



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ENGENHARIAS 2020

TÍTULO: ESTUDO DA NÃO-ESTACIONARIEDADE DE DADOS DE CHUVAS E SEUS EFEITOS NA CONSTRUÇÃO DE CURVAS IDF: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE CUNHA/SP

Lucas Augusto Lenzi¹

Pedro Henrique da Cunha²

Heitor Berger Campos³

Universidade São Francisco

lucaslenzi.eng@gmail.com

pedrocunha.engcivil@gmail.com

¹Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

² Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

³Professor Orientador, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo. Na hidrologia, dentro do contexto que permeia o conhecimento sobre as precipitações e sua relação com o dimensionamento de estruturas de drenagem urbana e, sua eficácia em satisfazer as condições a que foi inicialmente designado, o estudo das séries históricas e suas características de estacionariedade são fundamentais para o pleno desenvolvimento de métodos que venham a prevenir eventos que gerem danos significativos na vida da população. Este trabalho busca analisar a série histórica do município de Cunha, no estado de São Paulo e o desenvolvimento de relações IDF específicas para a cidade assim como comparar os valores obtidos com os valores da equação de chuva do município de Lorena, que atualmente é a equação de chuva existente mais próxima de Cunha.

Palavras-chave: hidrologia, recursos hídricos, precipitação, drenagem.

Abstract. In hydrology, within the context that permeates knowledge about rainfall and its relationship with the sizing of urban drainage structures and, its effectiveness in satisfying the conditions to which it was initially assigned, the study of historical series and their stationary characteristics are fundamental for the full development of methods that will prevent events that generate significant damage in the life of the population. This paper seeks to analyze the historical series of the municipality of Cunha, in the state of São Paulo and the development of specific IDF relationships for the city as well as to compare the values

obtained with the values of the rain equation of the municipality of Lorena, which is currently the equation rainwater closest to Cunha.

Keywords: hydrology, water resources, precipitation, drainage.

Introdução

Desde o princípio dos tempos o ser humano busca compreender como a natureza interfere no cotidiano das civilizações, um dos fenômenos amplamente observado e por consequência objeto dos mais variados tipos de estudos é a precipitação atmosférica.

As chuvas sempre foram retratadas de duas maneiras distintas; em diversas ocasiões elas representam um presságio de prosperidade e abundância, trazendo o aumento da produção de alimentos e da qualidade de vida da população, entretanto em várias ocasiões essa mesma precipitação pode trazer consequências gravíssimas, muitas vezes resultando em na perda de vidas que poderiam ser poupadas caso uma adequada postura e qualidade na execução de meios e estruturas de drenagem fosse observada.

Com o avanço desordenado da habitação em áreas marginais dos cursos d'água e do consequente processo de impermeabilização do solo, ocorreu um aumento significativo no número de inundações urbanas após ciclos de chuvas intensas, devido a incapacidade dos canais de transportar o volume de água que passaram a receber, que antes eram minimizados pelo efeito de infiltração disperso pela área das bacias de contribuição. Desta forma todos que vivem nas regiões lindeiras das bacias naturalmente destinadas a inundação, chamadas áreas de várzeas, acabam sendo diretamente afetados.

Nesse interim vários estudos sobre as precipitações começaram a ser realizados, com o intuito de compreender o comportamento temporal dos regimes hidrológicos, bem como a frequência esperada com que determinados eventos críticos podem ocorrer. Tais estudos visam otimizar os dimensionamentos de micro e macrodrenagem.

Com o aprofundamento nos estudos do tema, fica evidente que em uma série histórica de dados hidrológicos observa-se uma variedade de informações dentro do ciclo analisado. Tal variedade evidencia que podem ser observados períodos alternados com uma determinada característica em comum, sejam elas de um aumento constante e significativo no volume das precipitações ou períodos de longa estiagem e baixos volumes de chuvas.

Todo este contexto faz com que seja observada a importância da forma que são obtidos os dados para o dimensionamento das estruturas de drenagem e suas aplicações nos mais variados tipos de projetos.

Este estudo tem sua fundamentação na análise da série histórica designada ao município de Cunha no estado de São Paulo, com o auxílio dos dados obtidos no posto pluviométrico do Departamento de Águas e Energia Elétrica- DAEE, E1-007 e com as informações obtidas determinar suas relações intensidade-duração-frequência. O objetivo principal desta arguição é verificar se a equação IDF utilizada no município, que atualmente pertence ao município vizinho de Lorena, está de acordo com o que se deve esperar, ou se fazendo o uso da mesma podemos esperar um subdimensionamento ou superdimensionamento das estruturas hidráulicas.

Este projeto busca evidenciar a importância da análise dos ciclos não-estacionários existentes dentro das séries históricas de dados pluviométricos para a eficiência dos projetos de estruturas de drenagem.

