

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS ATRAVÉS DO MÉTODO DOS PERCENTIS, EM SANTO ANDRÉ, REGIÃO DO ABC PAULISTA - SP

Brambila, Ricardo B.¹; Valverde, Maria C.²; Santos, Débora F. F.³ & Ferreira, Mariana C. A.⁴

RESUMO – Este trabalho teve como objetivo identificar eventos extremos chuvosos na área urbana do município de Santo André – São Paulo. O critério para a seleção baseou-se no cálculo dos percentis p90th, p95th e p99th, utilizando a chuva diária do posto pluviométrico E3-160 disponibilizado pelo DAEE, para o período de 1999-2018. Os resultados obtidos através da classificação dos eventos em chuvosos (C), muito chuvosos (MC) e extremamente chuvosos (EC), mostraram que os EC além de apresentar maior ocorrência nos meses de outubro até março, ocorreram pelo menos uma vez nos meses de poucas chuvas (junho até agosto). Mesmo assim, o percentil p99th diário que caracterizou os eventos EC, mostrou um valor de 85,5 mm para o mês de setembro. Também, foram identificados eventos EC em três anos consecutivos, 2017 (6 abril), 2018 (23 novembro) e 2019 (10 março), que para os seus meses respectivos não aconteciam há aproximadamente 18 anos, com a característica da chuva se concentrar em curtos períodos de tempo e com intensidades de até 84,7 mm em menos de duas horas.

ABSTRACT– The objective of this work was to identify excess rainfall events in the urban area of the municipality of Santo André - São Paulo. The criterion for selection was based on the calculation of the p90th, p95th and p99th percentiles using the daily rainfall of the rainfall station E3-160 provided by the DAEE for the period 1999-2018. The results classified rainy (R), very rainy (VR) and extremely rainy (ER) events, showed that in addition to being more frequent in the months of October to March, they occurred at least once in the months of few rains (June to August). Even so, the daily p99th percentile that characterized the EC events showed a value of 85.5 mm for the month of September. Also, EC events were identified in three consecutive years, 2017 (6 April), 2018 (23 November) and 2019 (10 March), which for their respective months did not occur for approximately 18 years, with rainfall short periods of time and with intensities of up to 84.7 mm in less than two hours.

Palavras-Chave – Eventos extremos chuvosos. Percentis. Santo André.

1. INTRODUÇÃO

Eventos extremos climáticos são definidos como grandes desvios de um estado atmosférico em relação ao seu comportamento médio, que ocorrem em escalas que podem variar desde dias até

1) Laboratório Integração de Sistemas Ambientais e Urbanos/ISAU-Seco, Universidade Federal do ABC, 12 981547177, ricardobr@hotmial.com
2) Professora curso Engenharia Ambiental e Urbana da Universidade Federal do ABC, 11 49968274, maria.brambila@ufabc.edu.br
3) Estudante curso Engenharia Ambiental e Urbana da Universidade Federal do ABC, 11 983160498, debora.freitas@aluno.ufabc.edu.br
4) Estudante curso Engenharia Ambiental e Urbana da Universidade Federal do ABC, 11 953625293, marianacaferreira@gmail.com

milênios (MARENGO, 2007). Dentre esses extremos, destacam-se os extremos de excesso de chuva que ocasionam grandes impactos nas grandes cidades metropolitanas, principalmente na escala temporal diária, associados com as chuvas convectivas e com a configuração de sistemas atmosféricos transientes.

Os impactos que os excessos de chuva originam, principalmente nas cidades com alta impermeabilidade, cursos de rios retificados, pouca áreas verdes, ocupação de áreas de encosta, são as inundações, alagamentos, enxurradas e deslizamentos de terra, causando danos materiais e até perdas de vidas. Nesse contexto, as populações mais atingidas são as que apresentam maior vulnerabilidade social e econômica (Nobre *et al.*, 2011; Valverde, 2017).

