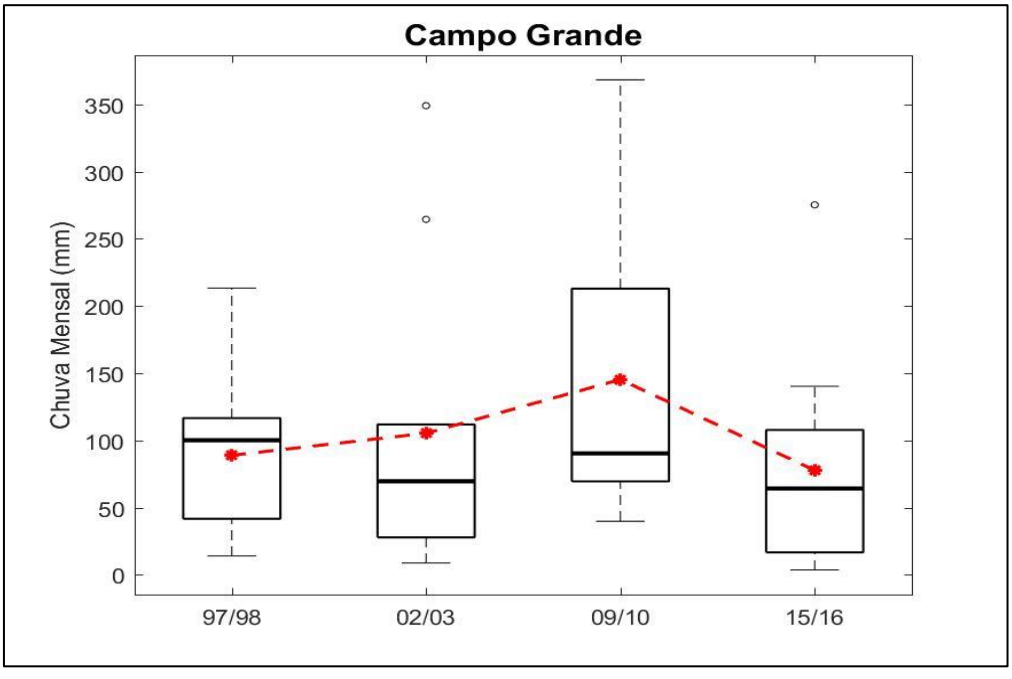


Figura 10 - Boxplots da chuva mensal (mm) da estação Campo Grande nos quatro ciclos do El Niño (97/98; 02/03; 09/10; 15/16) na ZOCRJ.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

