

# Análise da relação entre o GRADEX e o Efeito José e sua importância no dimensionamento ótimo de estruturas hidráulicas

## *Analysis of the relationship between GRADEX and Joseph Effect and its importance in the optimum sizing of hydraulic structures*

- **Data de entrada:**  
29/03/2018
- **Data de aprovação:**  
11/05/2018

Heitor Berger Campos\* | Antonio Carlos Zuffo

DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.042>

### Resumo

Conforme crescem as dimensões e os custos de obras de controle de cheias, deve-se ter cautela ao determinar as vazões de pico, evitando que tais estruturas sejam superdimensionadas, ficando ociosas, ou subdimensionadas, resultando em danos patrimoniais.

Para isso é usual utilizarmos métodos determinísticos baseados em séries históricas de chuva, uma vez que as de vazões estão limitadas, geralmente, a grandes bacias, e muitas vezes por serem bastante curtas e/ou com muitas falhas. Contudo, as séries de chuva compreendem ciclos intercalados de longos períodos de baixas pluviometrias seguidos por longos períodos com pluviosidade maiores em relação à MLP (média de longo período), fenômeno conhecido como Efeito José.

Desta maneira, o GRADEX se apresenta como ferramenta útil para a detecção desses ciclos, assim como para otimizar a determinação de vazões de pico e o dimensionamento de obras hidráulicas, pois relaciona frequências de eventos de chuva e vazão em vez de relacionar suas magnitudes.

**Palavras-chave:** GRADEX. Efeito José. Estruturas hidráulicas. Sistemas de drenagens.

### Abstract

*As the dimensions and costs of flood control structures increase, the determination of the peak flows should be done with wariness, in order to prevent such structures from being oversized, becoming idle, or undersized, resulting in property damage.*

*To do this, it is usual to use deterministic methods based on historical data series of rainfall, since the flow data series are limited, generally to the large basins and often because they are very short and / or have many faults. However, the rainfall series comprise intercalated cycles of long periods of low rainfall followed by long periods with higher rainfall relative to MLP (long period mean), a phenomenon known as the Joseph Effect.*

*In this way, GRADEX (EXtreme GRADient) presents itself as an useful tool to detect these cycles, as well as to optimize the determination of peak flows and the design of hydraulic structures, as it relates frequencies of rainfall and flow events rather than relating their magnitudes.*

**Keywords:** GRADEX. Joseph Effect. Hydraulics Structures. Drainage Systems.

**Heitor Berger Campos** – Mestrando em Engenharia Civil (área de Concentração em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) na Unicamp. Engenheiro Civil - Unicamp.

**Antônio Carlos Zuffo** – Engenheiro Civil - Unicamp. Mestre em Engenharia Civil - EPUSP. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento - EESC-USP. Pós-doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Toronto UoFT. Professor Associado da Unicamp.

\***Endereço para correspondência:** Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Recursos Hídricos, Avenida Alberto Einstein, 951 – Barão Geraldo – Campinas – São Paulo – SP. CEP: 13083-852 – Caixa postal: 6021. E-mail: [bergerheitor@gmail.com](mailto:bergerheitor@gmail.com).

## 1 INTRODUÇÃO

Verifica-se que à medida que grandes centros de concentração populacional se formam, ocorre o aumento da impermeabilização das áreas do entorno dos corpos hídricos, alterando a dinâmica de infiltração da bacia, surgindo ou aumentando as necessidades de controle das águas pluviais e dos escoamentos superficiais devido à elevação dos picos dos hidrogramas e aumento das vazões registradas. Canalizações de córregos, construções de reservatórios de amortecimento

de cheias e implantação de barramentos para regularização são alguns exemplos de obras resultantes dessas necessidades.

VIOLA (2008) relaciona os diversos aspectos da urbanização das bacias e os impactos gerados no sistema de drenagem urbana e condução de águas pluviais, conforme Tabela 1. Com base nessa relação de causa e efeito, verificamos que a elevação das vazões de pico e dos volumes superficiais é um dos principais impactos.

**Tabela 1** – Impactos da urbanização sobre a bacia hidrográfica.

Características	Impactos
Impermeabilização	- Aumento das vazões de cheias; - Inibição da recarga natural dos aquíferos; - Diminuição das vazões de estiagens pela diminuição das recargas dos aquíferos.
Redes de drenagem	- Maiores picos a jusante devido à maior fluidez do escoamento à jusante.
Resíduos urbanos	- Degradação da qualidade d'água; - Entupimento de bueiros e galerias; - Deposição no fundo de canais e rios; - Moléstias de veiculação hídrica causada pela decomposição da matéria orgânica nos corpos d'água.
Redes de esgoto deficientes	- Degradação da qualidade d'água; - Moléstias de veiculação hídrica pelo contato com vetores de transmissão de doenças.
Desmatamento	- Maiores picos e volumes; - Maior erosão devido ao impacto direto das gotas de chuvas sobre os solos; - Assoreamento em canais, galerias e rios; - Menor infiltração da água no solo.
Ocupação das várzeas (Áreas sujeitas naturalmente a inundações ampliadas pela ação antrópica)	- Maiores prejuízos; - Maiores picos de enchentes; - Maiores efeitos das moléstias de veiculação hídrica; - Maiores custos de utilidade pública; - Ocupação de áreas que há algumas décadas não inundavam (Efeito José), mas passaram a inundar novamente.
Crescimento populacional e do consumo	- Transposição de bacias para trazer água de locais cada vez mais longe; - Maior investimento em infraestrutura.