Estudos que analisam a precipitação, definindo a quantidade, intensidade e a distribuição espacial, contribuem para o processo de gestão em vários setores da atividade humana, podendo auxiliar nas ações da defesa civil e planejamento na implantação de infraestruturas adequadas para enfrentar eventos extremos pluviométricos.

Silva Dias *et al.* (2013) discutem sobre a evolução dos valores de extremos de chuva, indicando a possível atuação da evolução climática global, através do aumento da temperatura da superfície do mar na costa Sudeste do Brasil e que exerce uma influência na quantidade de calor e umidade disponível para a formação de chuvas na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. Há também os possíveis efeitos locais causados pelo aumento da área urbana, poluição do ar produzindo aerossóis com possíveis impactos na produção de chuva, entre outros.

O ABC Paulista localizado no sudeste da RMSP, na qual o município de Santo André está inserido, sofre também com constantes problemas originados pelas chuvas extremas, seja pela ocorrência de inundações e/ou alagamentos na bacia do rio Tamanduateí ou por deslizamentos de terra em áreas de encosta (Das Neves, 2008; Valverde *et al.*, 2018; Molina *et al.*, 2015).

Este trabalho tem como objetivo principal a análise dos eventos de extremos chuvosos diários na área urbana do município de Santo André, com ênfase na identificação de três episódios ocorridos nos anos de 2017, 2018 e 2019 que deflagraram eventos severos de inundação, alagamento e enchentes no município estudado.

2. ÁREA DE ESTUDO

O município de Santo André está localizado nas coordenadas geográficas latitude 23° 39' 30" S e longitude 46° 31' 00" W e com altitudes que variam de 750 à 800 m (PREFEITURA DE SANTO ANDRÉ, 2016). Está inserido na sub-região Sudeste da RMSP e faz parte do Grande ABC Paulista, (Figura 1). O município possui 710.210 habitantes e uma área de 174,38 km², onde mais de 55% (108

km²) se encontra em área ambientalmente protegida, onde residem 5% da população - aproximadamente 35.511 habitantes. As demais áreas do município estão inseridas na região da Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, onde se localiza a zona urbana de Santo André, cuja maior parte da população reside, cerca de 95% (correspondente a aproximadamente 674.499 habitantes), e onde se concentram as principais atividades comerciais e industriais (PREFEITURA DE SANTO ANDRÉ, 2016).