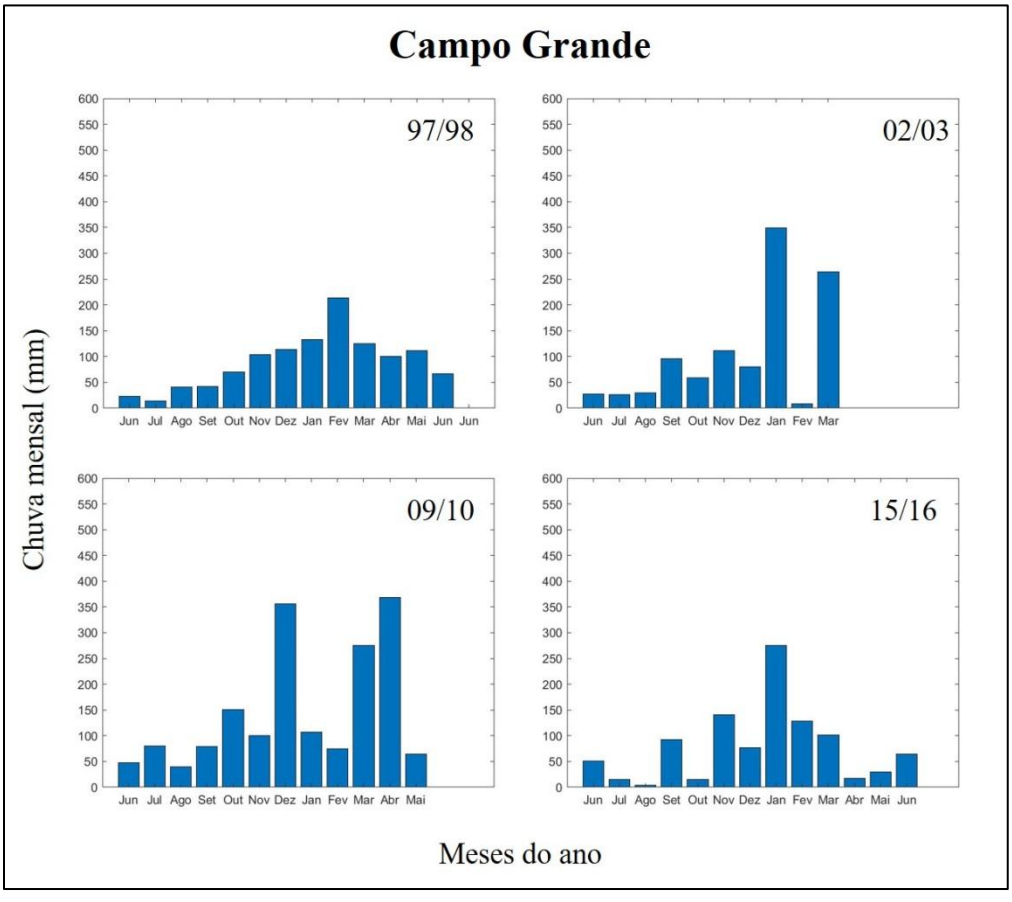


Figura 11 - Histogramas da chuva mensal (mm) da estação Campo Grande nos quatro ciclos do El Niño (97/98; 02/03; 09/10; 15/16) na ZOCRJ.

3.2.4. BARRA – RIO CENTRO

A chuva acumulada anual média para o período 1997-2016 na Barra-Rio Centro é de 1252, 61 mm, a segunda mais elevada dentre todas as estações meteorológicas separadas para os estudos de caso. A sua média está acima da estação Gericinó, localizada em uma área de floresta do Maciço Gericinó-Merndanha, enquanto aquela se localiza na Baixada de Jacarepaguá. Provavelmente, a situação geográfica da Baixada, às margens do complexo lagunar da Barra da Tijuca e sua proximidade ao mar, excedeu o fator da floresta no Gericinó, que conforme indicamos é mais rarefeito se comparada as condições do Mendanha.

Na distribuição de frequência por boxplots (Figura 12), o ciclo 2002/03 apresentou mediana de 86,80mm, média de 131,5 e a frequência entre 30 e 130mm. O mês de fevereiro (1,0 mm) registrou o valor mais baixo e o maior registro foi em setembro (130,80 mm). Foi identificada uma forte assimetria acima da mediana, devido aos *outliers* de março (308,0 mm) e janeiro (471,80 mm). O ciclo 1997/98 obteve a menor mediana (87,85 mm) e a segunda menor média (95,89). Houve assimetria acima da mediana, devido a um *outlier* em janeiro (342,80 mm). O ciclo 2015/16 obteve mediana igual a 98,70 mm, média igual a 90,87 mm e sua frequência entre 40 e 120 mm. O ciclo 2009/10 obteve mediana de 123,70 mm, média de 176,48 mm e frequência entre 80 e 270 mm.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Nos histogramas (Figura 13), os ciclos concentraram a pluviometria nos meses da primavera e verão. O ciclo 2009/10 obteve maior registro (1936,00 mm), seguido do ciclo 2002/03 (1315,00 mm). Os ciclos 1997/98 e 2015/16 foram os mais secos, respectivamente. Comparativamente as três estações anteriores, Barra Rio Centro apresentou características pluviométricas similares a Mendanha, levando a entender que a umidade das lagoas e do mar apresentou papel similar a floresta do Maciço do Mendanha.

