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

O PADRÃO DE CHUVAS NA REGIÃO DO ABC PAULISTA: OS EXTREMOS E SEUS IMPACTOS

VALVERDE, María Cleofé - maria.brambila@ufabc.edu.br
Universidade Federal do ABC / UFABC

CARDOSO, Andréa de Oliveira - andrea.cardoso@ufabc.edu.br
Universidade Federal do ABC / UFABC

BRAMBILA, Ricardo - ricardo.brambila@ufabc.edu.br
Universidade Federal do ABC / UFABC

RESUMO: Este trabalho analisou o padrão de chuvas e seus extremos na região do ABC Paulista. A região de estudo está localizada no setor sudeste da Região Metropolitana de São Paulo e engloba os municípios de Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Mauá, Diadema, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra. A avaliação dos impactos das chuvas intensas incluiu a análise de frequência de eventos de deslizamentos de terra, inundações e alagamentos. O resultado da climatologia (1968-1998) identificou os meses de janeiro e fevereiro como os mais chuvosos da região, sendo Ribeirão Pires e Mauá os municípios com maiores acumulados de chuva no verão. A comparação da climatologia com a média das chuvas de um período mais recente (1999-2014) mostrou um incremento no mês de janeiro em Diadema, São Caetano do Sul, São Bernardo do Campo e Santo André, acompanhado, em contrapartida, pela redução das chuvas anuais. Os eventos de deslizamentos, segundo o histórico das Defesas Civis, foram mais frequentes no verão, com destaque para os municípios de Ribeirão Pires, Mauá e Santo André. Destacam-se os anos de 2010 e 2011 que apresentaram maiores intensidades de chuva e consequentemente a maior ocorrência de eventos hidrológicos e geodinâmicos. Também, se identificaram tendências positivas no número de dias com chuvas ≥ 50 mm em todos os municípios, sendo este limiar de intensidade um indicador deflagrador de eventos de deslizamentos e inundações em áreas mais suscetíveis. Finalmente, para o verão, verificaram-se locais no ABC Paulista que se caracterizaram por apresentar baixas (região leste de Mauá) e altas (Diadema) intensidades de chuva, independentemente do verão ser muito chuvoso (ano de 2010) ou seco (ano de 2014). Nestas mesmas condições de anos extremos, Santo André apresentou a mais alta frequência de deslizamentos e inundações, sem a caraterística de apresentar as maiores intensidades de chuvas.

PALAVRAS-CHAVES: Chuvas extremas, ABC Paulista, Deslizamentos, Inundações.

RAINFALL PATTERNS IN ABC PAULISTA REGION: EXTREMES AND IMPACTS

ABSTRACT: This study analyzed pattern of rains and extremes in the region of the ABC of São Paulo, located in the Southeast sector of the metropolitan region of São Paulo, which includes the municipalities of Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Maua, Diadema, Ribeirão Pires and Rio Grande da Serra. It also assessed the impact of heavy rains, with associations of landslides and flooding events. The Climatology (1968-1998) identified the months of January and February, as the rainiest ones of the region. The municipalities of Ribeirão Pires and Mauá were the rainiest during the summer. The comparison of the climate with average precipitation of a current period (1999-2014) showed an increase of rainfall during the month of January in Diadema, São Caetano do Sul, São Bernardo do Campo and Santo André, but a reduction of the annual precipitation. The impact of heavy rains was verified through the variability of the climatic indexes of rain, which accompanied the annual frequency of landslides and flooding events. This analysis identified the years of 2010 and 2011 as the ones with increased precipitation and increased occurrence of disasters. Landslides are more frequent during summer, especially in the cities of Ribeirão Pires, Mauá and Santo André.

Also, positive trends were identified in the number of days with precipitation ≥ 50 mm (R50mm) in all municipalities, being this intensity threshold of activation of landslides in susceptible areas. Finally, there were areas in the ABC Paulista that were characterized by having low (East of Mauá) and high intensities of rain (Diadema), regardless of the year to be very humid (2010) or dry (2014). Under the same conditions of the extreme years, Santo André had the higher frequency of landslides and floods, without the characteristic of presenting the highest intensities of rainfall.

KEYWORDS: Extreme rainfall, ABC Paulista, Landslides, Floods

EL PATRÓN DE LLUVIAS EN LA REGIÓN DE ABC PAULISTA: LOS EXTREMOS Y SUS IMPACTOS

RESUMEN: En este estudio se analizó el patrón de lluvias y sus extremos en la región del ABC Paulista, localizado en el sector sureste de la región metropolitana de San Pablo, que abarca los municipios de Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Mauá, Diadema, Ribeirão Pires y Rio Grande da Serra. También se evaluó el impacto de las fuertes lluvias y su asociación con eventos de deslizamientos e inundaciones. La climatología (1968-1998) identificó los meses de enero y febrero, como los de lluvias más intensas en la región. Los municipios de Ribeirão Pires y Mauá fueron los más lluviosos en el verano. La comparación de la climatología con la precipitación promedio de un período más actual (1999-2014) mostró un aumento de las lluvias en el mes de enero en Diadema, São Caetano do Sul, Sao Bernardo do Campo y Santo André, mas, una reducción de la precipitación anual. Los deslizamientos son más frecuentes en verano, específicamente en las ciudades de Ribeirão Pires, Mauá y Santo André. Se destacaron los años de 2010 y 2011 como los de mayor precipitación y de mayor ocurrencia de desastres. También, se identificaron tendencias positivas en el número de días con precipitaciones ≥ que 50 mm en todos los municipios, siendo esta intensidad el umbral de activación de deslizamientos de tierra en áreas susceptibles. Finalmente se identificaron áreas en el ABC Paulista que se caracterizaron por tener baja (región este de Mauá) y altas intensidades de lluvia (Diadema), independientemente del año ser muy húmedo (2010) o seco (2014). En las mismas condiciones de los años extremos, Santo André tuvo la mayor frecuencia de deslizamientos e inundaciones, sin la característica de presentar las más altas intensidades de lluvia.

PALABRAS CLAVE: Lluvias extremas, ABC Paulista, Deslizamientos, Inundaciones.

INTRODUÇÃO

Atualmente muito se discute sobre as mudanças climáticas globais, e a tendência a se intensificarem ao longo do século XXI devido à emissão descontrolada dos gases de efeito estufa para a atmosfera (IPCC, 2012). Porém, como as projeções do clima futuro em escala global e regional simuladas pelos modelos numéricos ainda apresentam muitas incertezas, o entendimento do clima atual e da sua variabilidade ao longo do tempo, assim como o seu monitoramento, ainda se constitui a forma mais importante de avaliar o que acontece ou já aconteceu, podendo ajudar na previsão de estados atmosféricos futuros.

Entender a variabilidade da precipitação no espaço e no tempo é o maior desafio dos cientistas que tentam modelá-la para conhecer o seu comportamento futuro. A representação do padrão das chuvas numa escala espacial menor como nas regiões urbanas é ainda mais difícil, devido as diferentes componentes que se inter-relacionam e que não podem ser facilmente incluídas nos modelos numéricos. Podem-se citar algumas destas componentes, como: vegetação, emissão de gases pelas atividades industriais, expansão urbana, verticalização, canalização e retificação de rios, entre outras.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Modificações no espaço habitado pelo homem refletem-se na própria composição da atmosfera e, por tanto, no seu comportamento, alterando o clima local e seus impactos no meio biofísico.

No Brasil, mais de 80% dos brasileiros vivem em áreas urbanas e o acelerado crescimento urbano tem criado espaços fragmentados com ampla segregação espacial, agravando a desigualdade social e a degradação ambiental. Atualmente existem 41 regiões metropolitanas distribuídas no país, onde a região metropolitana de São Paulo (RMSP), constituída por 39 municípios, é a sexta maior região do planeta. Projeções indicam que, caso o padrão de expansão da RMSP seja mantido conforme registros históricos, a mancha urbana será aproximadamente 38% maior que a atual em 2030, aumentando os riscos de inundações e deslizamentos, atingindo cada vez mais a população, sobretudo, os mais pobres (NOBRE et al., 2011).

Diversos estudos têm analisado os padrões e variabilidade das chuvas na RMSP e demonstram que tanto a quantidade de precipitação anual como também os eventos de chuvas intensas aumentaram consideravelmente nas últimas décadas, e apontam como possíveis causas do aumento das chuvas diárias no verão, os efeitos da ilha de calor, poluição do ar, e a circulação de brisa marítima (PEREIRA et al., 2000; XAVIER et al., 1994; SILVA DIAS et al., 2013; e MARENGO et al., 2013). Na escala global, este aumento deve estar associado com El Niño e La Niña, e com a temperatura da superfície do mar nas proximidades da costa de São Paulo (PEREIRA et al., 2000).

Embora os estudos sobre as chuvas extremas na RMSP assinalem um aumento em toda a região, preferencialmente na época de verão, existem comportamentos diferenciados para cada município do estado de São Paulo. Raimundo et al. (2014) analisaram 21 estações pluviométricas localizadas na RMSP e determinaram classes de intensidade de chuva e suas tendências. Em relação aos totais sazonais de verão e para a classe de precipitações severas (> 30 mm/dia), os autores encontraram apenas 4 estações que apresentaram tendências crescentes significativas: Santo Amaro, IAG, Instituto Biológico na região central, e Franco da Rocha ao norte. A estação de Guarulhos foi a que apresentou tendência decrescente significativa.

Nesse contexto, é evidente que existe uma grande variabilidade da intensidade da chuva na RMSP, devido as suas diferentes caraterísticas ambientais, urbanas e populacionais, sendo importante a realização de estudos específicos, na escala de municípios e até de bairros, uma vez que os impactos das chuvas são diferenciados de local para local.