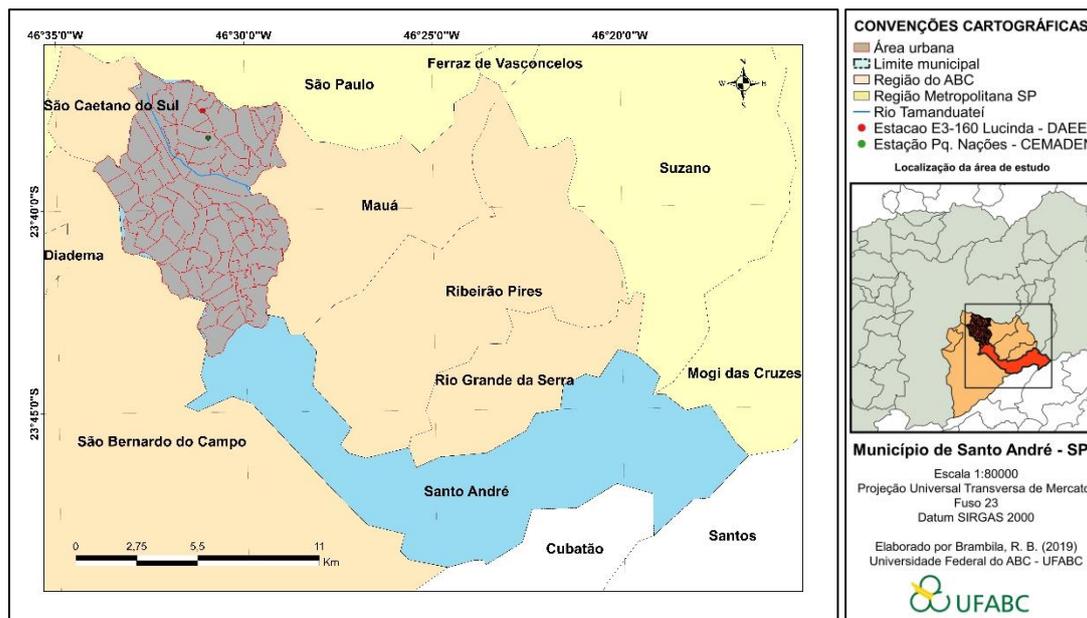


Figura 1 - Localização do município de Santo André no ABC Paulista e na Região Metropolitana de São Paulo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo utilizou-se a série de dados de precipitação diária, da estação pluviométrica E3-160 - Lucinda para o período de 1999-2018, fornecida pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. Complementarmente empregou-se a série de dados de chuvas em escala temporal de 10 minutos da estação pluviométrica Parque das Nações fornecido pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN.

Com o intuito de associar os eventos extremos de chuva aos possíveis impactos ocorridos na área de estudo, utilizou-se a base de dados do histórico de ocorrências, fornecido pela Defesa Civil do município de Santo André.

Para a identificação dos extremos de eventos chuvosos utilizou a técnica do percentil, seguindo a orientação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, com o acrônimo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), no qual afirma que eventos extremos de clima e de tempo podem ser definidos através dos percentis: “An extreme weather event is an event that is rare at a particular place and time of year. Definitions of rare vary, but an extreme weather event would

normally be as rare as or rarer than the 10th or 90th percentile of a probability density function estimated from observation” (IPCC, 2013).

Como no presente estudo se analisa os eventos extremos chuvosos, foram calculados além do percentil p90th, os percentis p95th e p99th. A equação de cálculo para os percentis é mostrada a seguir (WILKS, 2006):

$$Pk = l_{pk} + \left(\frac{\frac{k.n}{100} - \sum f_i}{F_{pk}} \right) \cdot h \quad (1)$$

Onde,

k : percentil a ser calculado; L_{pk} : limite inferior percentil; n : número de elementos ou observações; f_i : frequências anteriores da classe do percentil a ser calculado; F_{pk} : frequência da classe do percentil a ser calculado e h : amplitude da classe do percentil a ser calculado.

Assim, com base nos percentis calculados se estabeleceu a seguinte classificação:

Evento Chuvoso (C): $p90th \leq X_i < p95th$

Evento Muito chuvoso (MC): $p95th \leq X_i < p99th$

Evento Extremamente Chuvoso (EC): $X_i \geq p99th$

4. RESULTADOS

4.1. Análise dos percentis

Com base nos dados pluviométricos diários da estação E3-160 Lucinda, localizada na área urbana de Santo André, e considerando apenas os dias úmidos (chuva acima de 0,5 mm) para o período de 1999-2018, foram calculados os percentis diários de 90% (p90th), 95% (p95th) e 99% (p99th). A Figura 2a mostra a distribuição sazonal dos percentis diários. Observam-se os maiores valores do p90th (acima de 30 mm diário) para os meses chuvosos (novembro com 33,98 mm, dezembro 30,26 mm, janeiro com 38 mm, fevereiro com 34,69 mm e março com 35,08 mm).

Para o percentil p95th observam-se valores diários acima de 40 mm para os meses chuvosos (novembro com 42,34 mm, dezembro 45,98 mm, janeiro com 52,9 mm, fevereiro com 50 mm e março com 45,28 mm, e incluindo o mês de outubro com 40,66 mm). A distribuição sazonal do p90th e p95th é semelhante à distribuição sazonal da chuva média mensal no município (Valverde *et al.*, 2018).

Por outro lado, os valores de p99th diário estão acima de 60 mm, alcançando em alguns meses valores de 90 mm como foi o caso do mês de dezembro. Vale destacar ainda que para esse percentil

de 99%, a distribuição não apresentou sazonalidade definida, onde os meses de julho e setembro, que não são considerados como meses chuvosos dentro da climatologia do município, apresentaram os valores de 78,5 mm e 85,5 mm, respectivamente, sendo que setembro apresentou o segundo maior valor do p99th, para o período analisado.