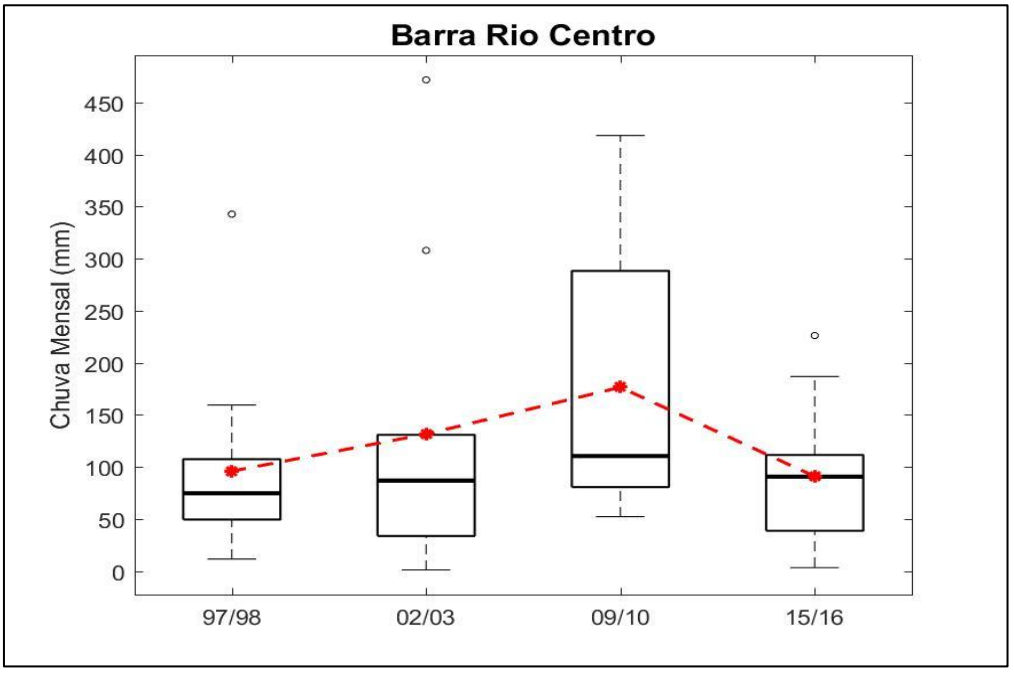


Figura 12 - Boxplots da chuva mensal (mm) da estação Barra Rio Centro nos quatro ciclos do El Niño (97/98; 02/03; 09/10; 15/16) na ZOCRJ.

Em suma, consideradas as figuras que continham os boxplots e os seus valores médios, a distribuição das médias entre as estações foi semelhante, com destaque ao ciclo de 2009/10 com maior influência nas chuvas na ZOCRJ. Também se destaca a discrepância entre médias e medianas nos ciclos de 2002/03 e 2009/10 em todas as estações, justificando a maior influência destes dois ciclos.

Pelos histogramas observou-se que as estações do Mendanha e Barra-Rio Centro apresentam um padrão similar, com maior aporte de umidade, que se devem as localizações: a primeira situada em maciço montanhoso e de floresta, ao passo que a segunda está às margens de corpos hídricos. Em oposição àquelas estações, Gericinó e Campo Grande são mais secas, abrigadas do aporte de umidade, seja pela vegetação mais escassa ou pela distância às lagoas ou ao mar.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