A região do ABC Paulista, considerada o maior polo industrial e comercial da RMSP é constituída por sete municípios (Mauá, São Bernardo do Campo, Santo André, São Caetano do Sul, Diadema, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra), e possui caraterísticas climáticas urbanas e socioeconômicas muito diferenciadas, que requerem estudos mais aprofundados para uma melhor análise dos eventos extremos de chuva e seus impactos na população.

Estudos preliminares no ABC Paulista sobre o comportamento da chuva e os impactos que os eventos extremos ocasionam têm sido abordados para alguns municípios dessa região. Santos et al. (2013) e Valverde e Santos (2014) analisaram as chuvas extremas que ocasionam as inundações do rio Tamanduateí e seus afluentes no município de Santo André, encontrando que as

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

inundações são mais frequentes nos meses de janeiro e fevereiro, e estas são mais intensas nas áreas localizadas próximo ao Ribeirão dos Meninos, afluente do Tamanduateí. Foi destacado o ano de 2011 por apresentar a maior frequência de inundações, as quais foram extremas pelo número de bairros atingidos, e pela intensidade da chuva que superou o valor diário de 120 mm, como foi o caso do evento de 15 de dezembro de 2011.

Para o município de São Bernardo do Campo, pesquisas mostraram que altos índices pluviométricos acumulados relacionam-se com ocorrências de deslizamentos de terra, assim como índices moderados de 50 mm e 60 mm que podem acontecer em um dia (FACETO e PAIVA, 2012). Molina et al. (2015) encontraram que os limiares de 50 mm em 1 dia, 80 mm em dois dias, 120 mm em três dias e 150 mm em quatro dias, apresentam forte influência na deflagração de deslizamentos de terra. Valverde e Cardoso (2012), tendo como base o período de 1972-2012, encontraram que o padrão da chuva anual em São Bernardo do Campo é maior quando comparado com outros municípios do ABC Paulista, atingindo uma média anual de 1604,4 mm. Santo André apresentou a menor média anual de chuva (1404,8 mm) no período analisado.

Para o município de Mauá, Conceição (2013) estudou um episódio de desastre e descreveu os fenômenos atmosféricos atuantes na deflagração dos deslizamentos de terra ocorridos no mês de janeiro de 2010 e 2011 no bairro de Jardim Zaíra. No evento de chuva extrema de Janeiro de 2011 registraram-se vítimas fatais, sendo 5 por deslizamentos e 1 por afogamento. Também, houve ocorrência de inundações em grandes proporções no município, como consequência do transbordamento das águas do Córrego Corumbé.

Fernandes e Valverde (2017) analisaram graus de resiliência de uma amostra de população aos eventos de chuvas extremas no município de Mauá e verificaram que o bairro de Jardim Zaíra apresentou o maior histórico de deslizamentos, inundações e alagamentos, tendo como principal deflagrador as chuvas intensas. A análise da chuva em três estações pluviométricas do município mostrou uma diminuição no acumulado anual e um aumento em sua concentração diária, sendo mais intensa na estação pluviométrica localizada no Jardim Zaíra. Também analisaram indicadores sociais, demográficos, econômicos e sanitários, em Mauá, identificando o Jardim Zaíra como um dos bairros mais vulneráveis aos impactos das fortes chuvas.

Das Neves (2008) apontou que:

> o melhor meio para se evitar grandes transtornos por ocasião de uma enchente ou inundação é regulamentar o uso do solo, limitando a ocupação de áreas inundáveis a usos que não impeçam o armazenamento da água natural pelo solo e que sofram pequenos danos em caso de inundação.(DAS NEVES, 2008,pg. 177).

Essa análise é importante, visto que os impactos causados dependem da relação entre a área atingida, a infraestrutura e a sociedade que ocupa o local. Com isso, será possível reduzir perdas e fornecer subsídio para que ações de planejamento e gestão possam tranquilizar a sociedade.

A região do ABC Paulista carece de estudos mais aprofundados de precipitação e extremos de chuva. Devido à região pertencer a RMSP, muitas vezes condições climáticas ou atmosféricas que ocorrem no munícipio de São

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Paulo são extrapoladas para esta região caracterizando-a com condições similares, mas na realidade podendo apresentar condições muito diferentes. Segundo o Consórcio Intermunicipal do Grande ABC (2016), no Relatório Construindo o Desenvolvimento Regional, e no âmbito do Plano Regional de Redução de Riscos, os municípios de Santo André e Mauá tiveram o maior número de remoções de famílias localizadas em áreas de risco iminente no período das chuvas de verão. Estas localidades estão mais expostas aos impactos das chuvas intensas, que muitas vezes se traduzem em deslizamentos, inundações e enxurradas. Diante do exposto, este trabalho tem como principal objetivo estudar e analisar o padrão de chuva na região do ABC Paulista com ênfase nos extremos de chuva e na frequência de inundações e deslizamentos de terra.

A importância e contribuição do presente trabalho residem no detalhamento da informação que será fornecida para cada município, e que poderá auxiliar aos tomadores de decisões, Prefeituras e Defesa Civil na gestão dos desastres, e contribuir para um melhor entendimento nas melhorias da qualidade ambiental da região do ABC e consequentemente da RMSP.

2. ÁREA DE ESTUDO, DADOS E MÉTODOS.

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Com um território de 841 km^2 e com a denominação de sub-região sudeste da RMSP, a região do Grande ABC Paulista é composta pelos municípios de Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra (Fig. 1) (MORO JUNIOR, 2007). Possui uma população, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), de 2.549.135 habitantes e, segundo XAVIER et al. (2007), apresenta uma forte atuação nos setores comercial, industrial e de serviços. O ABC paulista possui 56% de seu território dentro de áreas de proteção de mananciais ou com restrições ambientais, sendo que os municípios de Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra encontram-se 100% inseridos nestas áreas (MORO JUNIOR, 2007).

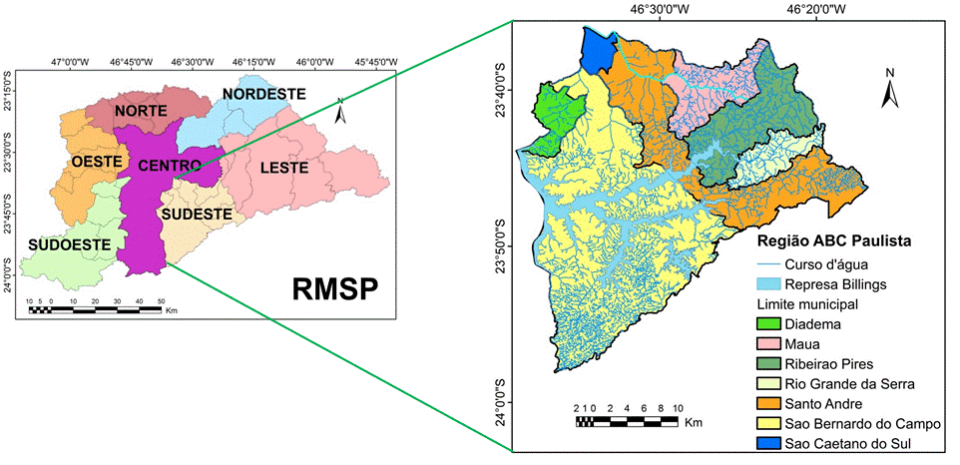


Figura 1 – Mapa da localização da Região do ABC Paulista na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua rede hidrográfica Tamanduateí- Billings.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

No que se refere à hidrologia, o rio Tamanduateí, afluente do rio Tietê, é o principal curso de água da área urbana do ABC Paulista, com uma extensão de 35 km, e uma área de drenagem de 320 km^2. Este rio percorre os municípios de Mauá, Santo André e São Caetano do Sul e deságua no rio Tietê, na cidade de São Paulo. A nascente do Tamanduateí encontra-se no Parque Ecológico Gruta Santa Luzia no município de Mauá (RAMALHO, 2007). A várzea do rio foi intensamente ocupada, com urbanização densa e elevada concentração industrial, restando poucos espaços para a infiltração natural da precipitação. Como consequência, praticamente toda a chuva converge para a calha do Rio Tamanduateí, que atua como um grande dreno, escoando a água recebida para o Rio Tietê, a jusante.

2.2 DADOS

Foram utilizados os dados de precipitação diária de pluviômetros localizados na região de estudo, fornecidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e as Defesas Civis de São Bernardo do Campo, Santo André e Ribeirão Pires. Os períodos das séries dos dados e as caraterísticas de localização são detalhados na Tabela 1. Para a avaliação de impactos das chuvas utilizaram-se históricos de registros de ocorrência de inundações, alagamentos e deslizamentos de terra, disponibilizados pelas Defesas Civis da Região do ABC Paulista. O período de registro dos eventos foi diferente para cada município, sendo o maior o de São Bernardo de Campo (1997-2014) e o menor de Mauá (2012-2014).

