



IV SIPET *online*

IV Simpósio Internacional de Projetos
em Engenharia e Tecnologia

TEMA

**A Engenharia em
prol da Sociedade**

UNISAL
CENTRO UNIVERSITÁRIO SALESIANO DE SÃO PAULO

ANÁLISE DAS PROJEÇÕES DE EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS EM 5 MUNICÍPIOS DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

**Amanda Costa dos Santos, Fernanda Aparecida Nascimento,
Minella Alves Martins.**

Centro Universitario Saleciano de São Paulo- UNISAL
amanda98.costa@hotmail.com; fernandhaparecida@gmail.com;
minella.martins@unisal.br.

1. Introdução

A concentração de pessoas sobre um espaço gera impacto ambiental, logo a urbanização deve ser pensada em consonância com o meio ambiente para que não tenha riscos para a sociedade muito menos para a população.

A ocupação das áreas de risco, por exemplo, margens de rios e encostas, coloca em perigo a população. Aliado à ocupação de áreas de risco, o aumento da frequência de ocorrência de extremos climáticos vem causando grandes impactos à população, principalmente nas grandes cidades, onde está concentrado número maior de pessoas (TUCCI, 2004).

Uma das causas do aumento da frequência de extremos climáticos são as mudanças que vêm sendo observadas no clima. Dentre elas, o aumento da temperatura, conseqüentemente, alterando o ciclo hidrológico (SILVA et. al, 2017).

Estes extremos em cidades não planejadas geram um grande impacto. Para haver a diminuição dos impactos destes desastres é necessária a construção de cidades resilientes. Com base em dados hidrológicos é possível apontar as áreas de maior risco gerando possíveis ações de prevenção (SAITO et.al, 2019).

O Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE disponibiliza dados para simulações de projeções de extremos pluviométricos, a partir dos quais é possível realizar estudos das tendências de precipitações no futuro (ALMAGRO; OLIVEIRA, 2019).



Neste sentido, este estudo teve a finalidade de analisar as projeções de extremos pluviométricos, no período de 50 anos (2025 a 2074), em 5 cidades da região sudeste, demonstrando a tendência de extremos pluviométricos no futuro e comparando com o clima presente e provendo informações para subsidiar o planejamento das cidades assim como revisão de parâmetros para projetos hidráulicos.

2. Materiais e métodos

A área de estudo do presente trabalho abrangerá os municípios de São Paulo, Rio de Janeiro, Guarulhos, Taubaté e São Carlos. A prioridade da seleção era incorporar cidades da região sudeste do Brasil.

Com base nas cidades selecionadas foi obtido o índice R95p a partir dos dados de projeção climática do modelo Eta-Microc5 (CHOU et al. 2014), disponível na plataforma Projeta (<https://projeta.cptec.inpe.br/#/dashboard>). A plataforma criada pelo CEPTEC/INPE, fornece dados de projeções climáticas regionalizadas para o Brasil, possibilitando acesso a diversos parâmetros climáticos.

O índice R95p representa a precipitação anual total dos dias em que a precipitação for maior que o percentil 95 (mm) (PETERSON, 2005). O R95p pode ser representado pela equação 1.

$$R95p = \sum RR_{wj} = 1 \text{ sendo onde } RR_{wj} > RR_{wn95} \quad (1)$$

Os Cenários climáticos escolhidos para análise são o RCP 4.5 e RCP 8.5. Estes representam as trajetórias da população e economia, como elas vão reagir com o passar dos anos, levando em consideração a emissão de gases de efeito estufa para o futuro. Sendo o RCP4.5 um cenário otimista e o RCP8.5 um cenário pessimista. O período Histórico representa o clima presente.

Foram analisadas as diferenças percentuais em termos de magnitude do índice R95p do futuro em relação ao presente. Além disso, observou-se também a frequência de ocorrência.

O método de tendência utilizado para comprovação do aumento ou da diminuição da frequência de ocorrências de extremos pluviométricos foi o teste não paramétrico de Mann-Kendall. O teste identifica a tendência estatisticamente significativa a longo prazo. Este teste não requer que os dados sejam distribuídos ou lineares (SALVIANO et al. 2016).