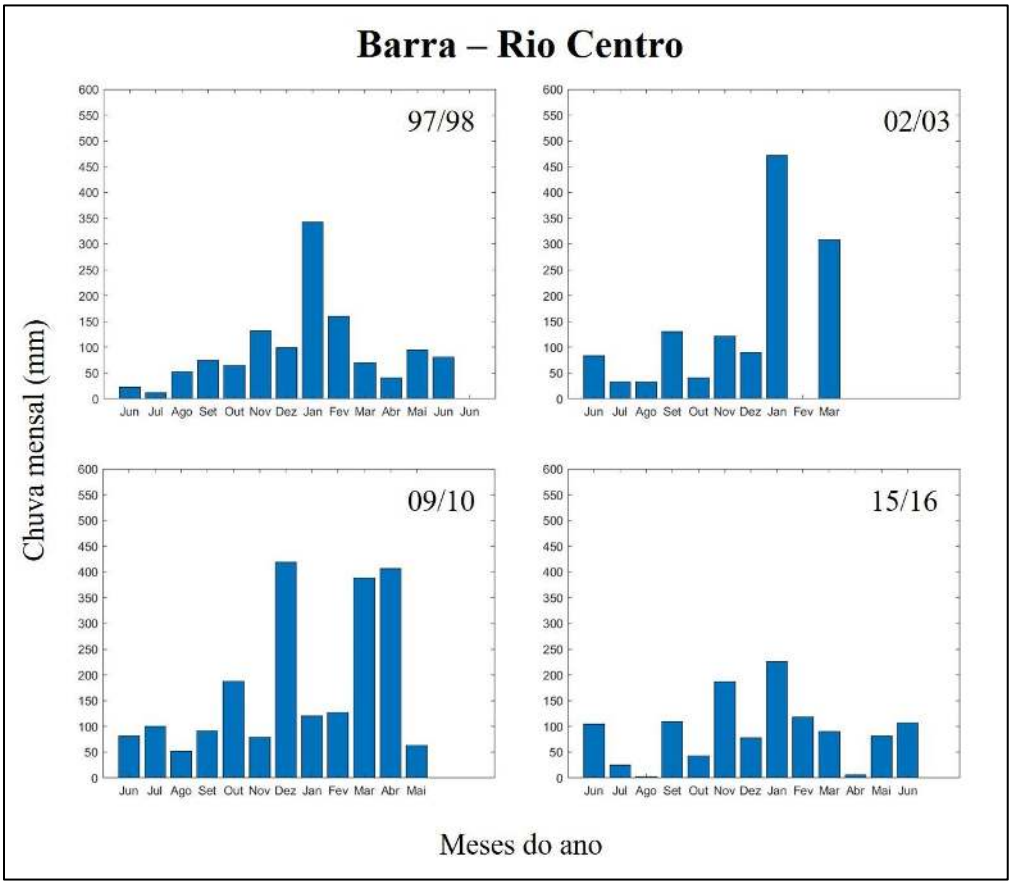


Figura 13 - Histogramas da chuva mensal (mm) da estação Barra Rio Centro nos quatro ciclos do El Niño (97/98; 02/03; 09/10; 15/16) na ZOCRJ.

Os meses correspondentes à primavera e ao verão são os mais chuvosos, com destaque ao período novembro-fevereiro. A única exceção é o mês de fevereiro do ciclo 2002/03 que registra valores inferiores a 15 mm nas estações Bangu, Gericinó, Grota Fonda e Barra-Rio Centro. A passagem de sistemas frontais (SF), frequente durante o inverno e a primavera, e a ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), com ocorrência no verão e primavera, são os sistemas sinóticos responsáveis pelas chuvas registradas.

Os meses mais secos correspondem ao inverno, que quando não precipita por conta dos SF, recebe grande influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), uma vez que neste período seu deslocamento para o continente induz a subsidência do ar, que resulta numa massa de ar seca, que inibe as chuvas.

O mês de abril no ciclo 2009/10 se destaca entre os demais, pois possui altíssimos valores (superiores a 400 mm) em diversas estações, tais como Mendanha e Barra-Rio Centro, que se deve ao grande evento de chuva dos dias 05 e 06 de abril de 2010, que atingiu a cidade do Rio de Janeiro, e responsável não apenas pela alta pluviometria acumulada do mês, assim como pelo somatório de todo o ciclo 2009/10, sendo considerado o mais chuvoso dentre os demais.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3.3 AVALIAÇÃO ESPACIAL

A série temporal de chuva mensal foi submetida ao teste de Pettitt, sendo identificados os respectivos meses em que ocorreu uma mudança significativa da chuva nas estações escolhidas pela técnica de AA nos ciclos avaliados (Quadro 4).