Tabela 1 – Caraterísticas das estações pluviométricas da Região do ABC

Município (Sigla)	Prefixo	Nome	Lat (S)	Long (O)	Alt (m)	Período
Mauá (MA)	E3-148	Mauá	23° 40' 00''	46° 29' 00''	780	1952-2004
	E3-156	Noemia*	23° 40' 03''	46° 28' 05''	766	1999-2014
	E3-157	Zaíra*	23° 39' 02''	46° 26' 26''	783	1999-2014
Ribeirão Pires (RP)	E3-239	Guapituba*	23° 42' 00''	46° 27' 00''	800	1972-2014
	E3-155	RP*	23° 42' 29''	46° 25' 05''	757	1999-2014
Santo André (SA)	E3-029	Utinga	23° 38' 00'	46° 33' 00''	740	1956-1993
	E3-149	Campo Grande	23° 46' 00''	46° 21' 00''	760	1965-2003
	E3-159	Campestre*	23° 38' 53"	46° 32' 47"	768	1999-2014
	E3-160	PB – Lucinda*	23° 37' 33"	46° 31' 06"	793	1999-2014
São Bernardo do Campo (SBC)	E3-142	Recalque ABC	23° 45' 00''	46° 32' 00''	840	1949-2003
	E3-150	Rudge Ramos	23° 40' 00''	46° 34' 00''	780	1966-2004
	E3-161	Jd. Do Mar*	23° 41' 15"	46° 33' 36"	768	1999-2014
	E3-162	Vila Tanque*	23° 43' 18''	46° 32' 11''	788	1999-2014
São Caetano do Sul (SCS)	E3-163	Barcelona*	23° 36' 55''	46° 33' 20''	745	1999-2014
	E3-085	Vila Prosperidade*	23° 37' 00''	46° 33' 00''	730	1943-2014
Diadema (DIA)	E3-238	Diadema	23° 42' 00''	46° 36' 00''	770	1971-1996
	E3-158	Diadema*	23° 41' 04''	46° 36' 44''	780	1999-2014

*postos utilizados para a análise de agrupamentos

2.3 MÉTODOS

Foram elaboradas climatologias das chuvas para cada um dos municípios do ABC Paulista, exceto para o Município de Rio Grande da Serra que não possuía séries longas de chuva. Por existirem estações pluviométricas com série

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

longa de dados (mais de 30 anos), porém desativadas atualmente, e estações com séries mais atuais, a partir de 1999 até o presente (Tabela 1) optou-se por trabalhar de forma separada com dois conjuntos de dados: a) uma climatologia de 30 anos para o período de 1968-1998; e, b) uma média de 16 anos que compreendeu o período de 1999-2014. A comparação realizada entre os dois conjuntos de dados possibilitou identificar variações do padrão médio da chuva em dois períodos diferentes.

Previamente à elaboração das climatologias, e devido às séries de dados apresentarem falhas, utilizou-se a técnica de regressão linear múltipla para o preenchimento de dados faltantes (OLIVEIRA et al., 2010). Nesta técnica as estações com falhas funcionam como variáveis dependentes para estabelecer uma relação empírica com as variáveis independentes (séries de dados completas). Porém, as séries de variáveis independentes devem ter uma correlação alta ($\rho > 0,8$) com a série de dados que apresenta as falhas. Obtida a série de dados preenchida, foram construídas as climatologias e variabilidades interanuais para verificar tendências lineares ao longo dos períodos estudados.

Para a determinação de eventos extremos na série de dados utilizaram-se índices climáticos de precipitação desenvolvidos pelo grupo de especialistas da Commission for Climatology World Climate Research Programme – Climate Variability and Predictability (CCl/CLIVAR/JCOMM) (ALEXANDER et al., 2006). Para o cálculo dos índices utilizou-se a chuva diária dos postos pluviométricos de cada município do ABC Paulista e se consideraram aqueles com a série mais longa, até 2014. A Tabela 2 descreve os seis índices que foram calculados utilizando o software RCLIMDEX[1], com suas respectivas definições e formulações (FRISCH et al., 2002).

Tabela 2 - Índices climáticos extremos de precipitação desenvolvidos pelo CCI/CLIVAR.

Índice	Definição
Rnnmm	Número de dias com precipitação maior que certo limiar. Onde nn é o limiar definido para: nn=50 mm (R50mm) e 80 mm (R80mm).
RX1DAY	Máxima precipitação total em 1 dia, num mês.
RX5DAY	Máxima precipitação acumulada em 5 dias consecutivos, num mês.
R95P	Total anual de precipitação onde RR> 95p. Seja RR_{wj} a quantidade de precipitação diária no dia úmido w (RR>= 1.0mm) no período i, e temos RR_{wn95} como o 95th percentil de precipitação sobre os dias úmidos no período de trinta anos: $R95p_j = \sum_{w=1}^{W} RR_{wj},\ \text{onde RR}_{\text{wj}} > RR_{wn}95$
PRCPTOT	Total anual de precipitação em dias chuvosos.

Para a análise das tendências nas séries temporais dos índices aplicou-se o teste não paramétrico de Mann Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975). Este teste considera que os dados precisam ser variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídos. O método baseia-se em rejeitar ou não a hipótese nula (H_0), de que não exista tendência na série de dados, adotando-se um nível de significância (α). O sinal da estatística Z indica se a tendência foi positiva

[1] O *RClimDex* fornece uma interface de usuário gráfica amigável para calcular 27 índices climáticos. Ele também realiza controle de qualidade simples nos dados diários de precipitação e temperatura. Maiores informações no site: http://etccdi.pacificclimate.org/.

(Z>0) ou negativa (Z<0). Na determinação de tendências se trabalhou com séries maiores que 30 anos (1979-2014) em todos os municípios.

Dos seis índices (Tabela 2) calculados, PRCPTOT, R50mm, R80mm, e R95p são índices anuais, e os índices RX1day e RX5day são índices mensais. Estes índices são amplamente utilizados em estudos relacionados com variabilidade e mudanças climáticas (HAYLOCK et al., 2005; SILVA DIAS et al., 2013; VALVERDE e MARENGO, 2014), uma vez que a principal função destes é avaliar as mudanças na intensidade, frequência e duração de eventos de precipitação.

Ainda, para cada índice calculou-se o percentil 95 para identificar em quais municípios aconteceram os máximos valores durante o período estudado.

Os impactos das chuvas extremas foram avaliados pela frequência de eventos de deslizamentos, inundações e enchentes. Para isto, utilizaram-se os históricos de ocorrências identificando sazonalidade, variabilidade interanual, frequências de eventos e os bairros mais atingidos segundo o tipo de evento. Posteriormente, buscou-se estabelecer relações dos eventos ocorridos com a variabilidade e sazonalidade da chuva, principalmente com os seus extremos.

Para analisar a variabilidade espacial das chuvas extremas e da frequência de eventos de inundações e deslizamentos de terra nos municípios do ABC Paulista, realizou-se uma análise de agrupamento buscando identificar as respostas das regiões em relação ao comportamento da chuva no verão de dois anos extremos, um chuvoso (dezembro/2009 até fevereiro/2010) e outro menos chuvoso (dezembro/2013 até fevereiro/2014). A análise de agrupamento é uma técnica útil na identificação de grupos homogêneos baseada em características selecionadas (WILKS, 2006). No presente estudo foi realizada a análise de agrupamento hierárquica baseada nas distâncias euclidianas entre os pontos. O critério utilizado para definir a distância dentro do grupo, associada aos demais grupos, é baseado no método de máxima distância de agrupamento (*complete–linkage*). Maiores detalhes de aplicação da técnica podem ser encontrados em Everitt et al. (2011). Os postos pluviométricos utilizados para esta análise correspondem às séries mais recentes e estão especificados na Tabela 1.

Finalmente, buscou-se caracterizar o padrão atmosférico relacionado com o padrão de chuva na região do ABC Paulista e utilizaram-se variáveis atmosféricas (vento em 10m, pressão ao nível do mar, temperatura do ar e umidade relativa) obtidas da Reanálise do Centro Europeu (*European Centre For Medium-Range Weather Forecasts* - ECMWF) chamados ERA-INTERIM[2] com uma resolução espacial de 13,8 Km. A área da RMSP também foi incluída para auxiliar nas análises. O período selecionado para caraterizar o clima da região foi o disponível pela Reanálise, de 1979-2014, e os anos de 2010 e 2014, considerados como de extremos de chuva também foram analisados individualmente. Os mapas das variáveis atmosféricas foram construídos com o software GrADS, o qual é uma ferramenta de visualização e análise de dados em pontos de grade (DOTY et al., 1995).

[2] O ERA-Interim é uma reanálise atmosférica global que utiliza dados de observações meteorológicas coletados ao longo de décadas como entradas para um sistema de modelagem numérica. Os resultados consistem em simulações das condições da atmosfera sobre a superfície e sobre o oceano, estimando parâmetros tais como temperatura do ar, pressão e vento em diferentes altitudes. Os dados estão disponibilizados no site: http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-moda/.

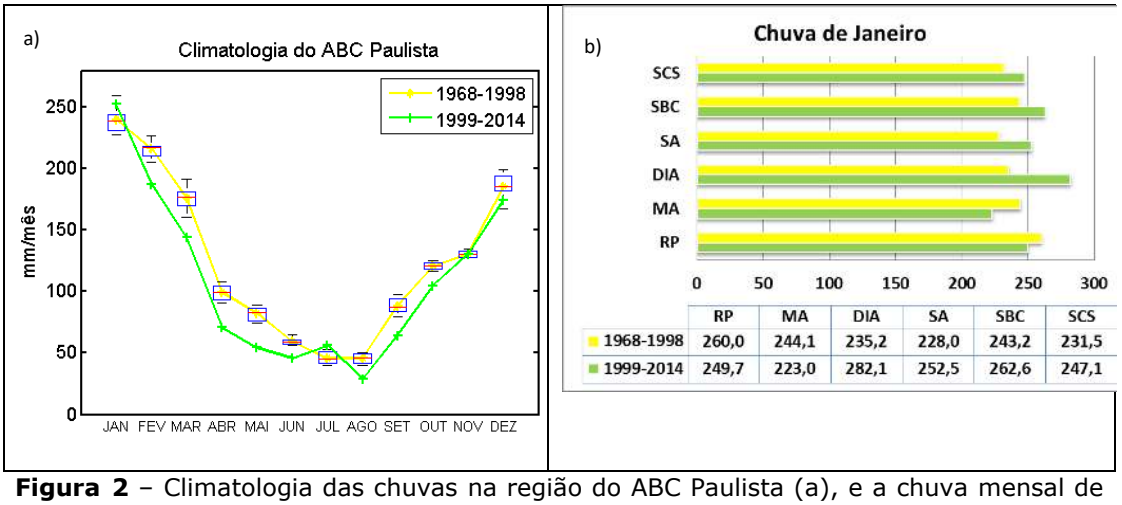
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3. RESULTADOS

3.1. CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DO ABC PAULISTA.

A Figura 2a mostra a distribuição mensal média da precipitação para os períodos de 1968-1998 (climatologia) e 1999-2014 para a região do ABC Paulista. Os dois períodos analisados apresentam uma distribuição similar, uma estação chuvosa (dezembro até março) e uma estação de poucas chuvas (junho até agosto). As caixas no diagrama de *boxplot* (Fig. 2a) mostram a variabilidade da chuva média mensal entre os municípios analisados para o período climatológico, sendo esta mais evidente nos meses da estação chuvosa com um desvio padrão de 11,5 mm em janeiro. Já nos meses de junho, outubro e novembro as chuvas mensais mostram pouca variabilidade entre os municípios, sendo junho o mês com o menor desvio padrão (3,0 mm). Os municípios mais chuvosos no mês de janeiro foram Ribeirão Pires (RP), Mauá (MA) e São Bernardo de Campo (SBC).