IV SIPET online

IV Simpósio Internacional de Projetos em Engenharia e Tecnologia

TEMA

A Engenharia em prol da Sociedade



Para uma série de dados $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, em que n é o número de dados para comprovação da hipótese alternativa H^1 (quando há tendência) ou hipótese nula H_0 (não há tendência) utiliza-se a equação (2)(SANTOS, et al. 2016).

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (2)$$

Onde:

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x = 0 \\ -1, & \text{se } x < 0 \end{cases}$$

É possível demonstrar que a variância de S é normalmente distribuída, quando a hipótese H_0 seja verdadeira, conforme a equação 3.

$$V(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^G tp(tp-1)(2tp+5)] \quad (3)$$

Sendo n o número de observações, p o número de grupos e tp o número de observações iguais no grupo. Por fim a estatística foi calculada por:

$$Z(MK) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S > 1 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

Onde Z possui as seguintes interpretações:

Tabela 1 – Significância de Z .

SIGNIFICÂNCIA	SIMBOLOGIA	Z
Sem tendência	ST	0
Tendência significativa crescente	TSC	> + 1,96
Tendência significativa decrescente	TSD	< - 1,96
Tendência não significativa crescente	TNSC	< + 1,96
Tendência não significativa decrescente	TNSD	> - 1,96

Fonte: Alves *et al.* 2015



IV SIPET^{online}

IV Simpósio Internacional de Projetos
em Engenharia e Tecnologia

TEMA

A Engenharia em
prol da Sociedade

UNISAL
CENTRO UNIVERSITÁRIO SALESIANO DE SÃO PAULO

3. Resultados e discussão

Neste estudo foi possível analisar o índice R95p para os 5 municípios da região sudeste do Brasil, onde pode-se notar um aumento significativo na frequência de extremos climáticos em dois dos municípios analisados, a Tabela 1 apresenta o nível de significância das alterações climáticas de cada região.

Tabela 1- Tendência de significância em relação ao Z

MUNICIPIOS	Z (HIST.)	SIGNIFICÂNCIA (HIST.)	Z (RCP 4.5)	SIGNIFICANCIA (RCP 4.5)	Z (RCP 8.5)	SIGNIFICANCIA (RCP 8.5)
São Paulo	-1,16	TNSD	1,15	TNSC	0,65	TNSC
Rio de Janeiro	-0,68	TNSD	1,49	TNSC	1,56	TNSC
Guarulhos	-0,28	TNSD	1,12	TNSC	2,39	TSC
Taubaté	-0,71	TNSD	0,82	TNSC	1,61	TNSC
São Carlos	-0,6	TNSD	2,28	TSC	1,18	TNSC

Analisando os valores obtidos a partir do teste de Mann-Kendall, pode-se concluir que para o índice histórico todas as cidades tiveram uma tendência não significativa.

Para o cenário otimista, apenas São Carlos tem uma tendência significativa crescente, sendo que os demais municípios têm uma tendência não significativa. Já para o cenário pessimista apenas Guarulhos possui uma tendência significativa crescente.

Todas as cidades analisadas independente do resultado de significância estatística precisam estar atentas e preparadas para enfrentar aos extremos ambientais futuros, minimizando assim os impactos sociais e econômicos. Vale enfatizar que, para o período futuro, todos os municípios apresentaram tendência crescente, apesar de não significativa estatisticamente. Logo todos os municípios estudados precisam se adaptar para alcançar a resiliência. Neste sentido a UNISDR (2012) apresentou um guia de Como Construir Cidades Mais Resilientes em alguns passos:

- Quadro administrativo, onde todos os serviços de emergência são organizados e atribuídos a uma entidade.



- Aplicação de recursos em campanhas educativas, onde ensina a importância da resiliência e de se estar preparado para enfrentar estes eventos. Também informar o grau de risco que cada indivíduo está enfrentando.
- Realização de avaliação de risco de ambientes em construção e já construídos. Melhorar as ocupações irregulares e impedir novas construções em ambientes que ofereçam risco.
- Executar a proteção ambiental, promovendo o crescimento verde.
- E obter um sistema de alerta e alarme, assim avisando todos os moradores de um possível desastre antecipadamente.