Fonte: modificado de VIOLA, 2008.

PMSP (2012) afirma que, em geral, todo processo de urbanização no entorno de um corpo hídrico apresenta três cenários sequenciais, que podem ser definidos como:

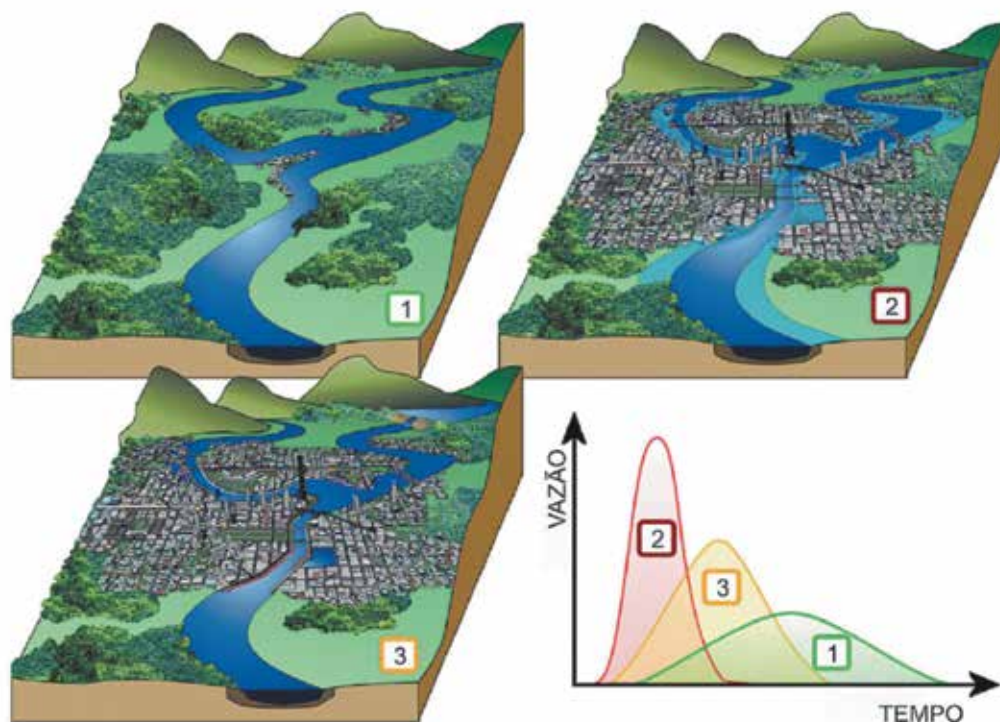
- Cenário 1: Período pré-ocupação, principalmente das regiões das várzeas dos corpos hídricos;
- Cenário 2: Bacia hidrográfica em processo de intensa urbanização, com alta impermeabili-

zação da superfície da bacia e áreas de várzea ocupadas. Uso e ocupação do solo de maneira intensa e desorganizada. Necessidade de obras hidráulicas que mitiguem os problemas recorrentes dessa ocupação;

- Cenário 3: Implantação de estruturas hidráulicas que controlem a ação da água e mitiguem os impactos gerados pelas inundações nos períodos de cheias naturais.

A Figura 1 ilustra esses cenários. Tendo em vista que todas as obras hidráulicas têm como fator principal a determinação de vazões de projeto como um ponto comum, deve-se tomar cuidado redobrado para sua correta determinação. A determinação de uma vazão de projeto implica em obras com porte e custos adequados, pois

obras subdimensionadas levarão a perdas patrimoniais, e obras superdimensionadas resultarão em estruturas ociosas e gastos desnecessários. Alguns exemplos recentes de falhas de funcionamento devido ao subdimensionamento de estruturas hidráulicas são apresentados na Tabela 2.



**Figura 1** - Desenvolvimento urbano e seus impactos no sistema de drenagem.

Fonte: PMSP, 2012.

**Tabela 2** – Exemplos recentes de falha de estruturas hidráulicas.

Data	Local	Falha	Danos
26/02/2018	Carrapateira/PB	Rompimento de barragem de açude	Perda da estrutura de barramento Problemas causados pela propagação de onda de cheia
05/01/2017	São Francisco de Paula/RS	Rompimento de açude	Perda da estrutura de barramento Alagamento de ruas, avenidas e residências Interdição da Rodovia RS-239
17/02/2002	Campinas/SP	Rompimento de três açudes	Perda das estruturas de barramento Transbordamento do Ribeirão das Cabras 49 moradores da área desabrigados Deslizamentos de terra Destruição de pontes Carros arrastados pela enxurrada Alagamento de ruas, avenidas e residências
20/12/2017	Sorocaba/SP	Rompimento de açude	Perda da estrutura de barramento Desabamento de residência Alagamento de ruas, avenidas e residências Carros arrastados pela enxurrada Interdição das ruas e avenidas Interdição do fornecimento de energia elétrica Danos ao prédio de uma unidade pré-hospitalar
23/01/2014	São Paulo/SP	Transbordamento de piscina e córrego	Alagamento de ruas, avenidas e residências Desabamento de residências Carros arrastados pela enxurrada

Fontes: Jornal da Paraíba, 2018. Rbs TV / g1, 2017. Diário do Grande ABC, 2002. Z1 Portal, 2017. Folha de São Paulo, 2014.