Também, observa-se que para o período recente (1999-2014) a chuva média mensal diminui em quase todos os meses (exceto janeiro e julho) quando comparado com o período climatológico 1968-1998. Especificamente em janeiro, os municípios que apresentaram o incremento das chuvas foram São Caetano do Sul (SCS), São Bernardo do Campo (SBC), Santo André (SA) e Diadema (DIA), com destaque para o último município que apresentou o maior incremento (Fig. 2b).



	RP	MA	DIA	SA	SBC	SCS
1968-1998	260,0	244,1	235,2	228,0	243,2	231,5
1999-2014	249,7	223,0	282,1	252,5	262,6	247,1

Figura 2 – Climatologia das chuvas na região do ABC Paulista (a), e a chuva mensal de Janeiro em cada município (b).

3.2. ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO PARA OS MUNICÍPIOS DO ABC PAULISTA

Os índices climáticos analisados são indicadores de extremos para o excesso de chuva e podem ser fortes indicativos deflagradores da ocorrência de eventos de inundações/enchentes e deslizamentos de terra. Nesta seção se analisaram as tendências no comportamento dos índices ao longo do período estudado. A Tabela 3 mostra os parâmetros Z de Mann-Kendall e o percentil

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

95% para cada índice climático. O valor de Z positivo (negativo) é um indicativo de tendência de aumento (diminuição).

Os índices R50mm e R80mm, que indicam o número de dias por ano em que a precipitação é maior ou igual que 50 mm e 80 mm respectivamente, são indicadores de frequência de dias com chuvas de moderada a forte intensidade. Dias com esta intensidade de chuva podem deflagrar inundações e deslizamentos em áreas mais vulneráveis à exposição destas chuvas.

Segundo a Defesa Civil dos municípios de São Bernardo do Campo[3] e Santo André[4] os escorregamentos ocorrem geralmente quando o total de chuva em menos de 3 dias atingem as intensidades de 80 mm e 100 mm respectivamente. Para a ocorrência de inundação e alagamentos em Santo André o limiar de intensidade de chuva é de 50 mm em uma hora.

De acordo com Faceto e Paiva (2012) os índices pluviométricos críticos para deflagração de deslizamentos variam com o regime de infiltração no solo, com a dinâmica das águas subterrâneas e com o tipo de processo geodinâmico. Sabe-se que os mecanismos envolvidos nos processos geodinâmicos em solos são complexos e originam-se com a saturação progressiva do solo que pode acontecer através de precipitações de menor intensidade, porém, contínuas e que conseguem se infiltrar no solo.

O índice R50mm mostrou ao longo do período analisado tendências positivas (de aumento) em todos os municípios. Já para o R80mm, somente São Caetano do Sul (SCS) e Ribeirão Pires (RP) mostraram um valor negativo para Z, indicando tendência de diminuição. Por outro lado, o maior valor do percentil 95 (P95%) de R50mm e R80mm foi para Mauá (MA), evidenciando que nesse município ocorreram os mais altos valores desses índices, isto é, um maior número de dias com chuvas destas intensidades ou superiores.

O índice R95p, que caracteriza o acumulado anual de dias muito úmidos (acima do percentil 95), também mostrou tendências positivas para quase todos os municípios, sendo Santo André (SA) e Mauá (MA) os que mostraram o maior incremento médio anual. Já o limiar máximo (P95%) de R95p foi detectado em Mauá (MA) e Diadema (DIA), evidenciando que nestes municípios se registraram os anos com os dias mais úmidos durante o período estudado.

No que se refere à máxima chuva diária, o índice RX1day apresentou tendências de aumento em quase todos os municípios, exceto em São Bernardo do Campo (SBC) e São Caetano do Sul (SCS). Já o RX5day que indica o máximo valor de chuva acumulado em cinco dias consecutivos, somente não mostrou tendências de aumento em Santo André e São Caetano do Sul. O município de Mauá não mostrou tendência de aumento ou diminuição. Os maiores valores do percentil 95 de RX1day foram para São Bernardo do Campo e Mauá, e de RX5day para Diadema e Mauá.

O índice PRCPTOT, que representa a chuva acumulada anual mostrou tendências de diminuição em quase todos os municípios, exceto em Santo André, o qual também se destacou com a tendência positiva do índice R95p. São

[3] Site do Blog da Defesa Civil de SBC (2011): http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/11/chuva-x-escorregamentos.html

[4] Site do SEMASA: http://www.semasa.sp.gov.br/protecao-e-defesa-civil/operacao-chuvas-de-verao/indicadores-de-chuva/

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Bernardo do Campo mostrou o maior decréscimo das chuvas anuais, com um valor médio anual de 11 mm. A tendência de diminuição do PRCPTOT em quase todos os munícipios pode ser um reflexo da diminuição das chuvas no seu acumulado mensal e consequentemente anual nos últimos 16 anos, como observado na análise das climatologias. É importante ressaltar que a diminuição de PRCPTOT não necessariamente está relacionada com uma diminuição nos índices R80mm, R50mm, RX1day e RX5day, como mostram as tendências positivas dos mesmos. Eventos de chuva diária intensa ou acumuladas em dias consecutivos podem acontecer em anos de chuva anual inferior à média, pois, as chuvas podem se concentrar em poucos e curtos períodos e assim serem tão intensas que podem causar inundações e deslizamentos de terra.

A maioria dos índices não apresentou significância estatística nas suas tendências de aumento ou diminuição. Isso, porém, não significa que as variações detectadas ao longo do período de estudo não caracterizem o comportamento da chuva extrema na região de estudo.

Tabela 3 – Tendências pelo teste de Mann-Kendal (Z) dos índices climáticos extremos de precipitação para a região do ABC Paulista.

Índices		SA	SBC	SCS	MA	DIA	RP
R50mm (dias)	Z	1,48	1,59	0,06	0,73	1,35	0,95
	P95%	8,3	6	7,9	9,9	7,5	6,05
R80mm (dias)	Z	1,29	0,98	-0,11	1,30	2,30 *	-0,05
	P95%	2,3	2	1	4,3	2,25	3
R95p (mm)	Z	1,14	0,42	-0,10	0,54	0,18	0,27
	P95%	529,9	541,6	553,93	884,26	669,73	605
RX1day (mm) Verão	Z	0,60	-0,21	-1,27	1,50	1,36	0,60
	P95%	110,78	147,79	111,83	120,44	104,2	112,25
RX5day (mm) Verão	Z	-0,71	0,33	-0,34	0,0	0,99	0,84
	P95%	201,5	197,82	185,6	208,12	228,7	205,4
PRCPTOT (mm)	Z	0,77	-2,59 **	-0,36	-0,85	-0,35	-0,73
	P95%	1859,8	2004,3	1896,4	2026,2	1934,5	1878,9

** significância a 0,05%
* significância a 0,01%

3.3. ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE EVENTOS DE ENCHENTES, ALAGAMENTOS E DESLIZAMENTOS DE TERRA NA REGIÃO DO ABC PAULISTA.

Um dos problemas encontrados nos históricos dos registros disponibilizados foi que nem todas as Defesas Civis fazem uma distinção clara entre ocorrência de alagamento, enchente e inundação, pelo que se estabeleceu na contagem um evento único chamado de "alagamento/enchente/inundação". No entanto, é preciso deixar claro que são processos hidrodinâmicos diferentes. Segundo o relatório técnico "Mapeamento de Riscos em encostas e margens dos rios" desenvolvido pelo Ministério da Cidade e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (BRASIL, 2007), as enchentes são elevações temporárias do nível d'água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga, produto das águas da chuva. Já uma inundação é o processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio. Por último, define-se alagamento como o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial.

Também se realizou uma filtragem dos registros históricos, selecionando apenas aqueles eventos que se associaram com a ocorrência de chuvas de moderadas a intensas.

Os resultados da contagem de eventos são mostrados na Tabela 4 que consideram os diferentes períodos para cada município. Santo André e São Bernardo de Campo são os municípios com os maiores históricos, 14 e 15 anos respectivamente. Mauá apresenta o menor histórico com apenas 3 anos de informação disponibilizado pela Defesa Civil desse município.

Verifica-se na Tabela 4 que a maior frequência de deslizamentos de terra e alagamentos/inundação/enchentes ocorre na época de verão, por ser a época com mais ocorrência de chuvas como mostrado na climatologia. Por existirem períodos de históricos diferentes em cada município, não se estabeleceu um consenso sobre qual é a segunda estação do ano em que acontece a maior frequência de eventos de deslizamentos e alagamentos/inundação/enchentes, embora pela climatologia a segunda estação de maiores chuvas seja o outono. Porém, para Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul, que são os municípios de maior histórico, a primavera é a segunda estação de maior frequência de eventos de alagamentos/inundações/enchentes.

Comparando os tipos de eventos, encontrou-se que em Santo André, São Bernardo do Campo, Mauá e Ribeirão Pires, a ocorrência de deslizamentos é mais frequente, segundo os históricos da Defesa Civil. Já, nos municípios de Diadema e Rio Grande da Serra, os eventos de alagamentos/inundação/enchentes foram mais frequentes.