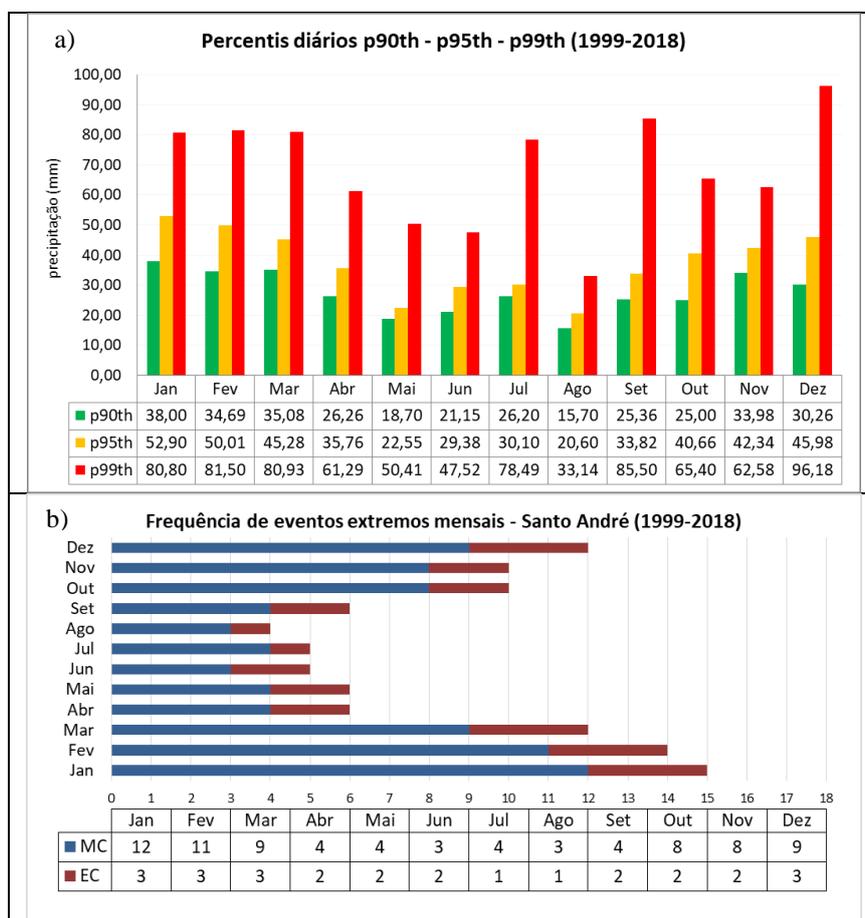


Figura 2 – Distribuição mensal dos percentis diários (a) e frequência de eventos extremos mensais (b) de Santo André – 1999-2018.

Tendo como base os percentis diários de p90th, p95th e p99th e seguindo a classificação explicada na metodologia, contabilizaram-se as frequências de ocorrência dos eventos extremos associados a esses percentis. A Figura 2b mostra o número de casos para os eventos muito chuvosos (MC) e extremamente chuvosos (EC) para cada mês do período de 1999-2018. Observa-se maior frequência de eventos MC nos meses de outubro a março, variando entre 8 (outubro e novembro) e 12 (janeiro) eventos. Porém, para essa classificação, os meses pouco chuvosos (abril a setembro) apresentaram entre 3 a 4 eventos, com intensidades entre 35,7 mm e 61,2 mm.

Em janeiro, os eventos MC, tiveram intensidades de chuvas diárias entre o intervalo de 52,9 mm e 80,8 mm. Dentre todos os eventos desse mês, três deles ocorreram no ano de 2010, nos dias 1, 20 e 28, com valores de precipitação de 53 mm, 88 mm e 53 mm, respectivamente.