Para se determinar uma vazão de projeto, principalmente vazões de pico, há diversos métodos possíveis, que podemos dividir em dois grupos principais: métodos sintéticos e métodos estatísticos. Os métodos sintéticos, em sua maioria, são métodos desenvolvidos em regiões de clima temperado, logo são métodos que tentam representar condições físicas e climáticas diferentes das existentes no Brasil. Contudo, pela falta de métodos próprios para as nossas condições, eles são largamente utilizados. Os métodos estatísticos, por sua vez, não têm a qualidade de seus resultados atrelada às características locais da bacia analisada, mas sim à qualidade das séries históricas de chuva e vazão existentes.

As séries pluviométricas, por serem mais abundantes que as séries históricas de vazão, são normalmente mais utilizadas para determinar vazões de projeto, porém muitas vezes, ao utilizar dados de épocas diferentes, ocorre a mistura de informações que representam situações diferentes. O clima não é constante ao longo do tempo, ele muda, mas essas mudanças só são sentidas ao longo das décadas. As variações climáticas

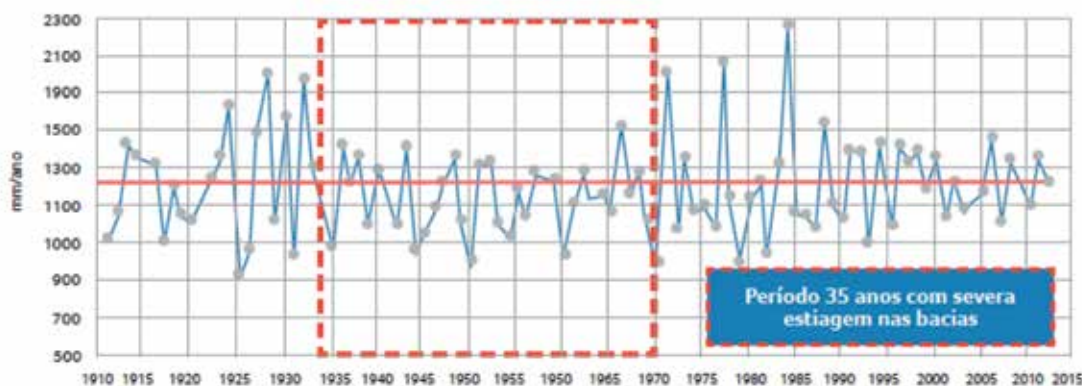
deveriam ser consideradas nos projetos hidráulicos. Porém ainda não são consideradas devido à falta de informações a respeito dessas mudanças contínuas, sutis e cíclicas de longo período, que após duas ou três décadas tornam-se significativas. Um exemplo disso é a utilização de uma série histórica extensa de dados de chuva, de um mesmo posto hidrométrico, porém grande o suficiente para registrar dois ou mais períodos com comportamentos hidrológicos distintos.

O estudo apresentado por MANDELBROT e WALLIS (1968) identificou dois desses comportamentos, um cíclico de longo período e outro abrupto e descontínuo. Esses pesquisadores batizaram o comportamento cíclico com o nome de Efeito José, que faz referência a José do Egito e à história bíblica dos sete anos de fartura, seguidos por mais sete anos de fome. O Efeito José descreve a “persistência” dos fenômenos climáticos que, no caso da hidrologia, descreve o comportamento das precipitações ao longo do tempo. Afirmaram que locais que possuem um comportamento hidrológico (secas ou precipitações abundantes) tendem a continuar dessa maneira até que se

inicie um outro ciclo de longo período com comportamento inverso.

Um período “longo”, segundo ZUFFO e ZUFFO (2016), pode ser entendido como um período de 20 até 50 anos. ZUFFO (2015), com base em estudos das precipitações totais anuais do posto plu-

viométrico da Fazenda Santa Elisa, operado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), afirma que o período entre os anos de 1935 e 1970 foi um período de baixas alturas pluviométricas em relação ao período posterior a 1970, como pode ser visualizado na Figura 2.



**Figura 2** - Série histórica dos totais anuais precipitados do posto pluviométrico instalado no IAC, no município de Campinas, coração da bacia do rio Piracicaba, no estado de São Paulo.

Fonte: ZUFFO, 2015.

Dessa maneira, é necessário fazer uso de métodos que consigam detectar a existência desses períodos cíclicos, para que seja possível realizar a separação dos mesmos. Assim procedendo, será possível estimar melhor as vazões de projeto, de acordo com o período hidrológico cíclico mais crítico, permitindo que a estrutura hidráulica dimensionada suporte o evento mais extremo em quaisquer situações climáticas com segurança e economia. Para isso, propõe-se utilizar o Método GRADEX como ferramenta para determinar a tendência hidrológica e também para determinar vazões de projeto.

## 2 OBJETIVOS

Propõe-se neste artigo demonstrar a aplicabilidade do Método GRADEX como uma ferramenta de detecção de ciclos hidrológicos com comportamentos geralmente maquiados pela análise

dos valores da série longa que mascarem esses fenômenos cíclicos, pela atenuação de suas estatísticas como a média e desvio padrão.

Propõe-se ainda mostrar que o Método GRADEX é um método consistente para a determinação de vazões de pico para projetos de estruturas hidráulicas.