Material e Métodos

Séries históricas e o estudo da não estacionariedade

As variações temporais e/ou espaciais dos fenômenos do ciclo da água podem ser descritas pelas variáveis hidrológicas. São exemplos dessas variáveis o número de dias consecutivos em um ano sem precipitações em determinada região, ou mesmo a intensidade máxima anual com chuvas de até 30 minutos de duração.

As flutuações das variáveis hidrológicas podem ser quantificadas, ou categorizadas, por meio de observações e medições, as quais em geral, são executadas de modo sistemático e de acordo com os padrões nacionais e internacionais. (NAGHETTINI; PINTO, 2007)

As variáveis hidrológicas e hidrometeorológicas tem sua variabilidade registrada por meio das chamadas séries temporais, estas reúnem as observações ou medições da variável em questão sendo organizadas no modo sequencial de sua ocorrência no tempo e espaço. (NAGUETTINI; PINTO, 2007). Devido às limitações existentes nos processos de medição e/ou observações, as diferenças entre as análises que embora apresentem variações instantâneas ou contínuas ao longo do tempo e do espaço, possuem seus registros definidos e separados por intervalos de tempo e/ou de distância. De um modo geral, os intervalos de tempo, ou mesmo de distância, entre os registros de uma série temporal acabam por ser equidistantes, contudo, podem existir séries temporais com registros que foram obtidos em intervalos irregulares.

As séries hidrológicas podem apresentar uma tendência, ou um “salto”, até mesmo uma periodicidade ao longo do tempo como resultado das alterações induzidas pela ação do homem, das mudanças naturais do clima. Desta forma, as séries hidrológicas podem ser descritas como não estacionárias ao longo do tempo. (NAGHETTINI; PINTO, 2007)

As séries Hidrológicas podem apresentar uma tendência, ou periodicidade no comportamento das chuvas, sendo imprescindíveis para realização de dimensionamentos e planejamentos de uma rede pluvial de determinada região. A detecção de um padrão de mudança ou estacionariedade de séries históricas são extremamente importantes devido o estudo dos impactos das variações climáticas nos fenômenos hidrológicos globais, sendo assim as respostas para fenômenos e variados problemas hidrológicos poderão ser respondidos com maior precisão e principalmente previstos e decifrados de acordo com seus comportamentos periódicos. Segundo Juliani et al (2019), uma série temporal de uma variável hidrológica, como as precipitações, reúne as observações e medidas desta variável, organizadas de forma sequencial em sua ocorrência dentro do tempo analisado. Estas séries apresentam variações contínuas, tendo seus registros separados por intervalos equidistantes de tempo. A noção da estacionariedade vem de uma série cujas propriedades estatísticas não se alteram ao longo do tempo. Já as séries que apresentam determinadas tendências ou saltos, provenientes de variações naturais do clima, ou até mesmo aquelas alterações que foram induzidas pela ação do homem com relação ao meio ambiente são chamadas de não estacionárias.

Comportamentos não-estacionários de uma série histórica podem estar conectados aos efeitos de variações climáticas naturais, fazendo que a detecção de um padrão de mudança ou da estacionariedade em uma série hidrológica seja relevante por se mostrar uma ferramenta relevante no estudo do impacto que as variações climáticas causam nos fenômenos hidrológicos globais. (JULIANI et al., 2019)

Efeito José e Noé

Segundo Zuffo¹ (2015, apud MANDELBROT; WALLIS, 1968) em artigo publicado por Benoit B. Mandelbrot e James R. Wallis, discorreram sobre dados fluviométricos históricos de alguns dos grandes rios do mundo, em especial, do Nilo, no Egito, com este estudo foram capazes de identificar padrões recorrentes, os quais, correlacionando ao comportamento de personas bíblicas do livro de Gênesis, batizam como efeito José e efeito Noé.

Ainda segundo Zuffo (2015 apud MANDELBROT; WALLIS, 1968) destaca-se que os autores dissertam sobre como as tendências tendem a persistir, portanto, é provável que um lugar castigado por secas periódicas continue a sofrer com elas; já aqueles locais em que as chuvas são abundantes, existe a possibilidade de que estas chuvas se perpetuem. Desta forma, as coisas tendem a ficar da mesma maneira que tem sido no decorrer dos últimos tempos. Definem ainda que “um período longo não usual de precipitações (altas ou baixas) pode ser extremamente longo”. Com base em tais afirmações, podemos interpretar para o sentido de “longo” como períodos entre 30 e 50 anos. Dessa forma, já que usualmente os modelos de hidrologia estatística não consideram um ou outro efeito, e acabam por precisar serem substituídos, já que nos testes estatísticos de tendências misturam ambos os períodos, José e Noé, fazendo com que a informação dos períodos isolados se perca.