A análise realizada para os eventos EC indicou que em todos os meses, houve pelo menos um evento extremo de chuva, destacando os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, que são meses chuvosos, com 3 eventos cada um (Figura 2b). Dezembro obteve um valor do p99th de 96,1 mm (Figura 2a), sendo o maior da série estudada, se destacando o ano de 2010 com um evento EC, de intensidade diária de 200 mm para o dia 16. Para os meses considerados pouco chuvosos, que vão de abril a setembro, o destaque fica para o mês de setembro que apresentou dois eventos EC, um em 2015 com valores de 95 mm para o dia 8, e outro em 2009 com 92,3 mm para o dia 6. No mês de julho de 2009 houve um evento EC com um valor significativo de precipitação diária de 104,7 mm, no dia 11, e novamente, indicando que eventos EC ocorrem em meses com padrões considerados pouco chuvosos.

4.2 Eventos extremos chuvosos ocorridos nos anos de 2017, 2018 e 2019.

Três eventos extremos de excesso de chuva ocorridos no município de Santo André foram identificados e analisados no presente estudo. Estes ocorreram em abril de 2017, novembro de 2018 e março de 2019, com impactos significativos para a população, inclusive com perdas humanas, e também danos em infraestruturas, interdição de vias públicas, entre outros. Importante ressaltar que o impacto de uma chuva diária, mesmo sendo catalogada como um evento MC ou EC dependerá também do período do dia no qual acontece e do número de horas no qual se concentra. Se a chuva intensa ocorre em um curto período de horas ininterruptamente é de se esperar que os impactos sejam mais significativos, se comparados com um evento no qual a chuva se distribui em lapsos não contínuos ao longo do dia.

Caso 1 – abril de 2017

A distribuição temporal dos dias úmidos do mês de abril para o período de 1999-2018 e os percentis p90th (26,2 mm), p95th (35,7 mm) e p99th (61,2 mm) são mostrados na Figura 3a. Ocorreram quatro eventos considerados MC, e dois eventos considerado como EC. Dos dois eventos EC, o do dia 6 de abril de 2017 se destacou, com uma chuva diária registrada de 90 mm. O segundo caso ocorreu no dia 14 de abril de 1999 com uma intensidade de 61,5 mm, valor muito próximo ao limiar p99th (61,2 mm).

Os dois eventos EC para o mês do abril tiveram um intervalo de ocorrência de 18 anos, sendo o evento EC do dia 6 de abril de 2017, o mais intenso, iniciando entre as 18hs e se estendendo até a 01h do dia 7, de acordo com os dados registrados na estação pluviométrica analisada. Considerando

que a chuva média mensal para o mês de abril na área urbana de Santo André é 58,4 mm (Valverde *et al.*, 2018), no dia do evento choveu aproximadamente 54% a mais do que a média em todo o mês de abril, e a maior intensidade ocorreu em um curto período de tempo (2 horas, 85% do total precipitado), se iniciando as 23 horas do dia 6 e terminando a 1 hora da manhã do dia 7 de abril.

Este evento causou vários impactos na região urbana do município, que foram registrados pela Defesa Civil, como transbordamento de rios e córregos, danos em árvores, congestionamento e interdição de via pública, erosão/buraco, queda de poste (Figura 3b). Ainda, vários impactos foram registrados na Avenida Antônio Cardoso e Rua Alpes, cerca do Rio Tamanduateí. E em outros pontos da área urbana, a água invadiu casas e carros ficaram cobertos de lama, mas sem perdas de vidas⁵.