## 3 BASES CONCEITUAIS E METODOLOGIA

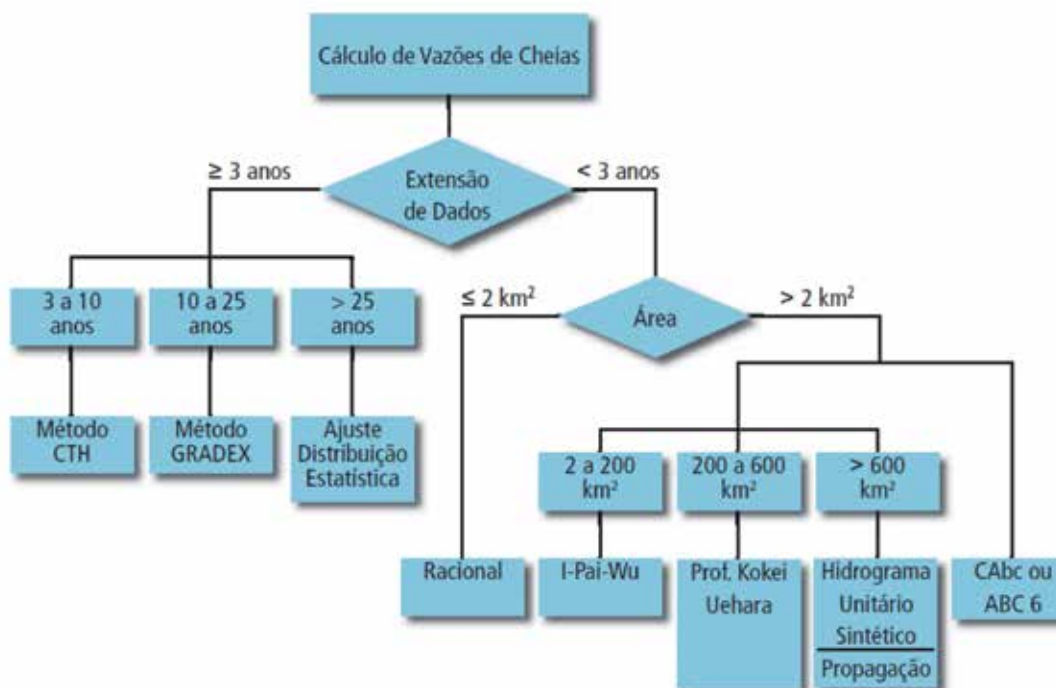
### 3.1 Método GRADEX

O Método GRADEX foi proposto inicialmente por GUILLOT e DUBAND (1968) e é um método probabilístico de determinação de vazões máximas referentes a determinados períodos de retorno, tendo como principal ponto favorável o fato de poder ser aplicado às bacias com séries históricas de vazão limitadas. Segundo ZUFFO e LEME (2005), “o método tem por objetivo a estimativa



de cheias de altos TR's a partir das frequências de chuvas, utilizando para este fim a distribuição de Gumbel-Chow, relacionando volumes precipitados com volumes escoados". No Estado de São Paulo, o DAEE, em seu "Guia Prático para Projetos

de Pequenas Obras Hidráulicas", cita o Método GRADEX como a metodologia a ser utilizada no caso de séries fluviométricas com extensão entre 10 e 25 anos, conforme diagrama apresentado na Figura 3.



**Figura 3** – Diagrama das metodologias adotadas para a estimativa de vazões de enchente.

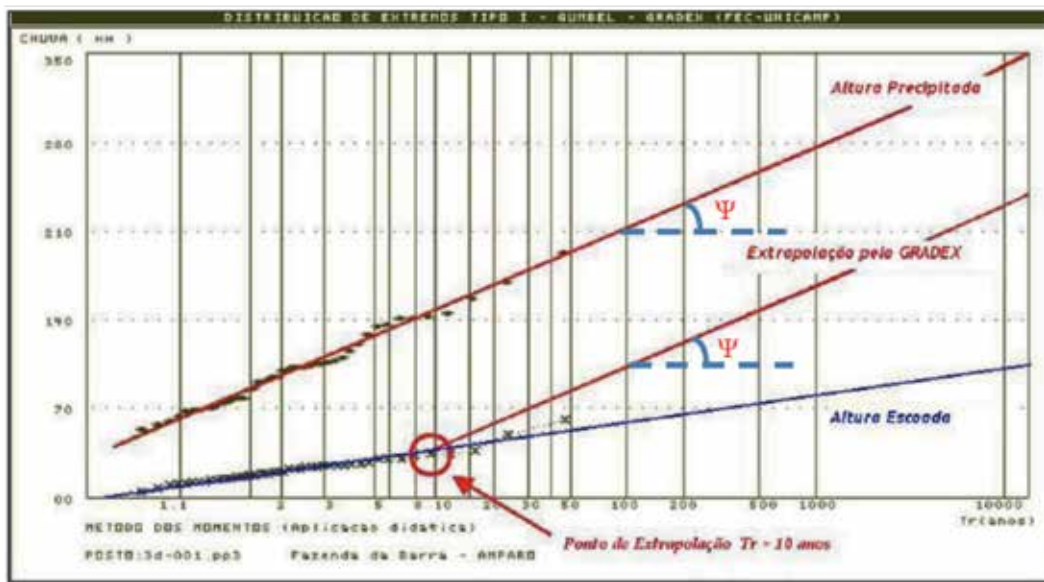
Fonte: DAEE, 2005.