Porém as cidades de Guarulhos e São Carlos precisam se prevenir com uma maior proporção, pois serão as cidades mais afetadas pelos extremos pluviométricos no futuro, assim havendo a necessidade de modificar a estrutura para suportar estes eventos.

Impulcetto (2017), apresentou controle de cheias através de medidas estruturais como:

- Controle da cobertura vegetal: pois quanto maior a vegetação maior será a retenção da água da chuva e ajuda a impedir a ocupação de ambientes de risco.
- Pavimentos permeáveis: onde podem diminuir a velocidade de escoamento superficial, amortecimento da vazão ou detenção e infiltração da água. Estas vantagens vão depender do tipo de pavimento, podendo ser pavimentos dotados de revestimentos superficiais permeáveis, dotados de estrutura porosa ou de estrutura porosa e de dispositivos de facilitação da infiltração.
- Reservatórios de detenção e retenção: diminui o impacto hidrológico, armazena os volumes escoados e redistribui as vazões por um tempo maior.

Estas medidas se bem aplicadas podem impedir a ocorrência de alagamentos e evitar danos sociais e econômicos para toda a população, tornando os municípios brasileiros cada vez mais resilientes.

Considerações finais

É possível notar um aumento na magnitude dos extremos pluviométricos e na frequência de ocorrência. Este aumento, ainda que não significativo estatisticamente é crescente para os dois cenários futuros apresentados. Isto se torna preocupante, pois nos últimos anos as cidades já



têm vivenciado eventos de extremos pluviométricos, que colocaram em risco a população e sua mobilidade. Ao analisar um aumento de eventos extremos sugere-se que as autoridades competentes devem investir em medidas de mitigação e em um melhor planejamento, a fim de que as cidades estejam adaptadas e mais resilientes a estes eventos.

4. Referências

- ALMAGRO, A.; OLIVEIRA, P. T. **Avaliação da precipitação simulada pelos modelos ETA/HADGEM2-ES e ETA/MIROC5 para o Brasil**. 71ª Reunião Anual da SBPC, Campo Grande / MS. p. 4, 2019
- ALVES, T.L., AZEVEDO, P.V., FARIAS, A.A. **Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado do Paraíba**. Revista brasileira de geografia física, v.08, n.06, 2015.
- CHOU, S.C., LYRA, A., MOURÃO, C., DEREZYNSKI, C., PILOTTO, I., GOMES, J., BUSTAMANTE, J., TAVARES, P., SILVA, A., RODRIGUES, D., CAMPOS, D., CHAGAS, D., SUEIRO, G., SIQUEIRA, G., MARENGO, J. **Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios**. 2014. Am. J. Clim. Change 03, 512–527. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>.
- IMPULCETTO, B. **Controle de cheias através de medidas estruturais**. Leme, 2017.
- Instituto Nacional de Geografia e Estatística – IBGE. Censo demográfico 2010. **Características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Rio de Janeiro. 2011.
- PETERSON, T.C.C. **Climate Change Indices**. WMO Bulletin, 54 (2), 83-86. 2005. Disponível em: <<http://etccdi.pacificclimate.org/papers/WMO.Bulletin.April.2005.indices.pdf>> Acesso em 07-03-2020.
- SAITO, S. M.; DIAS, M. C. DE A.; ALVALÁ, R. C. DOS S.; STENNER, C.; FRANCO, C.; RIBEIRO, J. V. M.; SOUZA, P. A. DE; SANTANA, R. A. S. DE M. **População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil**. Sociedade & Natureza, v. 31, 2019.
- SALVIANO, Marcos Figueiredo; GROppo, Juliano Daniel; PELLEGRINO, Giampaolo Queiroz. **Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.
- SANTOS, C. A. et al. **Análise estatística da não estacionariedade de séries temporais de vazão máxima anual diária na bacia hidrográfica do rio pardo**. Holos, v. 7, p. 179-193, 2016.
- SILVA, R. O. B. DA; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. de; **Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco**. Eng. Sanit. Ambient., v.22 n.3, p.579-589, 2017.
- TUCCI, C.E.M. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil**. in REGA: Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 1, n 1, p. 59-73. 2004.
- UNISDR, **Como Construir Cidades Mais Resilientes. Um Guia Para Gestores Públicos Locais (2005–2015)**. Geneva, November, 2012.