Quadro 4 - Teste de Pettitt aplicado à série temporal de chuva mensal para os ciclos 1997/98, 2002/03, 2009/10 e 2015/16.

Estações	**Ciclo 1997/98**	**Ciclo 2002/03**	**Ciclo 2009/10**	**Ciclo 2015/16**
Mendanha	1997-SET	2002-AGO	2009-AGO	2015-DEZ
Gericinó	1997-OUT	2002-AGO	2009-SET	2016-MAR
Campo Grande	1997-OUT	2002-AGO	2009-SET	2015-OUT
Barra Rio Centro	1997-OUT	2002-AGO	2009-NOV	2015-AGO

Os resultados obtidos mostraram que as mudanças foram bem caracterizadas para os meses de setembro/outubro (1997) e agosto (2002) em todas as estações pluviométricas. Situação contrária nos demais ciclos de 2009/10 e 2015/16, onde os meses e os anos identificados apresentaram alta variabilidade, principalmente no último ciclo. Tais meses mostraram como a chuva mensal na ZOCRJ tem alta variabilidade. Com destaque aos meses identificados no início de cada ciclo de El Niño, a exceção foi o ciclo 2015/16.

Importante ressaltar que os meses de agosto e setembro/outubro correspondem ao inverno e a primavera. No inverno há diminuição das chuvas no ERJ (Oliveira Júnior et al., 2014; Brito et al., 2017; Sobral et al., 2018), enquanto que na primavera há aumento da chuva no estado e, principalmente, na CRJ devido aos episódios de ZCAS juntamente com passagem de SF (Dereczynski et al. 2009; Zeri et al. 2011). Assim, pelo teste Pettitt, verificou-se que os meses de agosto, setembro e outubro são marcantes no regime de chuva na ZOCRJ independente do ciclo de El Niño, e a única exceção foi o ciclo 2015/16.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que os eventos de El Niño mais intensos, 1997/98 e 2015/16 de categorias "muito fortes", contribuíram para períodos menos chuvosos na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro e que o papel do fenômeno sobre as chuvas na região precisa ser mais estudado.

O ciclo de El Niño 2009/10 se destaca como o mais chuvoso, de intensidade "moderada" e mais curto (doze meses), em comparação aos ciclos 1997/98 e 2015/16 com treze meses e de intensidade "muito forte". O ciclo 1997/98 é o segundo mais chuvoso e o ciclo 2015/16 o mais seco. Por fim, o ciclo 2002/03, o mais curto dentre todos, com nove meses, e de intensidade "moderada", é o terceiro mais chuvoso.

Os efeitos da geografia física mostraram-se determinantes na distribuição espacial da chuva, onde o papel do relevo e da floresta e a proximidade aos

corpos hídricos favoreceram o aporte de umidade e os maiores acumulados nas estações meteorológicas com tais características.

Espera-se que o estudo da influência do EL Niño sobre as chuvas na Zona Oeste deva ser aperfeiçoado, uma vez que não há um padrão de mudança das chuvas na região Sudeste do Brasil durante a ação do fenômeno. O aperfeiçoamento dar-se-á pela observação sistemática do monitoramento das chuvas bem como pela busca e conjugação de técnicas estatísticas e métodos para melhor entender a ação do El Niño, um fenômeno de escala global, na Zona Oeste. Certamente, este entendimento será estendido para o contexto da cidade e região metropolitana do Rio de Janeiro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDÃO, A. M. P. M.. Clima urbano e enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Org.). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, v. 1, p. 47-109;

BRITO, T. T.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; LYRA, G. B; GOIS, G.; ZERI, M. Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics (Print)**, Viena, v. 129, n. 5, p. 469-478, 2017;

CAI, W., MCPHADEN, M.J., GRIMM, A.M. et al. Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. **Nat Rev Earth Environ**, v. 1, p. 215–231, 2020;

CATALDI, M, ASSAD, L. P. F., TORRES JÚNIOR, 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;