Observa-se que séries históricas fluviométricas apresentam de forma mais acurada o comportamento de vazões em uma bacia hidrográfica. Contudo, são dados mais escassos e geralmente com extensão curta, fazendo com que as séries históricas pluviométricas cumpram essa função. Por sua vez, as séries históricas de chuva devem possuir extensão muito maior para que possam ser minimizados possíveis erros oriundos da transformação chuva-vazão. Alinhada a isso está uma limitação do Método GRADEX, devido a este se basear na distribuição estatística de Gumbel, que, conforme FERNANDES (1990), afirma que deve-se, sempre que possível, utilizar séries com no mínimo 30 anos de observações.

Em resumo, o Método GRADEX relaciona a frequência de eventos extremos de precipitação com a frequência de eventos extremos de vazão. Em outras palavras, se as séries de dados históricos de chuvas máximas e de vazões, transformadas em altura de lâmina escoada na bacia, fossem plotadas no papel probabilístico de Gumbel, a função probabilística exponencial da série de precipitações seria caracterizada por uma reta com coeficiente angular "a", que segundo o Método GRADEX, seria utilizado para fazer a extrapolação dos valores da série de vazões a partir de um período de retorno (TR) baixo (entre 10 a 20 anos). Com base nos estudos de ZUFFO (1993) e ZENZEMI et al (2003), pode ser considerado TR = 10 anos como um ponto razoável

para se fazer a extrapolação dos valores de vazão. A Figura 4 ilustra um exemplo da extrapolação feita pelo Método GRADEX, em que o coeficiente angu-

lar “a” é dado por  $a = \text{tangente}(\Psi)$ . Ao coeficiente angular “a” se dá o nome de Coeficiente GRADEX ou simplesmente GRADEX.



**Figura 4** – Extrapolação da função de distribuição de extremos do volume escoado, a partir do período de retorno TR = 10 anos, paralela à função de extremos do volume precipitado.

Fonte: Modificado de ZUFFO, 1993.

Originalmente o Método GRADEX foi idealizado de forma a calcular o coeficiente GRADEX para cada posto pluviométrico (GRADEX Pontual). A partir da média dos coeficientes GRADEX (GRADEX Espacial) de uma bacia, proceder-se-ia à extrapolação dos valores de vazão e obter-se-ia a vazão de projeto correspondente a um determinado TR multiplicando o valor estimado por um coeficiente de abatimento que, em geral, propunha uma redução do valor médio em 20%, como sugerido pelo CETEGREF francês.

Para evitar a utilização de um coeficiente de abatimento arbitrário, propõe-se seguir a metodologia apresentada por ZUFFO (1993), que tem por premissa calcular o coeficiente GRADEX da pre-

cipitação média da bacia em vez da média dos coeficientes GRADEX pontuais. Ainda seguindo a metodologia de ZUFFO (1993), a série histórica de precipitações a ser utilizada é calculada utilizando o Método dos Polígonos de Thiessen para cada dia das séries históricas de precipitação diária. Após essa fase, procede-se à seleção das máximas precipitações diárias de cada ano hidrológico, e ao fazer o ajuste estatístico dessa série pelo Método de Gumbel, relacionando os valores de precipitação com seus períodos de retorno, é possível obter o coeficiente GRADEX para a bacia analisada.

ZUFFO (1993) ainda afirma que o Método GRADEX possui forte aplicabilidade principalmente

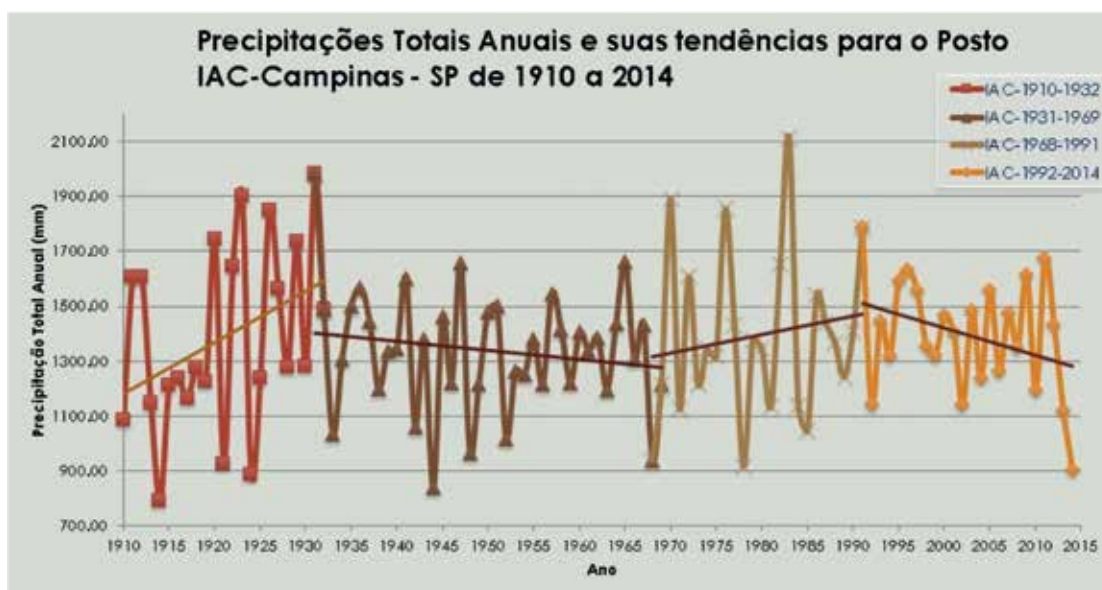
em bacias urbanas devido a essas regiões possuírem características que se aproximam das hipóteses inerentes à sua aplicação, como, por exemplo, a baixa permeabilidade e homogeneidade climática.

