



AVALIAÇÃO DA ESTIAGEM NO PERÍODO CHUVOSO DE 2013/2014 NA REGIÃO DO SISTEMA CANTAREIRAS

Paulo Takashi Nakayama ⁽¹⁾

Engenheiro civil sênior da SP Águas, com mestrado e doutorado em Hidrologia e Recursos Hídricos pela EPUSP. Foi professor de Hidrologia na FESP por 25 anos e tem vários artigos publicados, principalmente na área de Recursos Hídricos, nos anais de simpósios nacionais e internacionais.

José Mendes de Lima Neto ⁽²⁾

Graduação em engenharia Civil pela FESP, mestrado em recursos hídricos, energéticos e ambientais pela UNICAMP com pesquisa em drenagem urbana e especialização em fundações e geotecnia em obras imobiliárias pelo IMT (Instituto Mauá de Tecnologia).

Endereço ⁽¹⁾: Edifício Cidade II, Rua Boa Vista, 175, Bloco A, 2º andar, Centro, São Paulo/SP - CEP 01014-001 – Tel: +55 (11) 3291-3153 – E-mail: paulo.nakayama@spaguas.sp.gov.br

RESUMO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) vem apresentando sérios problemas de falta de água para o abastecimento dos seus 20 milhões de habitantes. Tais fatos ficam ainda mais evidentes nos períodos de estiagem, quando a falta de chuva é crítica. No entanto, a escassez de água não se restringe somente ao semestre seco (abril a setembro): no período chuvoso do ano hidrológico de 2014 (out/2013 a mar/2014) houve estiagem excepcional no Estado de São Paulo, especialmente na região do Sistema Cantareira. Em decorrência disso, os reservatórios que compõem este sistema chegaram à situação crítica, nunca atingida desde a sua implantação na década de 1970. Este artigo tem como objetivo avaliar a severidade desta estiagem, efetuando a estimativa do seu período de retorno com base nos dados pluviométricos registrados nas estações localizadas nas proximidades do Sistema Cantareira.

PALAVRAS-CHAVE: Estiagem, período de retorno, Sistema Cantareira.

INTRODUÇÃO

Há tempos, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) vem apresentando sérios problemas de falta de água para o abastecimento dos seus 20 milhões de habitantes. Um estudo da Secretaria de Saneamento do Estado de São Paulo, realizado em 2011, já confirmava os níveis críticos, citando como principais causas a não utilização de rios com grande potencial (como o rio Tietê) e o aumento de consumo decorrente do crescimento urbano.

O modelo brasileiro de geração de energia também contribui para a falta de água, pois na sua maioria, a energia é obtida através de usinas hidrelétricas, que, apesar de não poluírem a água, diminuem a quantidade disponível para consumo.

Tais fatos ficam ainda mais evidentes nos períodos de estiagem, quando a falta de chuva é crítica. No entanto, a escassez de água não se restringe somente ao semestre seco (abril a setembro): no período chuvoso do ano hidrológico de 2014 (out/2013 a mar/2014) houve estiagem excepcional no Estado de São Paulo, especialmente na região do Sistema Cantareira. Em decorrência disso, os reservatórios que compõem este sistema chegaram à situação crítica, nunca atingida desde a sua implantação na década de 1970, levando à utilização das águas do volume morto.

A seca em São Paulo no período chuvoso 2013/2014 foi uma das mais graves já registradas nas estações pluviométricas operadas pelo DAEE. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a severidade desta estiagem, efetuando a estimativa do seu período de retorno com base nos dados pluviométricos registrados nas estações localizadas nas proximidades do Sistema Cantareira.

CONCEITOS DE PERÍODO DE RETORNO E PROBABILIDADE

O *período de retorno* ou *tempo de recorrência* (T) é o tempo médio em anos que um evento é igualado ou superado pelo menos uma vez (maior para máxima e menor para mínima). Existe a seguinte relação entre o período de retorno e probabilidade de ocorrência (P):

$$P = \frac{1}{T} \quad \text{Equação (1)}$$

Ex: Se uma cheia é igualada ou excedida em média a cada 50 anos terá um período de retorno $T = 50$ anos. Em outras palavras, diz-se que esta cheia tem 2% de probabilidade de ser igualada ou superada em qualquer ano (para menor no caso de mínima).