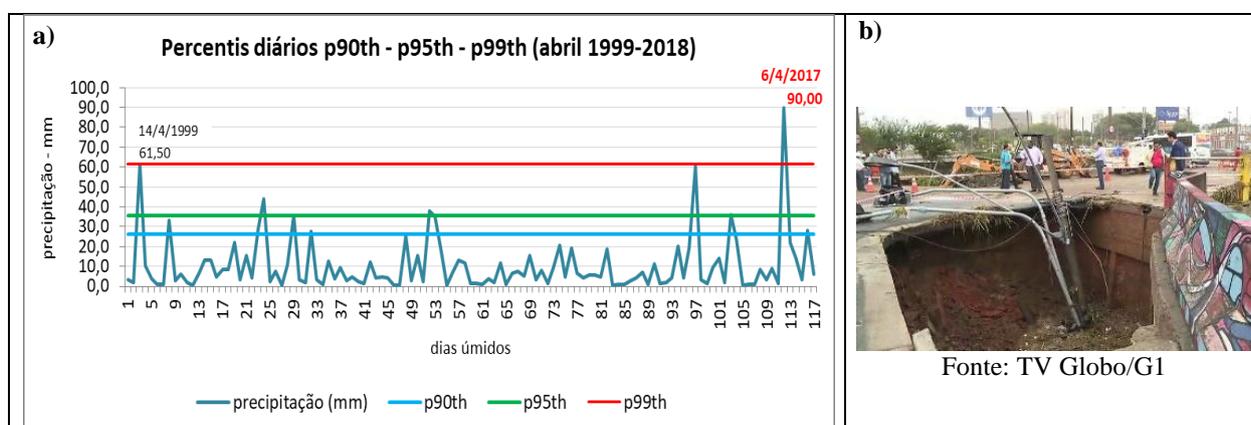


Figura 3 – Distribuição temporal dos dias úmidos e os percentis diários para o mês de abril - 1999-2018 (a) e foto da queda da ponte na Av. dos Estados em Santo André após o evento EC do dia 6 de abril de 2017 (b).

Caso 2 – novembro de 2018

O evento do mês de novembro de 2018 aconteceu no dia 23, e através da análise do gráfico da distribuição temporal dos dias úmidos para o mês de novembro (Figura 4a) e dos percentis p90th (33,9 mm), p95th (42,3 mm) e p99th (62,5 mm), o evento foi catalogado como EC, com uma intensidade de 84,7 mm, ocorrendo aproximadamente em uma hora e meia, iniciando às 16 horas e terminando as 17:30 horas, segundo o registro do pluviômetro do Parque das Nações, disponibilizado pelo CEMADEN. Considerando que para o mês de novembro, em média chove 129,2 mm (Valverde *et al.*, 2018), no dia do evento e em um curto período do tempo, choveu mais da metade (65,51%) do que deveria chover em todo o mês.

Ainda na Figura 4a foi detectado outro evento classificado como EC, que ocorreu no dia 28 novembro de 2001, com intensidade de 70,5 mm. Assim, para esse mês, e para o período analisado, o intervalo de ocorrência entre os dois eventos EC foi de 18 anos. Os impactos da chuva registrada

⁵ Artigo de reportagem retirada do site do G1 disponível em <<https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/chuva-abre-buraco-que-engole-poste-em-ponte-em-santo-andre-no-abc.ghtml>> e acessada em 5 de abril de 2019.

no dia 23 de novembro de 2018⁶ deixaram carros submersos nas vias da cidade, um shopping inundou e também um trecho de linha da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM chegou a operar parcialmente devido à água sobre os trilhos (Figura 4b), ainda, no cemitério da Vila Pires, um muro desabou e deixou alguns túmulos expostos.