Para facilitar a comparação entre os municípios selecionou-se o período em comum de 2012-2014, realizando nova contabilização dos eventos. Para este período foi confirmado que no verão existe a maior frequência de eventos, sendo o município de Santo André (28) o de maior ocorrência de alagamentos/inundação/enchentes no verão, seguido por Mauá. O outono foi a segunda época com maior ocorrência em quase todos os municípios, exceto em Ribeirão Pires.

Tabela 4 – Histórico de número de eventos de deslizamentos de terra e alagamentos/inundações/enchentes por estações do ano e para os sete municípios do ABC Paulista.

Município/ Período	Deslizamentos de terra				Alagamentos/inundações/enchentes			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
SA (2001-2014)	263	65	30	62	152	41	9	46
SBC (2000-2014)	175	40	14	35	108	15	2	26
SCS (2009-2014)	-	-	-	-	40	3	1	5
MA (2012-2014)	46	16	6	5	21	2	0	0
DIA (2008-2014)	18	15	7	2	32	7	3	6
RP (2010-2014)	118	36	13	25	25	2	1	2
RGS (2009-2014)	19	3	3	4	22	3	3	2

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Por outro lado, o número de deslizamentos de terra foi maior em Ribeirão Pires (49) no verão, seguido por Mauá (46) e Santo André (34). O município com menor ocorrência de deslizamentos no verão e primavera foi Diadema (5). Fazendo a comparação entre os tipos de eventos, os deslizamentos aconteceram com maior frequência em quase todos o municipios (exceto em Diadema e Rio Grande da Serra) no período de 2012-2014.

A Tabela 5 indica os bairros de cada município, em ordem de maior frequência, que foram mais atingidos pela ocorrência de deslizamentos e alagamentos/inundações/enchentes, segundo os históricos, e por esse motivo podem ser considerados como os mais vulneráveis aos impactos de chuvas moderadas e fortes. A maioria destes bairros se localiza na periferia, e apresentam caraterísticas de carência social, econômica e sanitária muito intensa. Por exemplo, no município de Santo André o bairro Jardim Santo André é um dos bairros mais problemáticos quando o assunto é área de risco, habitação e segurança. Já, o bairro Recreio da Borda do Campo está inserido na Área de Proteção dos Mananciais por estar próximo a Represa Billings. A área do bairro é muito acidentada, as moradias encontram-se em áreas de risco, como por exemplo, encostas muito íngremes ou localizadas muito próximos de cursos d'água. Também, por se tratar de uma área de preservação que foi habitada, uma parte do bairro não tem saneamento básico nem água encanada (FREITAS, 2011).

Tabela 5 – Bairros dos municípios do ABC Paulista que apresentaram maior frequência de deslizamentos e alagamentos/inundações/enchentes.

Municípios	Eventos	Bairros
SA	Alagamentos/Inundações/enchentes	Vila Pires e Vila América
	Deslizamentos	Jd. Santo André e Bairro Recreio Borda Campo
SBC	Alagamentos/Inundações/enchentes	Jd. Silvina, Jd. Orlandina e Vila São Pedro
	Deslizamentos	Vila São Pedro, Jd. Silvina e Vila São José.
SCS	Alagamentos/Inundações/enchentes	Jd. São Caetano, Nova Gerty e Jd. Mauá.
	Deslizamentos	Não há
MA	Alagamentos/Inundações/enchentes	Vila Assis e Jd Zaíra.
	Deslizamentos	Jd. Zaíra e Oratório.
DIA	Alagamentos/Inundações/enchentes	Casa Grande, Taboão e Centro.
	Deslizamentos	Eldorado.
RP	Alagamentos/Inundações/enchentes	Pq. Aliança, Centro e Jd. Caçula.
	Deslizamentos	Jd. Caçula, Jd. Santa Rosa e Ouro Fino.
RGS	Alagamentos/Inundações/enchentes	Jd. Guiomar, Vila Lopes e Parque América.
	Deslizamentos	Vila Lopes e Vila São João.

3.4. ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS VARIABILIDADES DA OCORRÊNCIA DE EVENTOS DE DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES/ALAGAMENTOS/ENCHENTES E DOS ÍNDICES CLIMÁTICOS DE EXTREMOS DE CHUVA.

A variabilidade anual dos eventos de deslizamento e alagamentos/inundações/enchentes e dos índices de chuva é mostrada na Figura 3, para os municípios que possuem os maiores históricos de eventos: Santo André (Fig. 3a), São Bernardo do Campo (Fig. 3b) e São Caetano do Sul (Fig. 3c) (Tabela 4). Foram selecionados os índices que mostraram maior concordância com a variabilidade dos eventos.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Observa-se que para os três municípios, o ano de 2010 apresentou a maior frequência de deslizamentos e alagamentos/inundações/enchentes, e também se caracterizou pelas fortes chuvas, como demonstrado pela intensidade dos índices. Os outros municípios que incluíram esse ano em seu histórico também apresentaram o mesmo comportamento.

O índice RX5day é um bom indicador para a ocorrência de deslizamentos, pois contabiliza a máxima chuva acumulada em cinco dias consecutivos. Quando acontecem chuvas persistentes por vários dias as áreas mais vulneráveis, consideradas de risco geológico/geotectônico sofrem os maiores impactos. Segundo Nunes (1969) as precipitações prolongadas e intensas aumentam a pressão dos poros e estimulam a criação de forças de percolação que facilitam as movimentações de massa.

Nos municípios de São Bernardo do Campo e Santo André observa-se que o índice RX5day na maioria das vezes acompanha o aumento e a diminuição no número de eventos. Especificamente, em Santo André, os períodos de 2001 até 2004 e de 2010 até 2013 apresentam uma boa relação entre o índice RX5day e a ocorrência de deslizamentos. Já entre 2006 e 2009 observam-se altas ocorrências de deslizamentos acompanhados por altos valores de PRCPTOT e baixos valores de RX5day, o que sugere, neste caso, que o critério de 5 dias consecutivos de chuva, não foi o único parâmetro que influenciou no número de ocorrência de deslizamentos.

O PRCPTOT em São Bernardo do Campo, em geral, também acompanhou a ocorrência dos eventos de deslizamentos e inundações/enchentes/alagamentos (Fig. 3b). Os picos destes eventos ocorrem em anos de altos valores de RX5day. Observou-se também que em 2013 e 2014 os eventos de deslizamentos e inundações/enchentes/alagamentos foram menos frequentes devido à diminuição das chuvas. Estudos mostram que no verão de 2014 aconteceu uma das secas mais intensas registradas nas últimas décadas sobre o estado de São Paulo (COELHO et al., 2015).

Na figura 3c é mostrado para o município de São Caetano do Sul os índices R95p e R50mm que representam o acumulado anual de dias muito úmidos (acima do percentil 95) e o número de dias com chuvas maiores ou iguais que 50 mm, respectivamente. Dias com chuvas desta intensidade em bairros altamente susceptíveis à ocorrência de inundações (Tabela 5), coloca em estado de atenção a cidade, e grande parte dos municípios do ABC Paulista.

A distribuição destes índices acompanha a variabilidade dos eventos em São Caetano do Sul. Em contrapartida, verifica-se para, no ano de 2014, onde se teve uma das secas mais intensas, os eventos de inundações/enchentes/alagamentos não diminuíram. É importante ressaltar, que embora o número de dias de chuva moderada diminuam, os poucos eventos de R50mm podem ter os mesmos impactos ou causar muito mais danos mobilizando a defesa civil do município. Fatores como o grau de impermeabilidade da cidade e uma rede de drenagem urbana inadequada potencializam os impactos.

Em Santo André o período de 2006 até 2011 se destaca como o de maior ocorrência de alagamento e inundações. Já, em São Bernardo do Campo, os anos de 2010 até 2011 (2009-2012) se destacam como os de maior ocorrência de alagamentos/inundação/enchentes (deslizamentos).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