MÉTODOS UTILIZADOS

Para o cálculo do período de retorno foram utilizados três métodos consagrados em Hidrologia para o estudo das vazões (chuvas) mínimas: Distribuição Log-normal, Distribuição de Weibull (extremo Tipo III) e Weibull amostral. Apresenta-se, a seguir, uma descrição sucinta dos três métodos:

DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL

Diz-se que uma amostra obedece à distribuição Log-normal quando os logaritmos de seus valores obedecem à distribuição normal.

A distribuição Normal ou Curva de Gauss é uma das mais utilizadas pelos estatísticos, principalmente pela facilidade de seu emprego. A Função Densidade de Probabilidade (FDP) teórica é dada por:

$$f_x(X) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-\bar{X}}{S}\right)^2} \quad \text{Equação (2)}$$

onde \bar{X} é a média, S é o desvio padrão, $\pi = 3,14159\dots$ e $e = 2,71828$.

Nesta distribuição, o cálculo estatístico é aplicado sobre os logaritmos das chuvas, em vez de manusear diretamente com os valores de chuvas.

Uma forma muito simples de aplicar a Distribuição Log-normal é através da fórmula geral proposta por Ven Te Chow, que expressa a variável de interesse (chuva) em função da média, do desvio padrão e do fator de frequência K_T , conforme mostrado abaixo:

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S_X \quad \text{Equação (3)}$$

onde X_T é o logaritmo da chuva associado ao período de retorno T , \bar{X} é a média dos logaritmos das chuvas, S_X é o desvio padrão dos logaritmos e K_T é o fator de frequência, que é a própria variável reduzida z .

O valor da chuva associada ao período de retorno T é obtido calculando-se o antilogaritmo de X_T .

DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL (EXTREMO TIPO III)

Uma variável aleatória x segue a distribuição de Weibull se sua função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}} \quad \text{Equação (4)}$$

onde α é o fator de forma e β é o fator de escala.

A função distribuição cumulativa de probabilidade, derivada da Equação (4), é dada por:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$$

Equação (5)

A média e a variância de uma variável aleatória seguindo a distribuição de Weibull podem ser expressas como:

$$E(x) = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

Equação (6)

$$Var(x) = \beta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right)^2 \right]$$

Equação (7)

Os valores de α e β podem ser determinados com o aplicativo “solver” da Excel.

WEIBULL AMOSTRAL

O método de Weibull amostral consiste inicialmente em dispor a série de chuva em ordem crescente (no caso de mínima). A probabilidade (P) de uma dessas chuvas serem menores ou igualadas pode ser determinada pela seguinte fórmula:

$$P = \frac{m}{n+1}$$

Equação (8)

onde n é o tamanho da série (nº de anos) e m é a classificação das chuvas dentro dessa série (para a menor chuva da série, m vale 1 e para a maior, m vale n).

Conforme a Equação 1, o período de retorno é o inverso da probabilidade. Portanto, pode-se determinar o período de retorno pela equação:

$$T = \frac{n+1}{m}$$

Equação (9)

DADOS UTILIZADOS

As análises de falta de chuva dependem dos pontos meteorológicos escolhidos para o cálculo. De acordo com o local onde foi contabilizada a quantidade de chuva, tem-se um resultado maior ou menor para indicar quão severa foi a seca em questão. No presente caso, calculou-se o período de retorno da chuva acumulada entre out/2013 e mar/2014, com base na série histórica de chuva mensal registrada nas estações pluviométricas relacionadas na Tabela 1. A localização dessas estações é mostrada na Figura 1.

Tabela 1 – Estações pluviométricas consideradas no estudo.