### 3.2 GRADEX e o Efeito José

Como já apresentado, o Efeito José se relaciona à hidrologia no que diz respeito à manutenção do comportamento pluvioso por longos períodos de tempo, de duas a cinco décadas. Desta maneira, se o coeficiente GRADEX indica de maneira matemática o comportamento de séries históricas de precipitação, ele também serviria para indicar se determinado período deveria apresentar

eventos de maior ou menor magnitude em relação à sua média. Simplificando, podemos dizer que ao detectarmos períodos mais secos, como mostrado na Figura 2, podemos garantir que os coeficientes GRADEX desses períodos serão menores do que os da série analisada como um todo. Já os períodos mais úmidos apresentarão comportamento inverso, com coeficientes GRADEX maiores do que os da série analisada como um todo.

ZUFFO e ZUFFO (2016), ao analisarem a série histórica de precipitações totais anuais do posto pluviométrico presente no IAC, e subdividir a série em quatro períodos, conforme apresentado na Figura 5, conseguem demonstrar a existência desses eventos cíclicos de longo período.



**Figura 5** – Precipitações totais anuais para o posto pluviométrico da Fazenda Santa Elisa em Campinas – SP, operado pelo IAC, série subdividida em quatro com suas respectivas tendências.

Fonte: ZUFFO e ZUFFO, 2016.



Ao fazer tal subdivisão, é possível observar que cada um dos períodos possui comportamentos diferentes entre si e diferentes do comportamento praticamente estacionário que foi apresentado na Figura 1. ZUFFO e ZUFFO (2016)

ainda apresentam valores de média e desvio padrão de cada um dos quatro períodos, apresentado na Tabela 3, demonstrando que nem essas informações se mantêm constantes ao longo do tempo.

**Tabela 3** - Momentos de primeiras e segundas ordens para os dados de precipitações totais anuais para o Posto Pluviométrico da Fazenda Santa Elisa, em Campinas – SP, operado pelo IAC – unidades em milímetros anuais.

Período	1910-1932	1931-1969	1968-1991	1992-2014
Média ( $\mu$ )	1395.90	1338.96	1394.49	1377.94
Desvio padrão ( $\sigma$ )	326.57	220.97	297.77	191.30
Número de anos	22	38	23	22

Fonte: ZUFFO e ZUFFO, 2016.

ZUFFO e ZUFFO (2016) afirmam que os períodos mais úmidos representados pelos anos 1910-1932 e 1968-1991 apresentam uma elevação na precipitação média e um expressivo aumento no desvio padrão. Isso significa que, para a geração de séries sintéticas pelos métodos estatísticos, o período de análise influenciará muito nos resultados, sendo que esses métodos não incorporam a característica de elevação e/ou recessão cíclica de longos períodos nem a mudança das estatísticas das séries históricas (média e desvio padrão).

Desta maneira, o conhecimento da existência de eventos cíclicos de maior ou menor pluviosidade é algo a ser considerado no dimensionamento de estruturas hidráulicas, de maneira que eventos extremos não fiquem à sombra de comportamentos amenizados pela mistura desses diferentes períodos, ou que utilizem valores além dos esperados devido à análise de um período em que os eventos extremos possuem magnitudes maiores.

Baseando-se nisso, o coeficiente GRADEX torna-se uma ferramenta de indicação de alteração na

tendência existente e, assim, indica que um novo ciclo, com eventos de maior ou menor magnitude, deve ser considerado.

### 3.3 Bacias analisadas

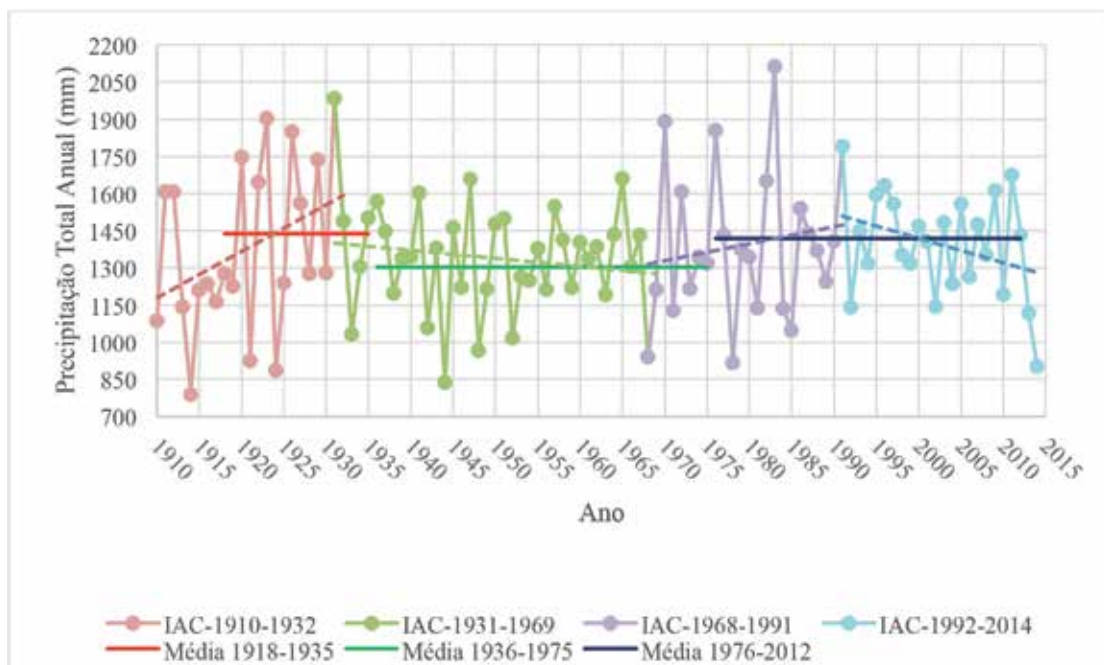
Conforme exposto, a metodologia utilizada segue o que foi proposto por ZUFFO (1993), buscando determinar o coeficiente GRADEX de uma série de precipitações médias nas bacias analisadas. Para determinar as precipitações médias diárias em cada bacia, utilizaram-se 3 ou 4 postos pluviométricos, conforme recomendação de ZUFFO (1993). Contudo, para bacias urbanas e geralmente de pequeno porte, é possível tomar apenas 1 posto pluviométrico como representativo. A Tabela 4 apresenta um resumo das bacias (nomeadas conforme os postos fluviométricos a que são relacionadas), os postos pluviométricos utilizados para montar a série de precipitações médias diárias máximas anuais dessas bacias e a quantidade de anos que possuem informações suficientes (poucas falhas na série de precipitações médias diárias) para que o ano hidrológico pudesse ser considerado representativo.