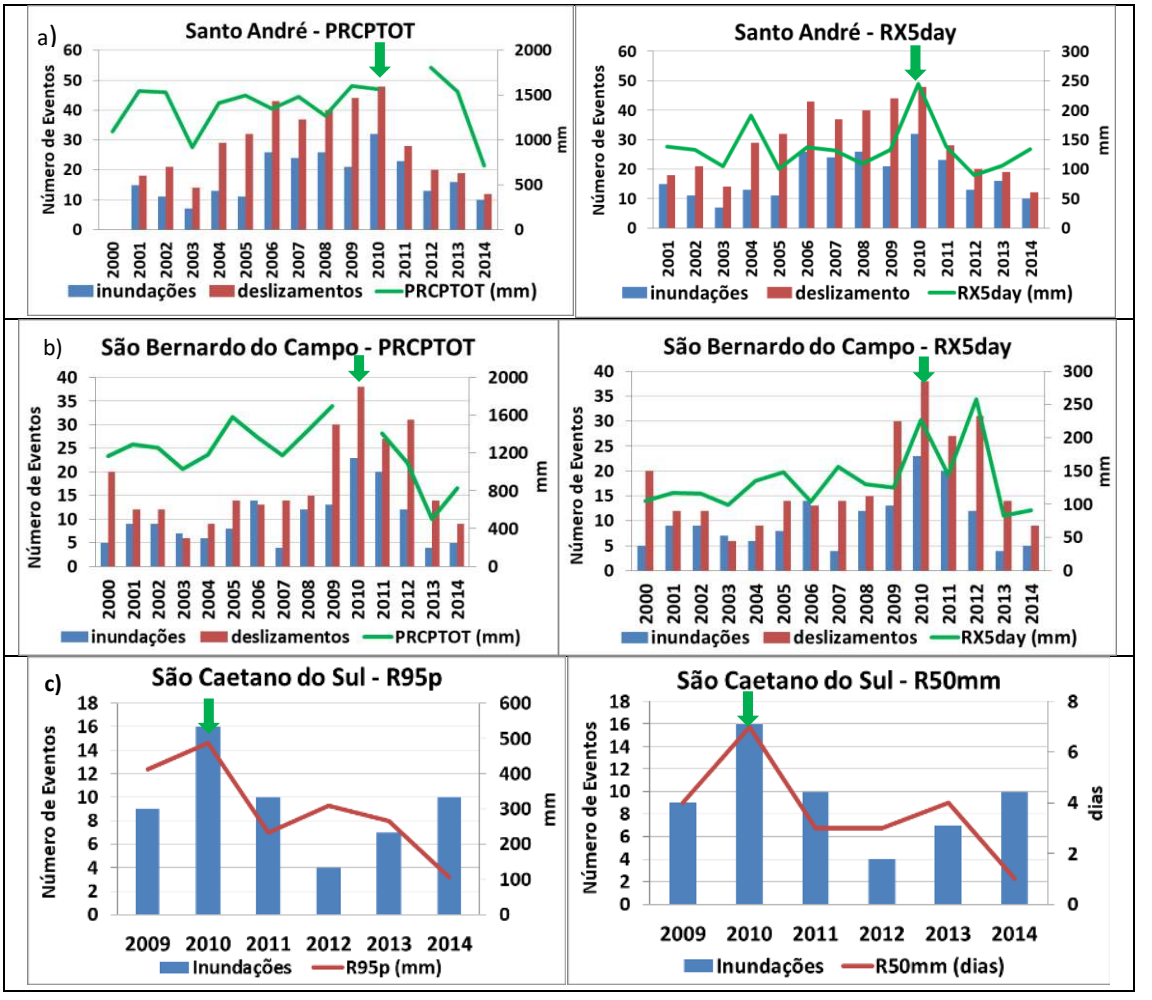


Figura 3 – Gráficos de índices climáticos de extremos de chuva e eventos de inundações/enchentes/alagamentos e deslizamentos para os municípios de Santo André (a), São Bernardo do Campo (b) e São Caetano do Sul (c).

3.5 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO PARA A IDENTIFICAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA CHUVA DE VERÃO EM DOIS ANOS EXTREMOS: 2010 E 2014

A análise de agrupamento identificou para os dois verões quatro grupos homogêneos: G1, G2, G3 e G4 (Fig. 4), indicados pelo salto na distância euclidiana ocorrido no oitavo estágio da análise. É importante destacar que cada grupo é formado por postos pluviométricos que representam similaridades baseadas em características selecionadas, isto é, nos índices de precipitação (R50mm, R80mm, RX1day, RX5day e R95p) e na frequência de eventos de deslizamentos e inundações. Em termos gerais, observam-se grupos mais homogêneos espacialmente no período mais seco do que no chuvoso. Para o

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

caso mais chuvoso 2009-2010 (Fig. 4a), o G1 que é formado apenas por um posto pluviométrico (Noêmia) localizado ao leste de Mauá, se caracterizou por apresentar menores valores dos índices R50mm, RX1day e RX5day, em relação aos outros grupos, e uma menor frequência de inundações, principalmente no mês de janeiro. O G2 mostrou semelhanças nos postos pluviométricos de Santo André, Ribeirão Pires e no posto Barcelona localizado ao norte de São Caetano do Sul. Este grupo apresentou a maior frequência média de inundações e principalmente de deslizamentos, embora não necessariamente tenha apresentado as máximas intensidades dos índices de chuva. Por outro lado, o G3 formado por um posto em Diadema e por outro posto (Vila Tanque) localizado ao sudeste da área urbana de São Bernardo do Campo apresentou os maiores acumulados mensais de chuva em janeiro, e os mais altos valores de R50mm e R80mm, porém, estas altas intensidades não se refletiram no alto número de deslizamentos e inundações, principalmente em Diadema. Já o G4 composto pelos postos Vila Prosperidade em São Caetano do Sul, Jardim do Mar em São Bernardo do Campo e Jardim Zaira, região norte de Mauá, apresentou como principal caraterística, o segundo valor mais alto de RX5day, que pode estar associado a alta frequência de deslizamentos e de inundações em São Caetano do Sul.

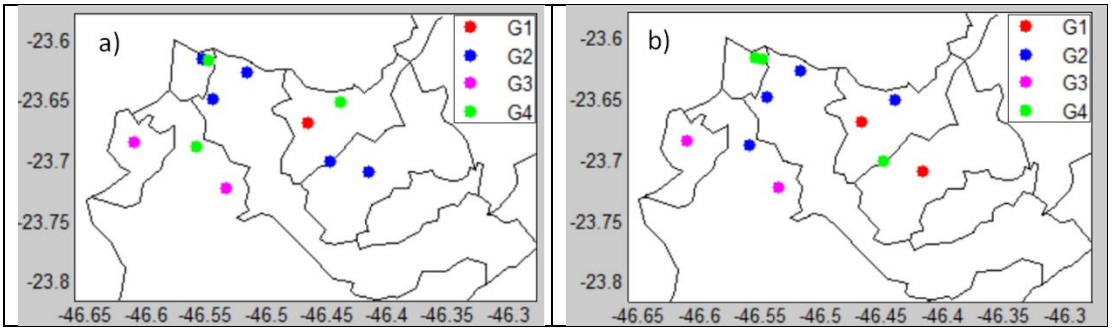


Figura 4 – Análises de agrupamento para o verão chuvoso de 2009-2010 (a) e para o verão seco 2013-2014 (b).

No verão menos chuvoso 2013-2014 (Fig. 4b), observaram-se grupos e postos pluviométricos com as mesmas caraterísticas do verão chuvoso, como foi o caso do G3, que apresentou os mais altos valores de R50mm, R80mm, RX1day e RX5day, o que pode estar associado com a maior frequência de inundações e deslizamentos em São Bernardo do Campo, mas não em Diadema. O G1 que é formado pelos postos pluviométricos de Noêmia em Mauá e RP localizado no centro de Ribeirão Pires apresentou as intensidades mais baixas dos índices climáticos. Esta mesma caraterística foi encontrada em Noêmia para o verão chuvoso. O G2 composto pelos postos pluviométricos de Santo André, Jd. do Mar (norte de São Bernardo do Campo) e Jd. Zaíra (norte de Mauá) se destacou por apresentar o mais alto índice R50mm, principalmente nos postos de Jardim Zaíra e Vila Campestre, os quais apresentaram a maior frequência de inundações e deslizamentos. Especificamente, os postos de Santo André tiveram a mesma caraterística do verão chuvoso, uma maior frequência de deslizamentos, embora não necessariamente tenham apresentado os máximos valores dos índices de chuva. Finalmente, o G4 composto pelos postos pluviométricos de São Caetano do Sul, e Guapituba em Ribeirão Pires (região

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

noroeste) apresentou o mais alto valor da chuva mensal no verão, e uma das frequências mais altas de inundações em São Caetano do Sul. O posto Vila Prosperidade em São Caetano do Sul no verão chuvoso mostrou caraterísticas semelhantes, o que sugere que este local é mais suscetíveis á ocorrência de inundações, seja em condições de muita ou pouca chuva.

3.6 CARACTERIZAÇÃO DO PADRÃO ATMOSFÉRICO E DE EXTREMOS NA REGIÃO DO ABC PAULISTA.

Nessa seção apresentam-se os campos atmosféricos médios de vento, temperatura do ar e pressão atmosférica para a época de verão, para o período climatológico e para dois verões extremos: 2009-2010 e 2013-2014.

A Figura 5a mostra a circulação caraterística na RMSP com ventos de nordeste que se espalham pelo norte e nordeste da região. Na parte central e sul da RMSP, onde o ABC Paulista se localiza (Fig. 5b) os ventos tornam-se mais de leste com uma suave componente do norte. As maiores intensidades do vento (5 m/s) se encontram no litoral paulista, e intensidades entre 3-4 m/s são observadas na região sul de São Bernardo do Campo. No ano de 2010 os ventos na RMSP possuem uma componente do norte muito mais acentuada em relação à climatologia, atingindo o ABC Paulista. Já, para o ano de 2014, os ventos se tornam do leste e diminuem de intensidade em quase toda a RMSP, e no ABC Paulista o vento se inverte, tendo uma orientação do sudeste.