De acordo com o renomado escritor científico James Gleick, “os efeitos Noé e José empurram para direções diferentes, mas se eles se somam levam a isto: as tendências da natureza são reais, mas elas podem desaparecer tão rapidamente como apareceram”.

Segundo Zuffo (2015), ambos efeitos acabam por serem “quase ciclos” ou podem ocorrer em séries de tempo cíclicas, que são semelhantes, mas não são iguais, tendo em vista que eles não ocorrem em um período previsível e regular.

Importância para o dimensionamento de estruturas de drenagem

A dificuldade de obtermos dados completos para o desenvolvimento de propostas de drenagem acaba por reduzir a eficiência das estruturas de drenagem.

O dimensionamento de estruturas voltadas para os mecanismos de drenagem urbana voltados para o recolhimento de águas pluviais enfrenta diversos problemas no levante de informações obtidas. No Brasil a rede de coleta de dados hidrológicos ainda não atingiu um coeficiente considerável, fazendo com que muitas cidades brasileiras não possuam séries próprias para o desenvolvimento de equações e modelos probabilísticos de análise de quantitativa dos índices pluviométricos, com isso podemos observar em sua grande maioria problemas básicos na tratativa do dimensionamento de estruturas de drenagem.

O estudo das séries históricas possibilita em sua grande maioria, o desenvolvimento de hipóteses mais próximas da realidade da população amostrada. O estudo da não estacionariedade faz com que possamos trabalhar com métodos específicos para maximizar os modelos construtivos para o fim a qual desejamos aplicar a estrutura a ser dimensionada. Como exemplo podemos citar uma estrutura de microdrenagem com tempo de retorno e vida útil de projeto estimado em poucos anos, se comparado com grandes projetos de drenagem, onde o estudo da série hidrológica, considerando os efeitos cíclicos do efeito Noé e José, podemos desta forma otimizar o dimensionamento da estrutura, fazendo com que ele seja dimensionado para suportar o volume de vazão, se considerarmos um período de grandes precipitações, e até mesmo otimizar os materiais que serão utilizados tendo em vista que poderemos criar estruturas mais esbeltas para realizar o trabalho proposto em períodos de estiagem da série histórica.

Com isto fica evidente a necessidade de desenvolver modelos de séries hidrológicas menores, analisando cada série de maneira independente e com olhar minucioso nas variáveis

¹ ZUFFO, A. C. O Sol, o motor das variabilidades climáticas. Revista DAE, Ed. 198, 2015

de precipitação em cada série completa, como ilustrado pela figura 1, que representa a série hidrológica do posto pluviométrico IAC-Campinas, que compreende os níveis de precipitação total anual desde 1910 até 2014, apresentando suas tendências no decorrer dos anos.

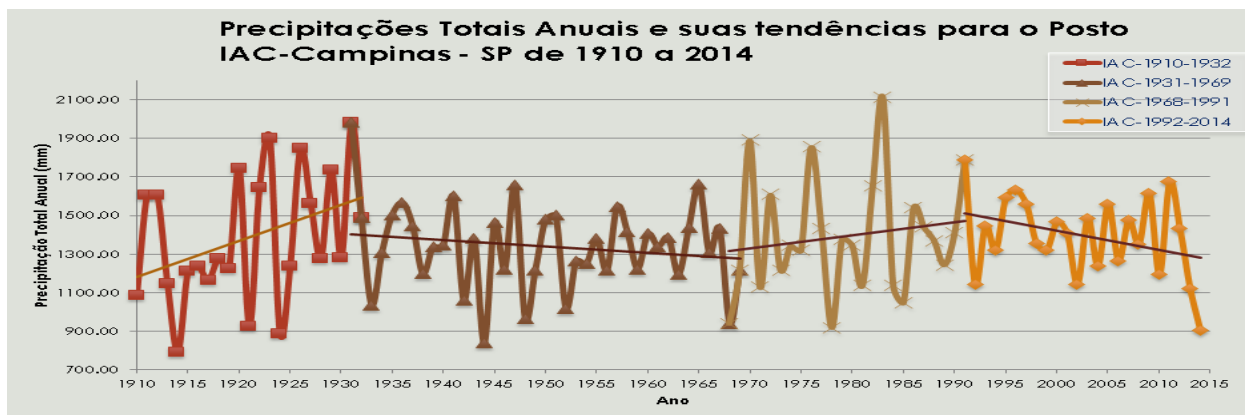


Figura 1-- Precipitações totais anuais e tendências para o Posto IAC- Campinas entre 1910 e 2014 (ZUFFO; RESIO, 2016)²

Relações Intensidade-Duração-Frequência

Segundo Bertoni e Tucci (2001), a precipitação pode ser definida como toda água que se origina em meios atmosféricos que por qualquer razão venham a atingir a superfície terrestre.