**Tabela 4** – Resumo dos postos hidrométricos utilizados em cada uma das bacias analisadas.

Bacia/ fluviômetro	Pluviômetros				Anos
3E-109	E3-005	E3-047	E3-071	E3-099	63
4F-001	F4-017	F4-018	F4-029	F5-013	65
8C-007	C7-001	C8-008	D8-003	D8-047	60

Para a separação dos períodos a serem analisados, tomou-se como premissa que o Estado de São Paulo entre 1936 e 1975 teve comportamento pluviométrico com características de estiagem, e que entre 1976 e 2010 características de maior pluviosidade, seguindo o que foi apresentado nas Figuras 1 e 5, e que é apresentado de maneira mais detalhada na Figura 6, em que, além dos períodos, são apresentadas as suas tendências e as médias dos períodos aqui definidos como limites para o estudo das bacias hidrográficas. Além disso, tomou-se o estudo de BOULOMYTIS et al.(2018), que ao analisar as

séries históricas dos postos pluviométricos E2-046 e E2-052, ambos em região litorânea com predomínio de chuvas orográficas, verificou a existência de dois períodos longos com comportamentos distintos que acabam camuflados ao se analisar suas séries históricas como um todo. BOULOMYTIS et al. (2018) afirmam que, apesar de o período entre 1936 e 1975 ter sido considerado um período seco no Estado de São Paulo, na região nordeste da faixa litorânea esse comportamento se inverte, conforme mostrado nas Figuras 7 e 8.



**Figura 6** – Precipitações totais anuais para o posto pluviométrico da Fazenda Santa Elisa em Campinas – SP, operado pelo IAC, série subdividida em quatro com suas respectivas tendências e com as médias para os períodos anterior a 1936, 1936-1975 e após 1975.

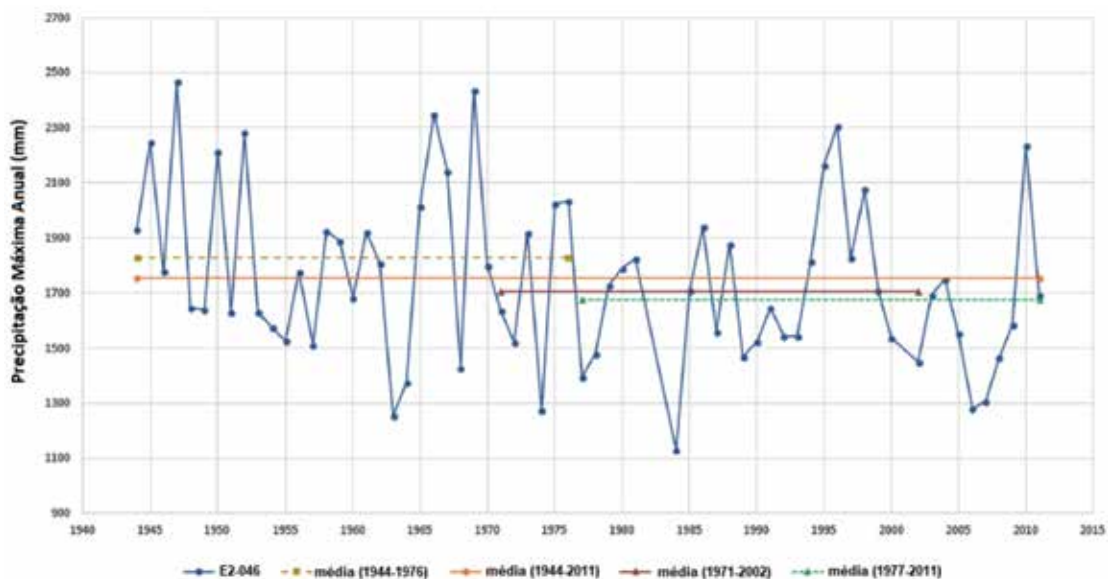


Figura 7 – Precipitações máximas anuais para o posto E2-046 e as médias para os períodos analisados.

Fonte: Traduzido de BOULOMYTIS et al., 2018.