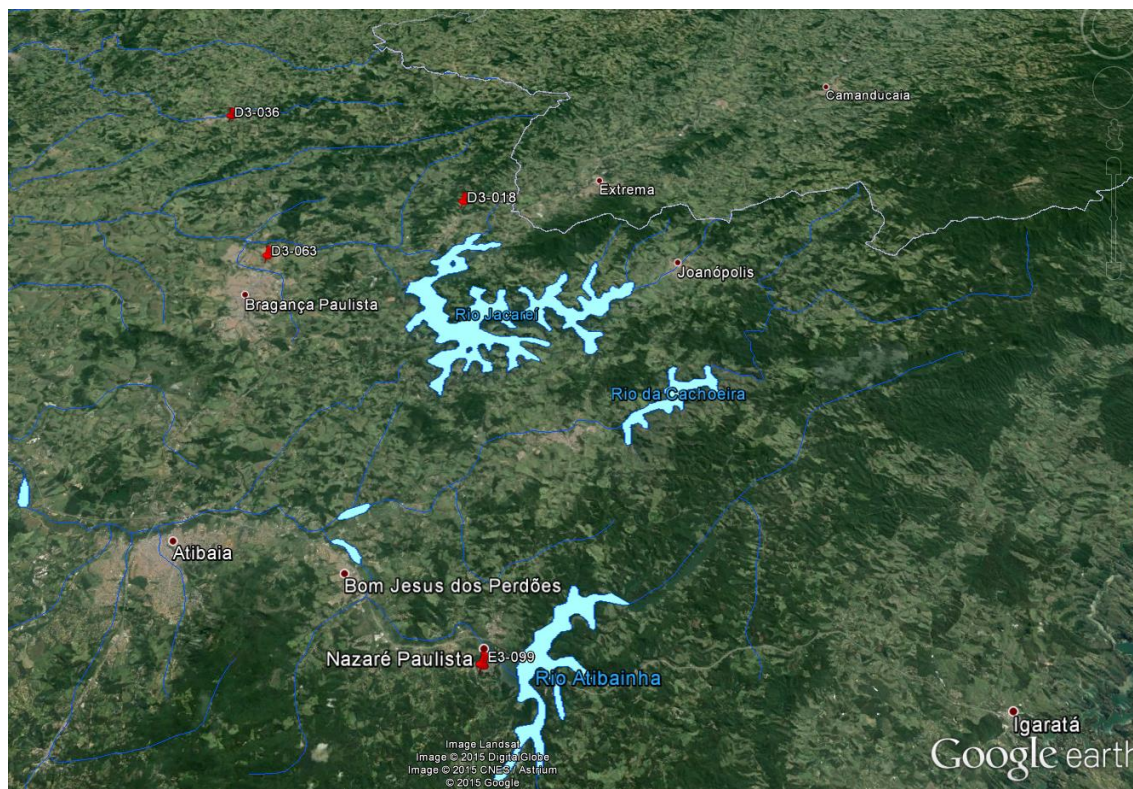
Prefixo	Nome da estação	Município
D3-018	Usina Flores	Vargem
D3-036	Pinhalzinho	Bragança Paulista
D3-063	Tanque do Moinho	Bragança Paulista
E3-099	Nazaré Paulista	Nazaré Paulista
	IAC – Campinas (*)	Campinas

(*) – Não aparece no mapa.

Fonte: Agência de Águas do Estado de São Paulo (2025).



Figura 1 – Localização das estações pluviométricas consideradas no estudo.



Fonte: elaborado pelo autor a partir da Tabela 1

RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 2 apresenta, para cada estação pluviométrica, a média da série histórica das chuvas registradas no período chuvoso outubro/março e o total da chuva precipitada entre out/2013 e mar/2014 e os correspondentes períodos de retorno, resultantes da aplicação dos três métodos. As curvas das distribuições Log-normal e Weibull ajustadas para cada estação pluviométrica estão mostradas nas figuras 2 a 6.

Tabela 2 - Períodos de retorno da chuva registrada entre out/2013 e mar/2014 em cada estação pluviométrica.