Tucci (2001) descreve a importância do deslocamento da água na superfície como sendo uma das parcelas mais importantes do ciclo hidrológico. Segundo o autor:

O escoamento é regido por leis físicas e representado quantitativamente por variáveis como vazão, profundidade e velocidade. O comportamento do escoamento é descrito por equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento. (TUCCI, 2001. p. 373)

Com base nestes dados podemos iniciar a composição dos chamados hidrogramas, nas palavras de Tucci:

O hidrograma é a denominação dada ao gráfico que relaciona a vazão no tempo. A distribuição da vazão no tempo é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica.

O hidrograma atinge seu máximo, de acordo com a distribuição da precipitação.

Segundo Collischonn e Dornelles (2013) o escoamento em uma bacia é normalmente estudado em duas etapas, sendo elas a geração do escoamento e a propagação de escoamento

Durante as chuvas intensas, a maior parte da vazão que passa em um rio por exemplo, provem da própria água da chuva, contudo esta água não consegue penetrar no solo e esco

² ZUFFO, A.C.; RESIO, M. S. **Precipitações totais anuais e suas tendências para o Posto IAC-Campinas- SP entre 1910 e 2014**. 2016, il. color.

imediatamente, chegando aos cursos d'água e como consequência aumentam a vazão do mesmo. É dentro deste escopo que são formadas as cheias ou até mesmo as enchentes.

Com isto fica evidente a importância da precipitação no contexto da análise de vazão e do consequente escoamento superficial para estabelecer parâmetros de construção das equações de chuva.

Segundo Wilken (1978) a utilização de dados de precipitações pluviiais para finalidades hidrológicas, requer uma correlação analítica entre a intensidade, a duração e a frequência com que ocorrem as chuvas intensas.

Segundo o Wilken (1978, itálico do autor):

Para estabelecer a citada relação analítica, denominada *equação de chuvas*, tem-se que escolher, de início, as frequências a serem estudadas em número suficiente e compatível com os dados de observação que se tem em mãos. Para cada frequência, deve ser estudada uma relação analítica intensidade duração. (WILKEN,1978. p.50)

Distribuição de Gumbel

Dentro das análises de distribuições de probabilidades, uma categoria extremamente importante provém da teoria clássica de valores extremos, iniciada com os trabalhos pioneiros do matemático Maurice Fréchet (1878-1973) e consolidada através de Emil Gumbel (1891-1966). Atualmente, esta teoria é um ramo importante e ativo da estatística matemática, que apresenta desdobramentos práticos e de grande relevância para a economia e a engenharia. (NAGHETTINI, PINTO, 2007, p.152)

A distribuição de Gumbel auxilia a estimar a probabilidade de que uma determinada precipitação ou vazão venha a ser igualada ou excedida em um ano qualquer.

Campos (2019) afirma que a distribuição de Gumbel pode ser aplicada aos totais anuais e, principalmente aos registros de máxima precipitação diária anual. Também afirma que Gumbel demonstrou que “P” é a probabilidade da máxima intensidade média de uma precipitação, de dada duração ser maior ou igual a “x”:

$$P = 1 - e^{-e^{-b}}$$

Em que “b” é a chamada variável reduzida e é definida como:

$$b = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{TR}\right)\right)$$

Segundo Campos (2019) a estimativa de valores pelo Método de Gumbel é feita por meio da relação:

$$b = \frac{(X - \mu + 0,45 \cdot \sigma)}{0,7797 \cdot \sigma}$$
$$X = (b \cdot 0,7797 \cdot \sigma) + (\mu - 0,45 \cdot \sigma)$$

Em que “X” é o valor da precipitação ou vazão buscada para o período de retorno com o qual se calculou a variável reduzida “b”.

Fragmentação Temporal das Precipitações

Segundo Campos (2019) a distribuição de extremos, mostra-se como um dos métodos mais indicados na caracterização da distribuição estatística das chuvas máximas.

Contudo, deve se saber que cada série é originada de um tipo de medidor diferente, como os pluviógrafos que podem registrar as chuvas de uma forma discretizada, ou os pluviômetros que medem o total acumulado em 1 dia.

Com base nos dados obtidos por pluviógrafos em cada precipitação podemos determinar a frequência de cada chuva que possui duração e intensidade conhecida, o tratamento destes dados permite a construção de equações de chuva e de curvas IDF (intensidade- duração – frequência). (CAMPOS, 2019)

Existem diversas configurações para equações de chuva, contudo, se faz necessária a análise criteriosa se os dados obtidos por meio dela condizem com a realidade da região estudada.