DATA RIO. População Residente e Estimada - Brasil, Estado do Rio de Janeiro e Município do Rio de Janeiro e Regiões Administrativas (RA) - 2000/2010/2013-2016/2020, 2020. Disponível em http://www.data.rio/datasets/ba877d53302346eca990a47c99e15f74. Acesso em 11 de maio de 2020;

DERECZYNSKI, C. P.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C. O. Climatologia da Precipitação no Município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 24, n. 01, p. 24-38, 2009;

DERECZYNSKI, C.; SILVA, W. L.; MARENGO, J. L. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil. **American Journal of Climate Change**, v. 02, p. 25-33, 2013;

DINIZ, F.R., MIRANDA, G.S.B., PIACENTI-SILVA, M. & MACHADO, J.P. O Impacto do El Niño nos Focos de Incêndio e Desconforto Térmico Humano no Brasil no Período entre o Verão de 2014/2015 e o Outono de 2016. **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ, Vol. 42 – 3, p. 192-201, 2019;

EVERITT, B.S., DUNN, G. **Applied multivariate analysis**. London: Edward Arnold, p 400, 1991;

GONZALEZ, R.A.; ANDREOLI, R.V.; CANDIDO, L.A.; KAYANO, M.T.; SOUZA, R.A.F. A influência do evento El Niño – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica**, Manaus,. Vv. 43, n. 4, p.469 – 480, 2013;

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.1, p. 263-280, 2003;

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.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, Boston, v. 22, n.7, p. 1589-1609, 2009;

KITE, G. **Frequency and Risk Analyses in Hydrology**. Water Resourcers Publications, Littleton, Colorado, USA. 257 p., 1988;

KUG, J.S, JIN, F.F. and AN, S.I. Two Types of El Niño Events: Cold Tongue El Niño and Warm Pool El Niño. **Journal of Climate**, v. 22, p. 1499-1515, 2009;

LARKIN, N. K. and HARRISON, D.E. On the definition of El Niño and associated seasonal average U.S.weather anomalies. **Geophysical Research Letters**, v. 32, L13705, p. 1-4, 2005;

LUCENA, A. J. O sistema clima urbano da Zona Oeste/RJ: uma contribuição ao monitoramento e análise em sistemas ambientais. **Geoambiente Online**, Jataí/GO, n. 15, p. 1-20, 2010;

LUCENA, A. J.; OLIVA, F.G. Análise da Precipitação Intensa de 06 de Abril de 2010 na Cidade do Rio de Janeiro no Contexto da Climatologia do Mês de Abril no Período de 1997-2010. In: **XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2012, Gramado/RS, 2012;

LUCENA, A.J., ROTUNNO FILHO, O.C., FRANÇA, J.R.A., PERES, L.F., XAVIER, L.N.R. Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. **Theoretical Applied Climatology**, Boston, v.111, n. 3-4, p. 497-511, 2013;

LYRA, G. B., OLIVEIRA-JÚNIOR JF, 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 (Print)**, Viena, v. 129, n. 2, p. 157-171, 2017;

MAGAÑA V.O. &, CONDE C. Climate and freshwater resources in northern Mexico: Sonora, a case study. **Environmental Monitoring and Assessment**,.Portland Vv. 61, n. 1, p.167-185, 2000;

MARENGO, J.A. Interannual variability of surface climate in the Amazon Basin. **International Journal of Climatology**, Londres, v.12, n.8, p.853–863, 1992;

MARQUES, V.S.; CARDOSO, D.; PINHEIRO, F.M.A. & MOREIRA, J.C. Análise de temporais intensos no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 2, p. 145-156. 2001;

MINAKI, C e MONTANHER, O.C. Influência do El Niño-Oscilação Sul na precipitação em Maringá-PR, no período de 1980 a 2016. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia – MG, v. 20, n. 69, p. 266–281, 2019;

MINUZZI R. B.; SEDIYAMA G. C.; BARBOSA E. M.; MELO JÚNIOR J. C. F. Climatologia do Comportamento do Período Chuvoso da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.22, n.3, 338-344, 2007;

MONTEIRO, C.A.F. Teoria e Clima Urbano. Série Teses e Monografias, n. 25. São Paulo: Universidade de São Paulo 1976. 181 p.