Prefixo	Nome da estação	Chuva precipitada outubro/março (mm)		Período de retorno (anos)		
		Média	2013/2014	Weibull amostral	Distrib. de Weibull	Distrib. Log-normal
D3-018	Usina Flores	1.142	398	77	251	> 10.000
D3-036	Pinhalzinho	1.230	758	65	45	1.335
D3-063	Tanque do Moinho	1.110	454	43	304	> 10.000
E3-099	Nazaré Paulista	1.053	677	69	67	638
	IAC - Campinas	1.084	559	125	68	1.118

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2 – As curvas das distribuições Log-normal e Weibull – Posto D3-018.

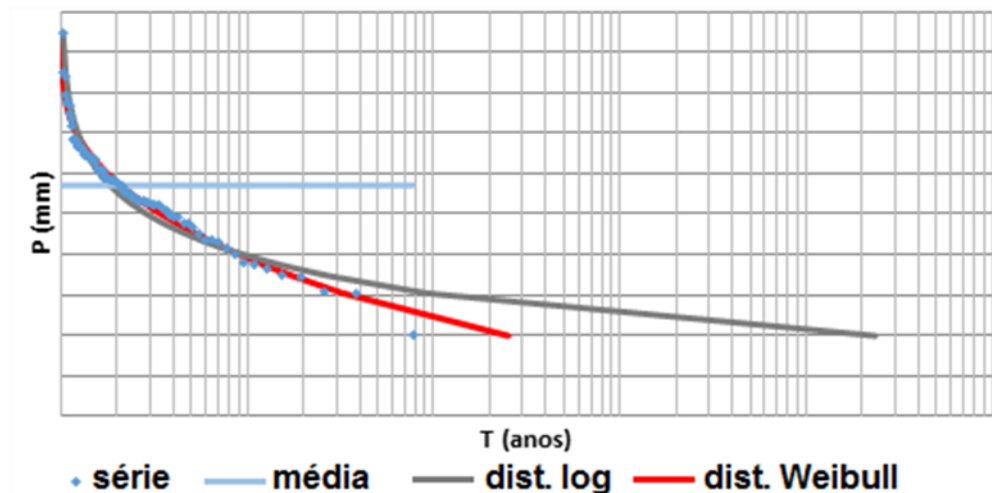


Figura 3 – As curvas das distribuições Log-normal e Weibull – Posto D3-036.

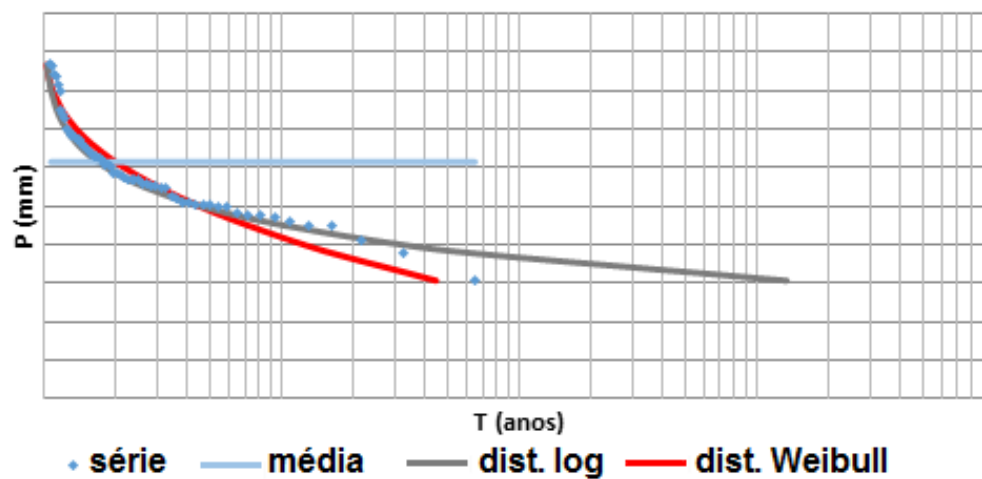


Figura 4 – As curvas das distribuições Log-normal e Weibull – Posto D3-063.