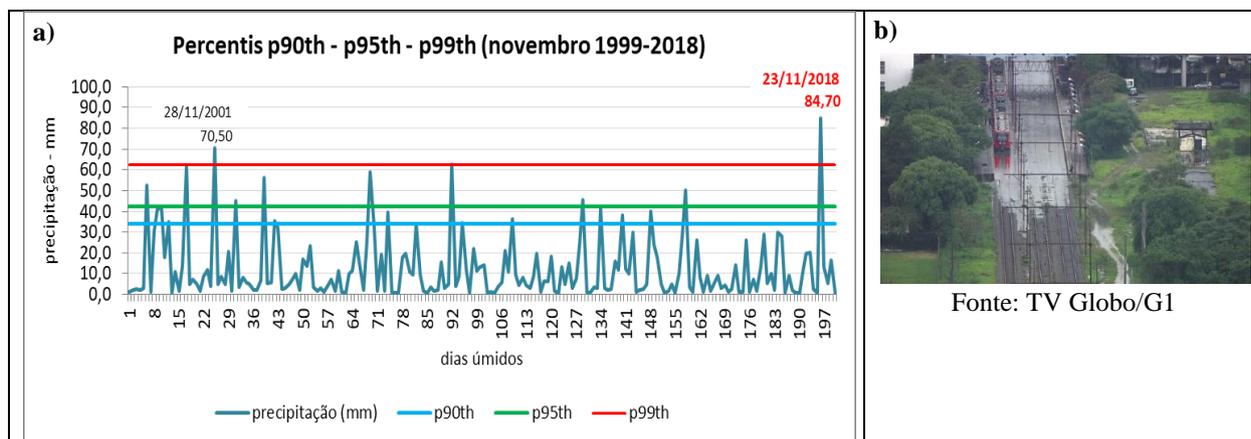


Figura 4 – Distribuição temporal dos dias úmidos e os percentis diários para o mês de novembro - 1999-2018 (a) e foto do trecho de linha 10-Turquesa da CPTM alagado após o evento EC do dia 23 de novembro 2018 (b).

Caso 3 – março de 2019

O evento ocorrido no do dia 10 de março de 2019 foi caracterizado como EC, de acordo com o p99th (80,5 mm), como mostra a Figura 5a. Para identificar este evento no cálculo dos percentis foi incluído o mês de março de 2019. Ainda para este mês foram observados três eventos classificados como EC, dos quais o do dia 10/03/2019 foi o mais intenso (95,6 mm), iniciando-se por volta das 18 horas do dia 10 e se estendendo até as 3 horas da manhã do dia 11, segundo o registro do pluviômetro Parque das Nações do CEMADEN, portanto com uma precipitação de 9 horas de duração. Considerando que a chuva média mensal para o mês de março é 151,05 mm (Valverde *et al.*, 2018), no dia do evento choveu 63,3 % de todo o que é esperado no mês.

Os outros dois eventos extremamente chuvosos ocorreram no dia 28 março de 2001, e no dia 24 de março de 2002 com intensidades de chuva de 81 mm e 88,1 mm respectivamente. Para este mês, o intervalo de ocorrência entre os dois últimos eventos EC foi de 17 anos. O evento EC do dia 10 de março de 2019 que se iniciou durante a noite e se estendeu pela manhã do dia 11, provocou alagamentos em diversas regiões da Grande São Paulo e bloqueou vias de acesso à capital paulista. No município de Santo André houve grandes impactos em infraestruturas, como casas destelhadas,

⁶ Artigo de reportagem retirado do site do G1 disponível em < <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/11/23/chuva-deixa-regioes-de-sp-em-estado-de-alerta-para-alagamentos.ghtml> > e acessada em 5 de abril de 2019.

queda da cobertura de um hospital, alagamentos em estações da CPTM, ruas e avenidas próximos ao Rio Tamanduateí (Figura 5b), e também foram registrados dois óbitos por afogamento.⁷