Sabe-se que o funcionamento dos pluviômetros ocorre com o registro da chuva acumulada entre duas medições realizadas em dois também sequenciais, desta forma registram o que conhecido como chuva diária ou chuva de 1 dia. (CAMPOS, 2019)

Weiss (1964), determinou a relação entre chuvas de 1 dia e chuvas com duração contínua de 24 horas, conforme as equações a seguir:

$$f = \frac{PP24h}{PP1dia} = 1,143$$

$$PP24h = f . PP1dia$$

$$PP24h = 1,143 . PP1dia$$

Em 1986 a CETESB, fazendo uso de dados de todo o país obteve relações entre chuvas de menor duração, que podem ser observados na figura 2.

Relação entre alturas pluviométricas	CETESB (DNOS)
05min/30min	0.34
10min/30min	0.54
15min/30min	0.70
20min/30min	0.81
25min/30min	0.91
30min/01h	0.74
01h/24h	0.42
06h/24h	0.72
08h/24h	0.78
10h/24h	0.82
12h/24h	0.85

Fonte: CETESB (1986)

Figura 2-Coeficientes de fragmentação de chuvas da CETESB

Contudo podemos observar que ao utilizar dados de todo o país, houve a mistura de dados provenientes de regiões que destoam completamente em seus regimes climáticos. Com isso o mais correto seria realizar esta análise de forma regionalizada. (CAMPOS, 2019)

Discussão e Resultados

O posto pluviométrico Cunha, prefixo E1-007 (DAEE-SP), localizado no município que traz o mesmo nome, encontra-se no alto Paraíba, entre as serras da Quebra-Cangalha, Bocaina e da Serra do Mar entre as coordenadas, Latitude 23°05'00'' e Longitude 44°58'00' e engloba os rios Manso e Jacuí.

A localização do posto de Cunha pode ser observada através da Figura 3.



Figura 3-Localização do posto pluviométrico de Cunha (E1-007)

Os dados de precipitação analisados do posto E1-007 foram obtidos através de consulta ao Banco de Dados Hidrológicos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado do de São Paulo (DAEE-SP). O posto possui dados históricos diários fundados desde janeiro de 1982. Para a realização deste estudo, foi determinado uma serie de precipitação anual, e com isto, a série de dados utilizada foi do ano de 1982 a 2019, perfazendo um total de 37 anos com 28 anos de medição.

Conforme dito por Wilken (1978):

Os projetos de drenagem superficial serão concebidos com a expectativa de que os condutos tenham as suas capacidades de esgotamento superadas uma vez em 5. 10 ou mais anos, em média, fazendo um balanço econômico entre a média anual (prevista) dos prejuízos resultantes das inundações ocasionais de um lado e o custo de estruturas de maior capacidade de outro.

Visando isto, com base nos dados obtidos através da análise do posto E1-007, iremos definir tempos de retorno que possibilitem a comparação entre os resultados obtidos com o uso da equação IDF disponível para a cidade de Cunha, que atualmente faz uso da equação da cidade de Lorena, distante cerca de 63km entre si. Desta forma verificar se as estruturas de drenagem estão sendo dimensionadas de forma satisfatória visando a melhor relação entre o dimensionamento de estruturas e sua possível falha em cada período de retorno estabelecido.

A tabela 1 reúne as informações de precipitação total mensal dentro do período analisado para este estudo.

Tabela 1- Totais mensais 1982 a 2020 (mm)