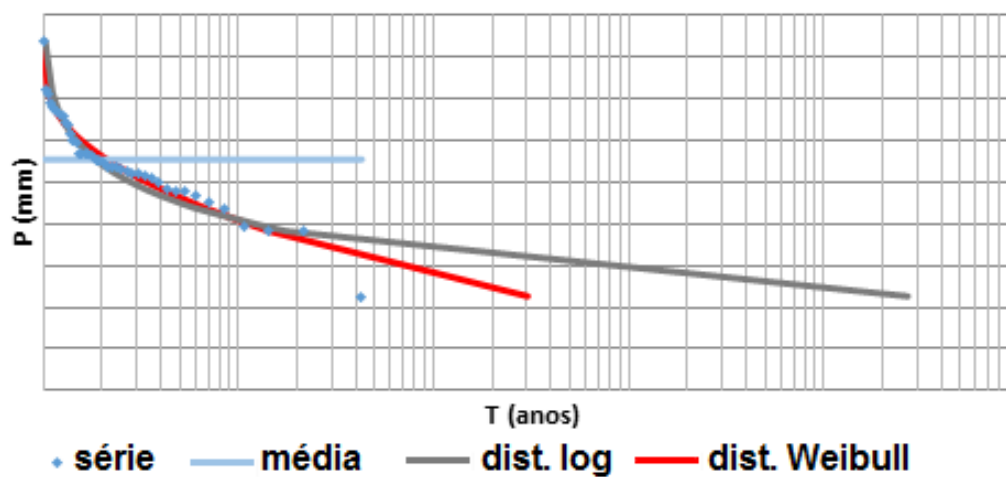


Figura 5 – As curvas das distribuições Log-normal e Weibull – Posto D3-099.

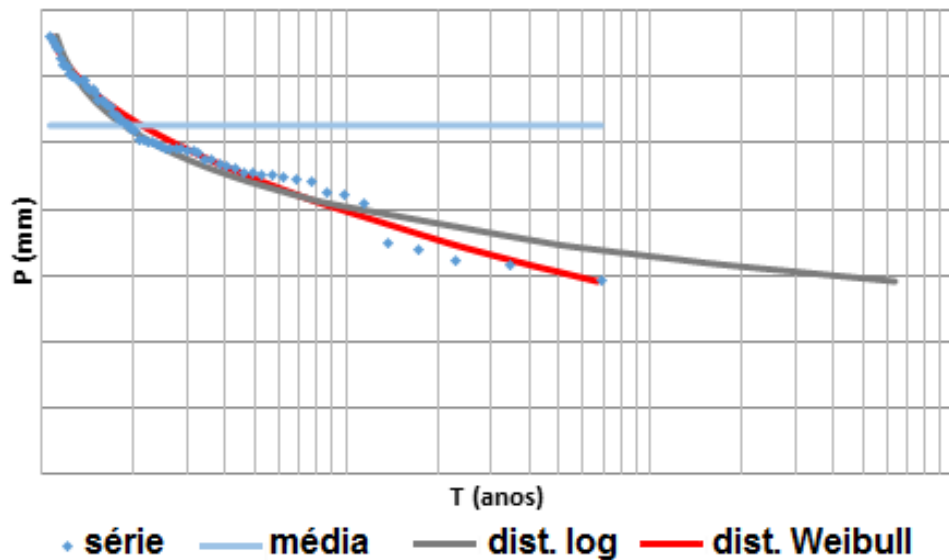
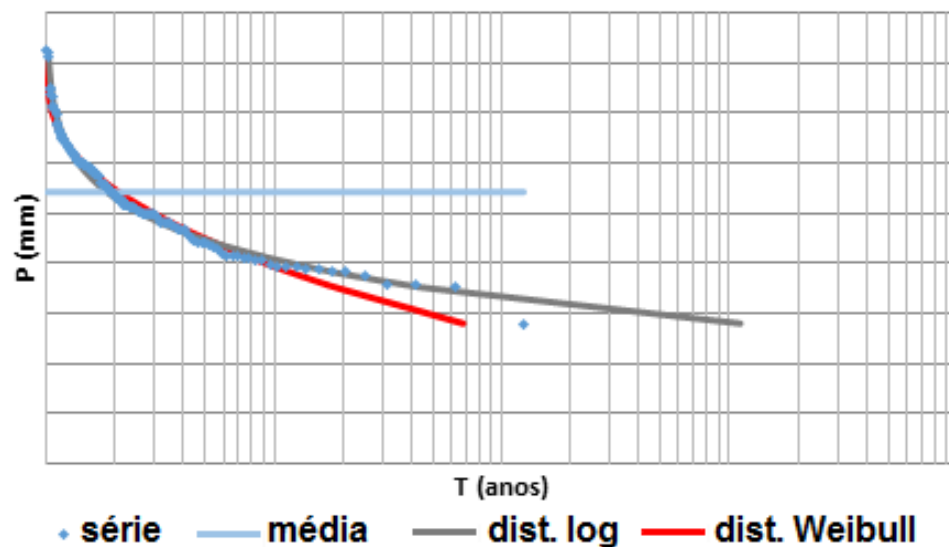