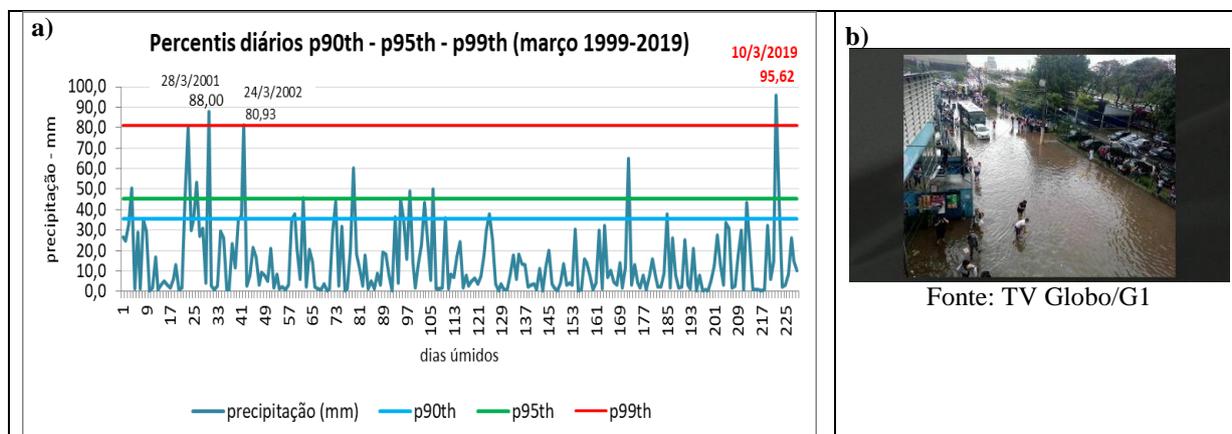


Figura 5– Distribuição temporal dos dias úmidos e os percentis diários para o mês de março - 1999-2019 (a) e foto da Av. dos Estados alagada, após o evento EC do dia 10 de março 2019 (b).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da metodologia dos percentis, para a série de chuvas diárias na área urbana de Santo André, possibilitou a identificação dos eventos de excesso de chuva nas classificações de evento chuvoso (C), muito chuvoso (MC) e extremamente chuvoso (EC), sendo que as intensidades diárias para os eventos EC alcançaram valores maiores ou iguais que 96,2 mm no mês de dezembro. Porém, tão importante como conhecer as intensidades dessas chuvas diárias é saber como elas se distribuem durante o dia, assim como a sua continuidade, pois o seu impacto em termos de ocorrência de inundações, alagamentos, enxurradas, movimentos de massa, entre outros, e o que estes eventos podem causar, dependerá do período de tempo no qual as chuvas se concentram e dos locais onde ocorrem, como é o caso da área urbana de Santo André, altamente impermeabilizada e construída na várzea do rio Tamanduateí. Os eventos analisados que ocorreram em três anos consecutivos, 2017, 2018 e 2019, mas em meses diferentes, catalogados como EC, não ocorriam há aproximadamente 18 anos, e com a característica da chuva ter se concentrado ininterruptamente em períodos curtos (horas), como foi o caso do evento de novembro de 2018, que em menos de duas horas choveu 84,7 mm.

REFERÊNCIAS

DAS NEVES, R. A. “O combate às enchentes no município de Santo André/SP: caracterização 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,

⁷ Artigo de reportagem retirado do site do G1 disponível em < <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/03/11/forte-chuva-isola-areas-na-grande-sao-paulo-e-causa-alagamentos.ghtml> > e acessada em 6 de abril de 2019.

São Carlos, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-27032009-155824/pt-br.php>>. Acesso em 29 mar. 2019.

IPCC, 2013: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

MARENGO, J. A. “*Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade – caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*”. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. v.1, p.214.

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.

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.

PREFEITURA DE SANTO ANDRÉ. Anuário de Santo André 2016 (Ano base 2015). Disponível em: <<http://www2.santoandre.sp.gov.br/index.php/2014-09-10-19-59-37/publicacoes/category/3-anuarios-de-santo-andre>>. Acesso em 24 de março de 2019.

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

VALVERDE, M. C. “*A interdependência entre vulnerabilidade climática e socioeconômica na região do abc paulista*”. Ambient. soc., São Paulo, v. 20, n. 3, p. 39-60, set. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc66r2v2032017>.

VALVERDE, M. C.; CARDOSO, A. O.; BRAMBILA, R. B. “*O padrão de chuvas na região do abc paulista: os extremos e seus impactos*”. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.], v. 22, abr. 2018. ISSN 2237-8642. [doi:http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.45929](http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.45929).

WILKS, D.S., (2006). “*Statistical methods in the atmospheric sciences*” – 2nd Edn. Academic Press, New York, 627pp.