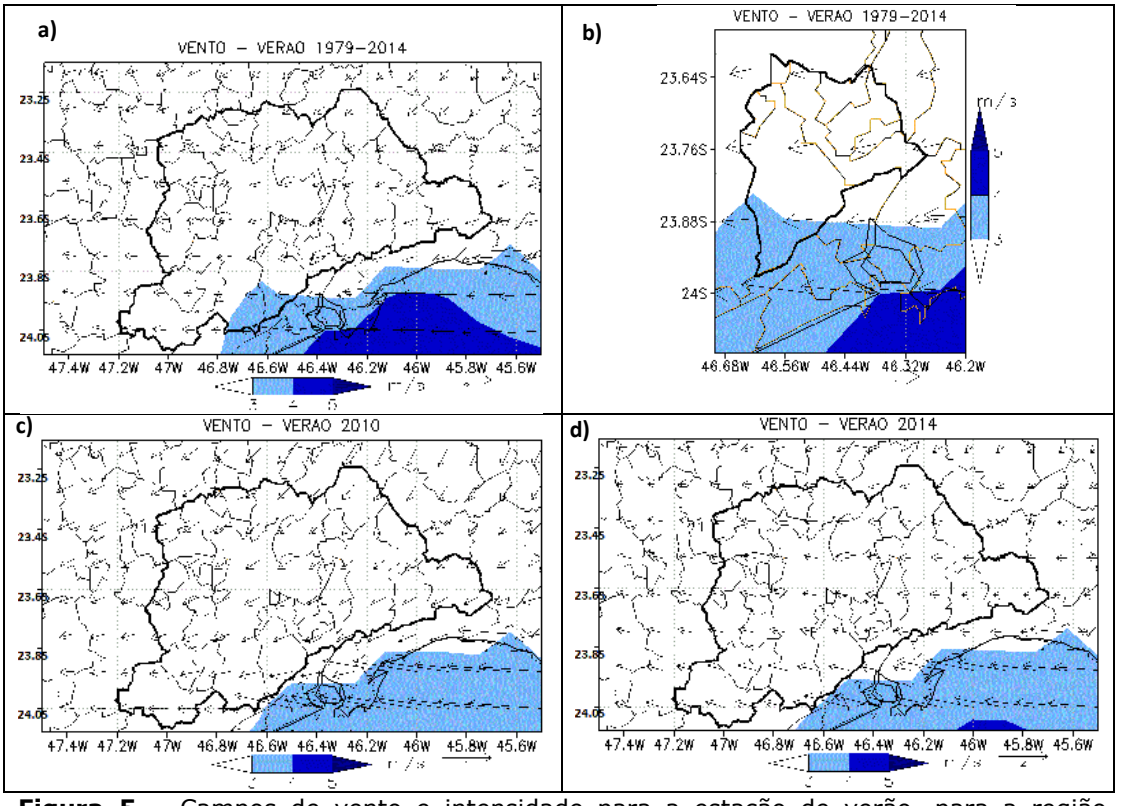


Figura 5 – Campos de vento e intensidade para a estação de verão, para a região metropolitana de São Paulo e para a região do ABC Paulista, para a climatologia 1979-2014 (a, b), e para os anos de 2010 (c) e 2014 (d).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

No que se refere ao valor padrão da temperatura do ar e da pressão no nível do mar a climatologia (Fig. 6a) mostra que os municípios mais próximos do litoral são mais quentes (24ºC) em relação aos que estão localizados na região norte, com a temperatura aumentando do noroeste para o sudeste, sendo São Caetano do Sul, Diadema e norte de Santo André e São Bernardo do Campo os municípios menos quentes. A pressão atmosférica em média é de 1012.5 hPa, chegando a 1013 hPa no norte do ABC Paulista.

No verão de 2010 (Fig. 6b) as temperaturas foram mais altas em 1ºC em relação a climatologia, e as regiões serranas de Santo André e São Bernardo do Campo (região sul desses municípios) foram as mais quentes, cerca de 2ºC acima da média. Além disso, as pressões diminuíram caracterizando um verão mais quente, havendo assim condições mais favoráveis à ocorrência de chuvas.

Por outro lado, 2014 considerado um dos anos mais secos, as temperaturas foram muito mais altas, entre 2ºC a 3ºC (faixa leste da região) acima da climatologia (Fig. 6c), porém a pressão atmosférica aumentou, alcançando os 1014 hPa no setor norte do ABC Paulista, contribuindo para a diminuição das chuvas, caracterizando um clima mais seco e quente, como mostrado nos campos de temperatura (Fig. 6c).

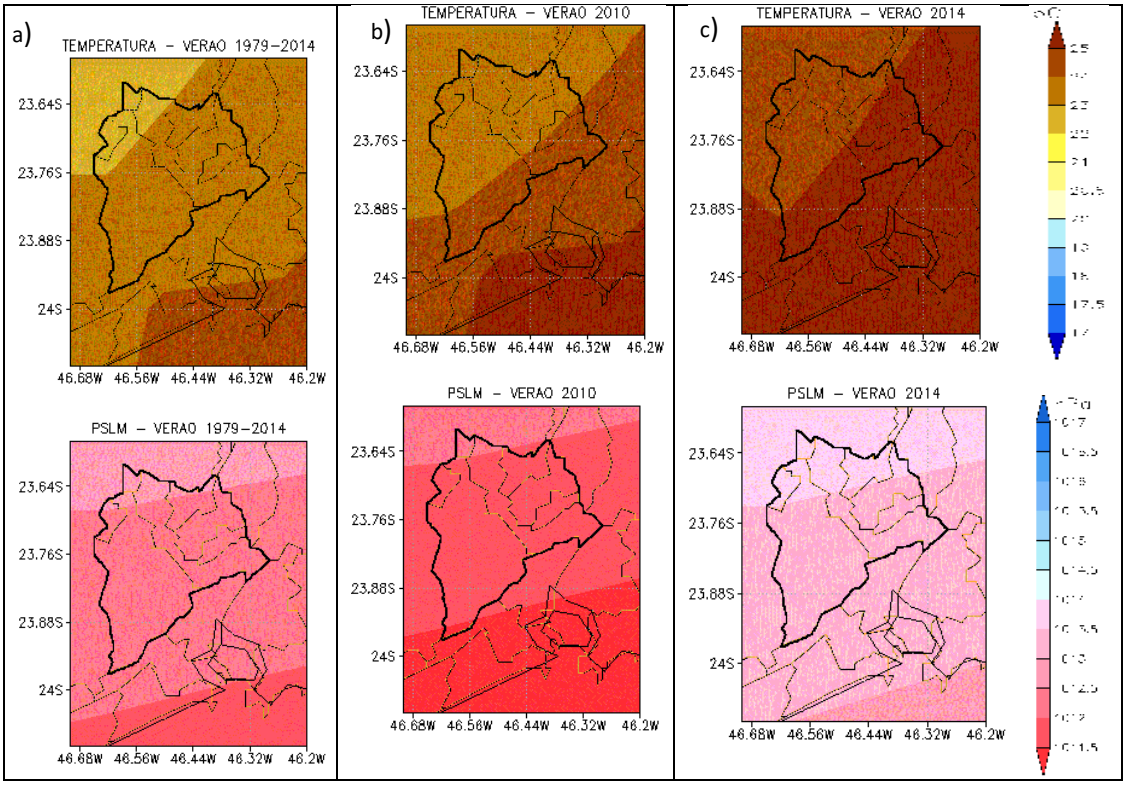


Figura 6 – Campos da temperatura do ar e pressão em nível do mar (PSLM) para a região do ABC Paulista, para a climatologia 1979-2014 (a), para os anos 2010 (b) e 2014 (c), e para a estação de verão.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar o padrão das chuvas e os impactos dos eventos extremos, que foram avaliados pela frequência de ocorrência de deslizamentos e inundações/enchentes/alagamentos em cada município do ABC Paulista.

Os resultados mostraram diferenças claras nos padrões de chuvas entre as áreas urbanas dos municípios do ABC Paulista, apesar da proximidade dentro da RMSP. Estudos prévios como os de Valverde e Cardoso (2012) e Valverde e Santos (2014) que mostraram que na época de verão ocorre a maior frequência de inundações e as máximas chuvas foram confirmados no presente estudo.

O padrão climatológico (1968-1998) analisado neste estudo identificou que as maiores intensidades de chuva mensal ocorreram nos municípios de Ribeirão Pires e Mauá.

A avaliação da chuva para dois períodos, um deles chamado de climatologia (1968-1998) e o outro para um período mais recente (1999-2014) possibilitou inferir que houve incremento das chuvas no mês Janeiro, porém, o acumulado anual diminuiu, sugerindo uma maior concentração das chuvas no verão, sendo este comportamento mais evidente nos municípios de Diadema, São Bernardo do Campo, Santo André e São Caetano do Sul.

Os extremos de chuva foram avaliados utilizando índices climáticos (R50mm, RX5dy e R95p), e observou-se que a variabilidade anual destes, de forma geral, acompanhou a frequência de eventos de deslizamentos de terra e inundações, com destaque para o índice R50mm. Chuvas diárias com esse limiar (≥50 mm) são deflagradores iminentes de eventos de deslizamentos e inundação em áreas mais suscetíveis, como já encontrado por Faceto e Paiva (2012) e Molina et al. (2015) para eventos de movimento de massa no município de São Bernardo do Campo. No entanto, também foi verificado que o índice R50mm mostrou tendências positivas em todos os municípios do ABC Paulista. Porém, o aumento de R50mm não necessariamente acompanhou o aumento da chuva anual, e isso foi comprovado nas tendências negativas do índice PRCPTOT em quase todos os municípios do ABC Paulista (exceto Santo André). Este comportamento sugere um aumento de chuvas mais intensas, que aumentam os riscos de desastres.

A análise estatística dos históricos da Defesa Civil mostrou que os eventos de deslizamentos são mais frequentes que as inundações na região de estudo, exceto em São Caetano do Sul, onde não foram registrados eventos de deslizamentos. Para o período de 3 anos (2012-2014) comparável para todos os municípios, Santo André e Mauá apresentaram a maior frequência de inundações, e Ribeirão Pires e Mauá a maior frequência de deslizamentos. Estes municípios apresentaram as chuvas mais intensas no mês de Janeiro, e tendências positivas dos índices R80mm e RX1day.

Para os municípios de registros de históricos mais longos (Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul) identificou-se que o ano de 2010 foi o de maior frequência de deslizamentos e inundações, verificando-se também os mais altos valores de PRCPTOT, RX5day e R50mm. Este ano se

caracterizou pela ocorrência de um El Niño moderado[5] . Contrariamente, o ano de 2014 se destacou como o de menores volumes de chuvas, mas não necessariamente o de menor número de eventos de inundações conforme detectado em São Caetano do Sul.

A análise de agrupamento realizado para dois verões extremos (2010 e 2014) confirmou a variabilidade espacial da chuva entre municípios e para os postos pluviométricos localizados em um mesmo município. Porém, houve municípios que se destacaram como foi o caso de Diadema e a região sul da área urbana de São Bernardo do Campo (Vila Tanque) como os locais de maiores acumulados de chuva. O município de Diadema nos últimos 16 anos apresentou um incremento considerável das chuvas no mês de Janeiro, e ainda uma tendência positiva acentuada e significativa estatisticamente do índice R80mm. No entanto, este comportamento não se refletiu num aumento considerável de deslizamentos e inundações. Assim, é importante que os tomadores de decisões definam políticas públicas que evitem a ocupação desordenada de encostas ou áreas de várzea para evitar a ocorrência de deslizamentos e inundações, uma vez que os resultados sugerem o aumento das chuvas neste município.