Figura 6 – As curvas das distribuições Log-normal e Weibull – Posto IAC.



Fonte: As figura 2 a 6 foram elaboradas pelo autor.

CONCLUSÃO

Como o evento de 2013/2014 foi a pior estiagem, no caso de Weibull amostral, o período de retorno corresponde ao número de anos da série histórica. Quanto à distribuição de probabilidade, houve grande discrepância entre os resultados obtidos pelas duas distribuições. Pela análise visual das curvas apresentadas nas figuras 2 a 6, pode-se observar que a distribuição Log-normal tende a extrapolar o período de retorno de forma exagerada, pelo fato de atribuir peso menor para as vazões menores no ajuste. Inversamente, a distribuição de Weibull se ajusta melhor para as vazões menores, razão pela qual resultou período de retorno bem menor em relação ao fornecido pela Distribuição Log-normal.

Mesmo considerando somente a Distribuição de Weibull (extremo tipo III) e Weibull amostral, o período de retorno estimado é superior a 100 anos. Isto comprova que a estiagem ocorrida no período de outubro/2013 a

março/2014 foi bastante crítica, com o período de retorno elevado (em outras palavras, baixa probabilidade de ocorrência).

Cabe ressaltar que os valores exagerados (principalmente no caso de distribuição Log-normal) são resultados de estudos estatísticos, que estão associados a certa probabilidade de ocorrência. O objetivo deste artigo é mostrar a severidade da estiagem ocorrida entre outubro de 2013 e março de 2014, que deveria ser chuvoso. Portanto, não se deve prender aos números. Contudo, pode-se afirmar, com certeza, que esta estiagem foi atípica, pelo fato de ter ocorrido no período historicamente chuvoso, e que foi a pior ocorrida nos últimos 85 anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA DE ÁGUAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). BANCO DE DADOS HIDROLÓGICOS. 2025. Disponível em: <https://www.spaguas.sp.gov.br/site/hidrologia/>. Acesso em: 26 maio 2025.
2. CTH/DAEE (2003). Relatório de Avaliação das Precipitações Pluviométricas ocorridas na Cidade de Campinas em 17 de fevereiro de 2003 (2003). Relatório técnico, Divisão de Hidrologia, Centro Tecnológico de Hidráulica – CTH/DAEE, abril/2003.
3. HAAN, C.H. (1977). Statistical methods in hydrology. IowaStateUniversity.
4. LINSLEY, Jr.; RAY K.; KOHLER, M. A. e PAULHUS, J.L.H (1975). Hydrology for Engineers. McGraw-Hill, Inc.
5. RIGHETTO, A. M. (1993). Hidrologia e recursos hídricos. São Carlos: EESC/USP.
6. TUCCI, C.E.M. (organizador) (1993). Hidrologia - Ciência e Aplicação. ABRH.