	JAN	FEV	MAR	ABRIL	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1982	216,60	77,40	193,90	72,80	22,20	100,50	53,70	86,50	27,70	196,70	129,30	289,50
1983	196,70	174,80	118,20	175,00	111,30	148,90	53,70	11,90	247,70	92,10	151,70	264,10
1984	210,50	4,70	68,20	105,60	80,10	0,00	0,00	55,70	80,00	30,30	90,10	136,10
1985	327,70	234,80	153,00	113,40	51,20	15,70	3,40	27,10	115,70	55,70	81,10	288,70
1986	215,20	252,10	177,90	67,30	77,40	7,10	23,20	106,90	29,70	54,30	175,50	349,50
1987	223,00	146,90	75,30	196,30	220,80	112,90	10,30	17,00	74,90	98,20	85,20	193,40
1988	268,40	289,30	191,90	161,90	182,90	28,00	0,70	1,00	30,80	166,40	127,50	188,10
1989	203,10	319,20	168,10	118,60	44,60	29,60	81,10	18,70	88,60	20,60	80,70	203,50
1990	142,80	211,30	153,80	68,80	37,90	3,40	67,70	50,30	81,50	131,40	62,80	102,80
1991	248,60	246,40	249,60	65,70	17,90	49,10	4,80	21,70	48,90	165,40	82,60	193,40
1992	292,00	48,50	185,00	102,30	66,40	0,00	81,80	34,10	59,00	90,20	130,10	180,70
1993	118,30	296,80	158,00	69,10	29,20	32,00	16,60	14,40	135,50	156,70	69,30	182,20
1994	136,20	140,70	244,30	66,60	105,70	39,70	23,80	0,00	0,00	80,90	152,80	168,80
1995	193,90	371,20	159,50	25,10	38,40	8,60	34,60	4,40	89,00	269,70	127,10	154,20
1996	177,30	374,50	280,70	36,00	19,10	24,50	1,60	19,50	115,10	87,30	187,30	224,80
1997	231,10	126,10	37,80	41,90	49,40	53,80	5,40	16,00	69,80	64,80	167,90	64,70
1998	119,20	155,50	133,00	46,70	76,30	8,10	12,40	28,10	118,70	127,20	63,40	125,30
1999	196,90	248,50	76,80	23,20	17,70	36,70	4,60	2,80	34,40	19,20	108,10	89,10
2000	242,20	87,20	136,10	12,10	8,20	0,60	42,70	52,10	60,50	31,30	148,00	276,00
2001	163,30	140,20	160,30	3,20	49,80	10,40	20,00	71,50	57,30	77,40	132,50	205,50
2002	184,90	142,10	77,40	50,40	32,30	---	---	---	---	---	---	---
2003	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2004	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2005	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2006	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2007	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2008	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2009	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2010	74,10	147,10	632,50	222,90	33,90	93,00	38,10	65,00	33,70	30,40	213,70	1299,80
2011	905,40	879,30	1246,10	95,10	177,00	231,00	0,00	99,00	8,40	570,90	473,60	102,50
2012	145,90	138,50	127,20	96,00	405,00	96,10	31,40	106,00	32,80	42,10	285,00	629,00
2013	87,60	102,30	32,60	23,10	3,60	19,50	3,00	20,00	59,90	76,20	43,90	54,60
2014	54,60	35,20	21,20	14,40	16,10	10,90	20,80	29,50	31,00	60,50	41,50	59,30
2015	60,50	41,50	59,30	38,20	35,20	11,40	---	---	---	---	64,50	67,80
2016	39,90	28,20	54,60	21,50	24,30	---	2,10	3,90	6,40	16,20	43,80	130,40
2017	113,70	25,20	---	31,50	23,70	4,00	0,80	58,80	---	---	42,90	33,20
2018	103,30	12,10	19,30	9,70	4,00	0,00	1,20	5,10	---	33,10	44,50	42,80
2019	---	37,60	39,80	23,00	24,80	8,80	5,50	12,70	11,10	8,40	37,10	19,90
2020	30,50	41,50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo- DAEE

Com base na Tabela 1 somos capazes de determinar as precipitações máximas e mínimas para cada mês, além da média mensal de precipitação dentre os 37 anos de coleta, conforme podemos observar na Tabela 2.

Tabela 2-Precipitações máximas, mínimas e média mensal (mm)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÁXIMA MENSAL	905,4	879,30	1246,10	222,90	405,00	231,00	81,80	106,90	247,70	570,90	473,60	1299,80
MÍNIMO MENSAL	30,50	4,70	19,30	3,20	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	37,10	19,90
MÉDIA MENSAL	191,08	174,27	181,05	70,88	67,30	40,84	22,24	35,85	64,74	101,91	121,45	210,66

Fonte: Elaborado pelo autor.

Obtidas estas informações torna-se possível a construção do gráfico da figura 4:

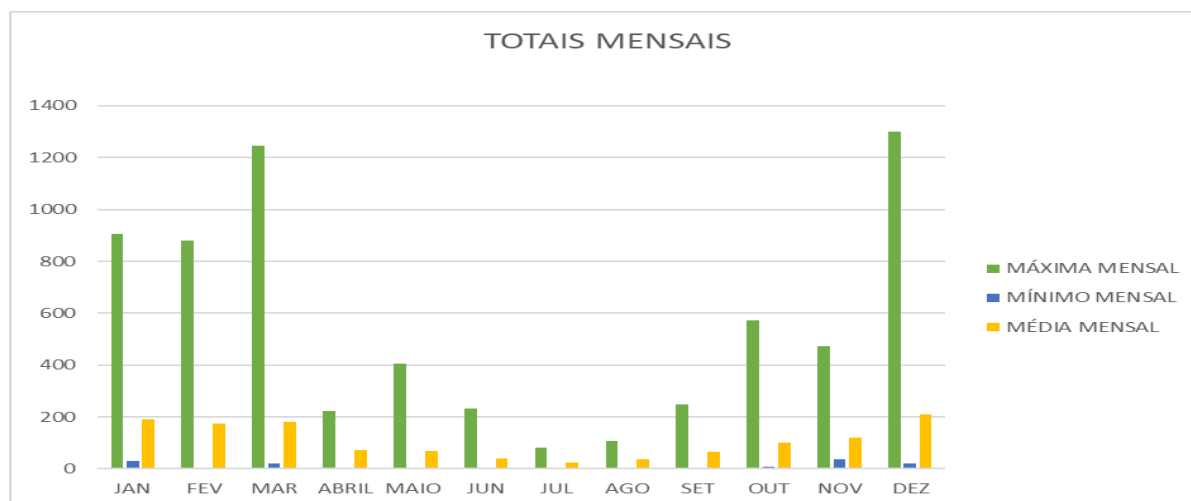


Figura 4- Gráfico de totais mensais³

Analisando o gráfico podemos observar o comportamento hidrológico anual para o município de Cunha, precisamente para o posto E1-007, onde entre abril a setembro podemos constatar um baixo índice pluviométrico se comparado aos demais meses do ano. Desta forma podemos concluir que o posto possui um ano hidrológico começando no mês de outubro, e finalizando em setembro do ano seguinte.

Através da análise da tabela 1 podemos observar uma lacuna no período de coleta de dados pluviométricos para o posto E1-007 compreendida entre os meses de junho de 2002 e dezembro de 2009, fazendo com que estes meses não sejam considerados na elaboração da tabela de chuvas máximas diárias por ano hidrológico apresentado na Tabela 3, derriscando

³ Elaborado pelo autor

também os anos hidrológicos 2014/2015 e 2019/2020 pela falta de dados em determinados meses que corroborem nos resultados obtidos por este estudo.

Tabela 3- Precipitação máxima diária anual

Ano Hidrológico	Precipitação (mm)	Ano Hidrológico	Precipitação (mm)	Ano Hidrológico	Precipitação (mm)
1982/83	67,20	1992/93	62,30	2010/11	112,60
1983/84	49,10	1993/94	75,10	2011/12	99,00
1984/85	15,60	1994/95	49,50	2012/13	92,00
1985/86	85,60	1995/96	67,30	2013/14	10,20
1986/87	78,90	1996/97	47,20	2015/16	7,80
1987/88	74,40	1997/98	57,50	2016/17	27,00
1988/89	59,20	1998/99	60,20	2017/18	9,90
1989/90	61,70	1999/2000	56,20	2018/19	9,50
1990/91	70,50	2000/01	54,00		
1991/92	66,00	2001/02	39,30		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio dos valores de máximas precipitações diárias anuais apresentadas na tabela 3, é possível determinar a média, que para a série estudada é 55,89mm e o desvio padrão, 27,72 desta forma, aplicando a distribuição de Gumbel para valores máximos e fazendo a fragmentação temporal das precipitações, com o auxílio dos coeficientes fornecidos pela CETESB, fragmentamos as chuvas de 1 dia em chuvas com ciclos menores de duração iniciando-se com 10 minutos até 24 horas ininterruptas de precipitação, desta forma podemos estimar valores de precipitação máxima para tempos de retorno (TR) pré-fixados como os mostrados na tabela 4.

Tabela 4- Período de retorno T (anos) em relação a duração da precipitação (min)

DURAÇÃO (t em minutos)	Período de retorno T (em anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	9,85	14,55	17,66	19,41	20,64	21,59	24,51	27,40	30,29
20	14,77	21,82	26,49	29,12	30,96	32,38	36,76	41,10	45,43
30	18,24	26,94	32,70	35,95	38,23	39,98	45,38	50,74	56,09
60	24,64	36,40	44,19	48,58	51,66	54,03	61,33	68,57	75,79
120	31,39	46,37	56,29	61,88	65,80	68,82	78,11	87,34	96,54
180	35,66	52,68	63,95	70,31	74,76	78,19	88,75	99,24	109,68
360	42,24	62,41	75,76	83,29	88,56	92,62	105,13	117,55	129,93
720	49,87	73,67	89,43	98,32	104,55	109,34	124,12	138,78	153,39
1080	54,55	80,59	97,83	107,55	114,36	119,61	135,77	151,81	167,79
1440	58,67	86,68	105,22	115,68	123,00	128,64	146,02	163,27	180,46

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicada a distribuição de Gumbel e obtido os valores de precipitação para cada período de retorno, fica viável a comparação com os valores obtidos na cidade de Lorena – SP, apresentada na figura 6, que atualmente são utilizados para o dimensionamento de estruturas de drenagem no município de Cunha e verificar se existe o subdimensionamento ou superdimensionamento das estruturas de microdrenagem, que acabam sendo mais suscetíveis as variações ocasionadas pelo efeito de não estacionariedade dos regimes de chuvas.