Por outro lado, os bairros mais afetados com a maior frequência de deslizamentos e inundações, na sua maioria, mostraram a particularidade de serem bairros em desenvolvimento, com baixas condições socioeconômicas e de saneamento, muitas vezes localizados em áreas não aptas para serem habitadas. Estes bairros merecem maior atenção por parte dos tomadores de decisões, uma vez que as chuvas tendem a se concentrar com maior intensidade num período de tempo menor, afetando as áreas mais vulneráveis.

Finalmente verificou-se a influência da circulação atmosférica de verão em escala regional no padrão de chuvas e nos extremos no ABC paulista. Os campos de circulação mostraram que os municipios localizados mais próximos ao litoral se caraterizam por receber maior contribuição dos ventos umidos, além de apresentarem temperaturas do ar mais elevadas e menores pressões atmosférica. Não foi por acaso que Ribeirão Pires e Mauá foram os municipios de maiores chuvas na climatologia, pois além da circulação favorável estes municipios apesar de se encontrar à sotavento da Serra do Mar, possuim vertentes escarpadas e de alta declividade, o que pode contribuir com a formação de precipitações de origem orográfica.

Para os anos extremos, identificou-se um tipo de circulação atmosférica que favoreceu ou não a ocorrência de chuvas. Em condições favoráveis temos uma diminuição da pressão atmosférica, temperaturas mais altas, e ventos do nordeste mais intensos favorecendo um maior transporte de umidade e calor de regiões mais quentes e do Atlântico Tropical. Estas condições favorecem movimentos convergentes para a formação de nuvens de chuva.

Destaca-se dessa forma a importância de estudos que avaliem os impactos das chuvas intensas em escalas espaciais menores, desde ruas até bairros, pelos desastres que estas podem ocasionar, onde a população sempre é

[5] Segundo o Índice Oceânico de El Niño (ONI) que é utilizado pela NOAA para identificar os eventos El Niño e La Niña no Pacífico tropical, o verão de 2009-2010 foi considerado um El Niño Moderado (ONI oscilando entre 1,0 a 1,4). Maiores informações podem ser encontradas no site: http://ggweather.com/enso/oni.htm.

a mais afetada. Trabalhos futuros devem aprofundar os resultados para cada municipio da região do ABC Paulista, assim como a diferenciação de cada evento hidrometeorológico.

5. AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece o auxílio financeiro da FAPESP por meio do Processo 2013/09269-2, indispensável à realização da pesquisa. Também se agradece a Defesa Civil dos municípios do ABC Paulista pela disponibilidade das informações.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L. V., et al. Global observed changes in daily climatic extremes of temperature and precipitation. Journal of Geophysical Research, v. 111, D05109, p. 1 – 22, doi:10.1029/2005JD006290, 2006.

BRASIL. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, Organizadores. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

COELHO, C. A.; CARDOSO, D. H.; FIRPO, M. A. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. Theorical and Applied Climatology, v. 125, p. 769-784, doi.org/10.1007/s00704-015-1540-9, 2015.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL GRANDE ABC: Juntos pelo Grande ABC: Construindo o desenvolvimento regional, 2016. Disponível em: < http://consorcioabc.sp.gov.br/imagens/noticia/CI_0015_16_Consorcio_Revista_23x23cm_alt11_view_Vers%C3%A3o%20final.pdf>. Acesso em 29 jan. 2018. - CONCEIÇÃO, R. P. Análise das tragédias de Janeiro de 2011, no bairro jardim Zaíra, município de Mauá/SP: uma análise episódica. 2013. 266 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2013. Disponível em: <http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/95542>. Acesso em 29 jan. 2018.

DOTY, B. E.; HOLT, T.; FIORINO, M. The Grid Analysis and Display System (GrADS). 1995. Disponível em: <ftp://grads.iges.org/grads/beta/doc/gadoc151.pdf>. Acesso em 04 dez. 2015.

DAS NEVES, R. A. O combate às enchentes no município de Santo André/SP: caraterização socioambiental do problema e subsídios dos afetados ao planejamento das ações da Defesa Civil. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Carlos, São Carlos, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-27032009-155824/pt-br.php>. Acesso em 29 jan. 2018.

EVERITT, B. S.; LANDAU, S.; LEESE, M.; STAHL, D. Cluster Analysis. 5th Ed. United Kingdom: Wiley, 2011, 346 p.

FACETO, M. C.; PAIVA, C. F. E. A influência dos índices pluviométricos críticos na deflagração de acidentes geotectônicos no município de São Bernardo do Campo - SP. In: II Simpósio de Pesquisa do Grande ABC, Santo André 2012.

FERNANDES, R. A.; VALVERDE, M. C. Análise da resiliência aos extremos climáticos de chuva: Estudo preliminar na região de Mauá no ABC Paulista – São

Paulo. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n. 44, p. 1-17, DOI: 10.5327/Z2176-947820170183, 2017.

FREITAS, A. P. Parque natural do Pedroso: uma Unidade de Conservação em área urbana. 2011. 230 f. Dissertação (Mestrado na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo 2011. Disponível em: < http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16135/tde-11072011-144930/pt-br.php>. Acesso em 29 jan. 2018.

FRISCH, P. et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. Climate Research, v. 19, p. 193–212. 2002.

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. Journal of Climate, v. 19, p. 1490-1512, doi.org/10.1175/JCLI3695.1, 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC: Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, p. 1-19, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2010. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm >. Acesso em: 13 Fevereiro de 2016.

KENDALL, M. G. Rank correlation measures. Charles Griffin: London, U.K, 1975. 220 p.

MANN, H. B. Econometrica. The econometric society, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C.; OBREGON, G. O. Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. Climate Research, v. 57, p. 61-72, doi:10.3354/cr01160z, 2013.

MOLINA, E. A.; CARDOSO, A. O.; NOGUEIRA, F. R. Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo – SP. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 37, p. 46–54, dx.doi.org/10.5902/2179460X16214, 2015.

MORO JUNIOR, E. A redenção inexistente nos planos urbanísticos municipais: o caso do Projeto Eixo Tamanduatehy. São Paulo: Annablume, 2007.

NOBRE, C. A.; YOUNG, A. F.; MARENGO, J. A.; SALDIVA, P. H. N.; NOBRE, A. D.; OGURA, A. T.; THOMAZ, O.; VALVERDE, M.; OBREGON, G.; MOREIRA DA SILVA, G. C.; SILVEIRA, A. C.; RODRIGUES, G. O. Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. In: Ronaldo Seroa da Motta; Jorge Hargrave; Gustavo Luedemann; Maria Bernadete Sarmiento Gutierrez. (Org.). Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. 1 ed. Brasília: IPEA, p. 233-257, 2011.

NUNES, A. C. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: 7th Internacional Conference on soil mechanics and engineering, ISSMFE,

London, p. 547-554, 1969. Disponível em <https://www.issmge.org/uploads/publications/1/38/1969_02_0070.pdf>. Acesso em 29 jan. 2018.

OLIVEIRA, L. F.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M.; SILVA, A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v. 14, n. 11, p. 1186–1192, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n11/v14n11a08.pdf>. Acesso em 29 jan. 2018.

PEREIRA, A. J. Chuvas de verão e as enchentes na Grande São Paulo: El Niño, brisa marítima e ilha de calor. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <http://docplayer.com.br/11912027-Chuvas-de-verao-e-as-enchentes-na-grande-sao-paulo-el-nino-brisa-maritima-e-ilha-de-calor-augusto-jose-pereira-filho.html>. Acesso em 29 jan. 2018.

RAIMUNDO, C. C.; SANSINGOLO, C. A.; MOLION, B. L. Tendências das classes de precipitação na região metropolitana de São Paulo. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 29, n.3, p. 397-408, dx.doi.org/10.1590/0102-778620130655, 2014.

RAMALHO, D. Rio Tamanduateí – Nascente à Foz: percepções da paisagem e processos participativos. Paisagem Ambiente: ensaios, São Paulo, n. 24, p. 99-114, dx.doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i24p99-114, 2007.

SANTOS, C. L.; VALVERDE, M. C.; CORDEIRO, D. R. Inundações urbanas: estudo de caso em Santo André do ABC Paulista. In: 14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Rio de Janeiro. 2013.

SILVA DIAS, M. A.; DIAS, J.; CARVALHO, L. M.; FREITAS, E. D.; SILVA DIAS, P. L. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. Climatic Change, v. 116, p. 705 - 722, doi.org/10.1007/s10584-012-0504-7, 2013.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Extreme Rainfall Indices in the Hydrographic Basins of Brazil. Open Journal of Modern Hydrology, v. 4, n. 1, p. 10-26, DOI:10.4236/ojmh.2014.41002, 2014.

VALVERDE, M. C.; SANTOS, C. L. Pluvial Flooding in Santo André City - São Paulo: observation and prediction. In: The 6th International Conference on Flood Management - ICFM6, São Paulo, 2014.

VALVERDE, M. C.; CARDOSO, A. O. Eventos extremos de chuvas associados com a ocorrência de enchentes na região do Grande ABC Paulista. In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Gramado, 2012.

WILKS, D. S. Statistical Methods in the Atmospheric sciences. 2nd Ed. London: Academic Press, 2006. 634 p.

XAVIER, T. M.; XAVIER, A. F.; SILVA DIAS, M. A. Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 9, n. 1, p. 44-53, 1994.

XAVIER, M. L.; SOUZA, A. C.; RODRIGUES, J. P.; BRESCIANI, L. P. O novo perfil econômico do Grande ABC. Revistas Organizações em contexto, v. 3, n. 6, p. 103-122, DOI: http://dx.doi.org/10.15603/1982-8756/roc.v3n6p%20103%20-%20122,2007.