MORAES, N. O.; PIMENTEL, L. C. G.; MARTON, E. Simulações Numéricas da Formação de Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 116-138, 2005;

MOURA, C.R.W.; ESCOBAR, G.C.J.; ANDRADE, K.M. Padrões de circulação em superfície e altitude associados a eventos de chuva intensa na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 267-280. 2013;

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, Boston, v. 9, p. 2464–2479, 1996;

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; GOIS, G.; LANNES, A. ; DIAS, F.O.; SOUZA, J.C.S.; SOUZA, M. Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n.2, p. 140-149, 2014;

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; TERASSI, P. M. B.; SILVA JUNIOR, 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. 91-105, 2018;

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LYRA, G.B.; SPERANDIO, L. Modelos de Zolnier e Campbell-Norman para estimativa da temperatura do ar no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 727-733, 2015;

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; TERASSI, P. M. B.; GOIS, G. ESTUDO DA CIRCULAÇÃO DOS VENTOS NA BAÍA DE GUANABARA/RJ, ENTRE 2003 E 2013. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 59-80, 2017;

PERES, L.F.; LUCENA, A.J.; ROTUNNO FILHO, O.C. & FRANÇA, J.R.A. 2018. The Urban Heat Island in Rio de Janeiro, Brazil, in the Last 30 Years Using Remote Sensing Data. ***International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation***, *64*: 104-116;

PIMENTEL, L. C. G.; MARTON, E.; SILVA, M. S.; JOURDAN, P. Caracterização do regime de vento em superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.19, n. 2, 121-132, 2014;

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011) R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0;

REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.25, n.2, p.185-204, 2010;

SANT'ANNA NETO, J.L. Décalogo da CLIMATOLOGIA DO SUDESTE BRASILEIRO. **Revista Brasileira de Climatologia**. V. 1, n. 1, p. 43-60, 2005;

SANTOS, G.R.D. & LUCENA, A.J. A sazonalidade da precipitação na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro. In **Anais do XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia**. João Pessoa, 2016;

SOBRAL, B. S., OLIVEIRA- JÚNIOR, J. F., GOIS, G., PEREIRA JUNIOR, E. R., TERASSI, P. M. B., MUNIZ JUNIOR, J. G. R., LYRA, G. B., ZERI, M. Drought characterization for the state of Rio de Janeiro based on the annual SPI index: Trends, statistical tests and its relation with ENSO. **Atmospheric Research**, Boston, v. 220, n. 1, p. 141-154, 2019;

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, p. 281-308, 2018;

TEDESCHI, R. G.; GRIMM, A. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Influence of Central and East ENSO on precipitation and its extreme events in South America during austral autumn and winter. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 15, p. 4797-4814, 2016;

TEODORO, P. E., CORREA, C. C. G., TORRES, F. E., OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., SILVA JÚNIOR C. A., GOIS G., DELGADO R. C. Analysis of the Occurrence of wet and drought Periods using Standardized Precipitation Index in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Journal of Agronomy**, Faisalabad, v. 14, n.2, p. 80-86, 2015;

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. , p. 11-25, 2018;

TRENBERTH, K. E. The definition of El Nino. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 78, No. 12,p. 2771-2777, 1997;

VIEGAS, J., ANDREOLI, R.V., KAYANO, M.T. et al. Caracterização dos Diferentes Tipos de El Niño e seus Impactos na América do Sul a Partir de Dados Observados e Modelados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 43-67, 2019;

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244, 1963;

YEH, S., KUG, J., DEWITTE, B. et al. El Niño in a changing climate. **Nature** v. 461, p. 511–514, 2009;

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

ZERI, M, OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., LYRA, G. B. Spatiotemporal analysis of particulate matter, sulfur dioxide and carbon monoxide concentrations over the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics (Print)**, Viena, v. 113, n.3, p. 139-152, 2011.