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	15,3	21,6	25,8	28,2	29,8	31,1	35,0	38,9	42,8
20	25,1	35,2	41,8	45,6	48,2	50,2	56,5	62,7	68,8
30	31,9	44,4	52,6	57,2	60,5	63,0	70,7	78,4	86,0
60	43,8	59,8	70,3	76,3	80,5	83,7	93,6	103,4	113,2
120	54,0	71,8	83,5	90,1	94,8	98,4	109,4	120,3	131,2
180	58,6	76,5	88,4	95,0	99,7	103,3	114,5	125,5	136,5
360	64,2	81,2	92,4	98,8	103,2	106,6	117,2	127,6	138,1
720	67,5	82,8	92,9	98,6	102,6	105,7	115,1	124,5	133,9
1080	68,8	82,9	92,3	97,5	101,2	104,1	112,8	121,5	130,2
1440	69,5	82,8	91,6	96,5	100,0	102,7	111,0	119,2	127,3

Figura 4-Previsão de máximas alturas de chuvas para Lorena, em mm. (DAEE-SP,2018)

Com base na análise dos dados da tabela 4 que aludem ao posto E1-007 com os dados presentes na figura 6 que demonstram os valores obtidos para a cidade de Lorena-SP com o uso da equação de chuva disponível na cidade, percebemos um superdimensionamento nas estruturas de drenagem nos períodos de retorno pré fixados para chuvas com duração de até 6 horas (360 minutos), onde chuvas com duração superiores a 6 horas apresentam um subdimensionamento de aproximadamente 20% do que o necessário, que pode ser prejudicial a estrutura, eventualmente levando a falha e o conseqüentemente a inundações que podem gerar inúmeros prejuízos a população local.

Obras de microdrenagem em geral são dimensionadas considerando durações de chuvas menores, contrapondo as obras de macrodrenagem que consideram tempo de duração maiores.

Conclusão

Com base nos estudos de precipitações pluviométricas máximas diárias anuais para o posto E1-007 do município de Cunha, podemos observar quando comparamos os dados obtidos de máximas alturas pluviométricas com os dados disponíveis da cidade de Lorena, uma variação em seus resultados principalmente no que diz respeito a tempos de retorno inferiores a 50 anos que acabam sendo os mais suscetíveis às variações ocasionadas pelo efeito de não estacionaridade dos ciclos de chuvas.

Podemos observar que fazendo uso da equação de chuva disponível para o município atualmente as estruturas de drenagem acabam sendo superdimensionadas para chuvas com duração estimada inferior a 6 horas, gerando custos desnecessários de obras de drenagem. Contudo quando passamos a analisar durações superiores a 6 horas podemos observar o subdimensionamento destas estruturas, visto que elas não são projetadas com base na real situação da localidade estudada.

Desta forma fica evidente a necessidade de revisões periódicas e o desenvolvimento constante de equações de chuvas para novas localidades, visando minimizar os efeitos que a não estacionariedade das chuvas trazem no dimensionamento de elementos que compõem a infraestrutura urbana de um município.

Referências

- CAMPOS, H.B. Notas de aula GR0254 - **Recursos Hídricos e Gestão de Bacias: Precipitação – Método de Gumbel** – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade São Francisco. Bragança Paulista. 2019.
- DAEE- Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Precipitações intensas no Estado de São Paulo**- Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, São Paulo, 2018.
- COLLISCHONN, W; DORNELLES, F. Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais, Porto Alegre, ABRH, 2013.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A, Hidrologia estatística, Belo Horizonte, CPRM, 2007, 552p.
- TUCCI, Carlos E.M. Fundamentos do escoamento não-permanente. In: Hidrologia: ciência e aplicação. Org. Carlos E.M. Tucci, 2ªed, Ed. Universidade/ UFRGS: ABRH, Porto Alegre, 2001.
- TUCCI, Carlos E.M., Controle de enchentes, In: Hidrologia: ciência e aplicação. Org. Carlos E.M. Tucci, 2ªed, Ed. Universidade/ UFRGS: ABRH, Porto Alegre, 2001.
- WILKEN, Paulo S., Engenharia de drenagem superficial. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1973. 478p. ilust.
- ZUFFO, A. C. O Sol, o motor das variabilidades climáticas. Revista DAE, Ed. 198, 2015
- ZUFFO, A.C.; RESIO, M. S. Precipitações totais anuais e suas tendências para o Posto IAC- Campinas-SP entre 1910 e 2014. 2016, il. color.