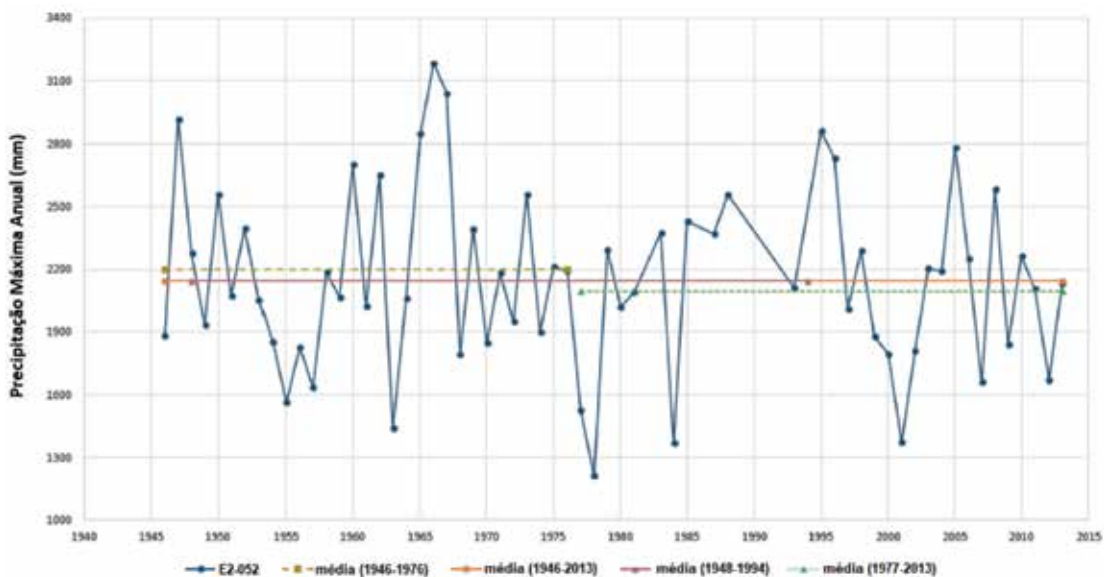


Figura 8 – Precipitações máximas anuais para o posto E2-052 e as médias para os períodos analisados.

Fonte: Traduzido de BOULOMYTIS et al., 2018.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando os postos pluviométricos apresentados para cada bacia, conforme apresentado na Tabela 4

seguindo a metodologia apresentada, foram obtidas as precipitações máximas diárias anuais para as bacias analisadas, como é apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5** – Resumo dos postos hidrométricos utilizados em cada uma das bacias analisadas.

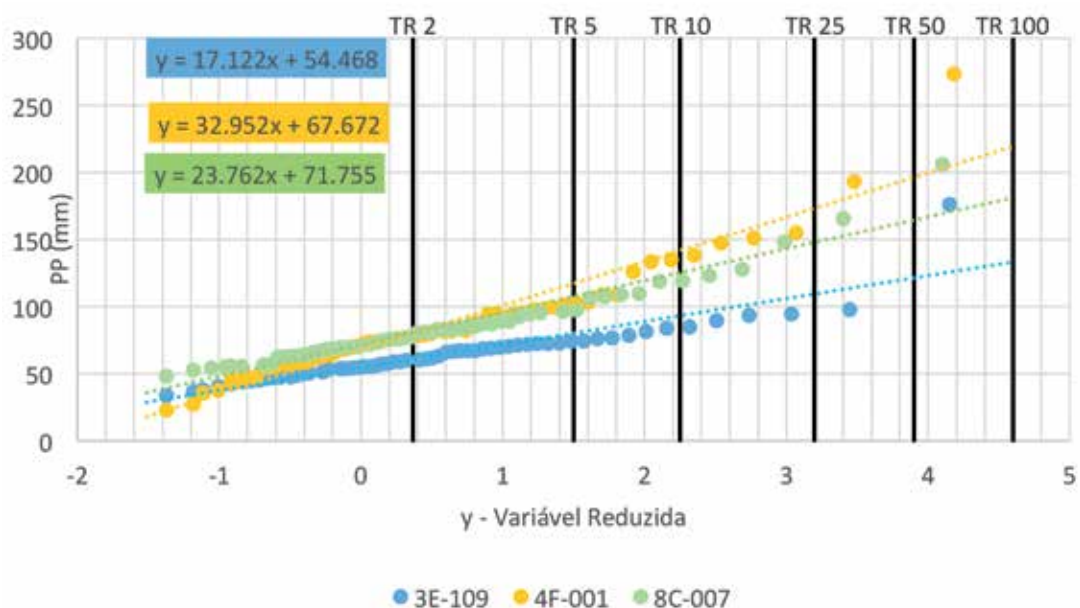
ANO HIDROLÓGICO		PP (mm)		
Início	Final	3E-109	4F-001	8C-007
01/10/1936	30/09/1937			
01/10/1937	30/09/1938			
01/10/1938	30/09/1939			
01/10/1939	30/09/1940	66.4		
01/10/1940	30/09/1941	60.6		
01/10/1941	30/09/1942			
01/10/1942	30/09/1943	49.6	27.1	
01/10/1943	30/09/1944	76.3	35.4	
01/10/1944	30/09/1945	74.2	54.3	
01/10/1945	30/09/1946	70.6	47.3	
01/10/1946	30/09/1947	51.4	22.8	
01/10/1947	30/09/1948	74.4	57.9	
01/10/1948	30/09/1949	83.6	37.5	
01/10/1949	30/09/1950	54.7		
01/10/1950	30/09/1951	69.5		88.9
01/10/1951	30/09/1952	51.4		
01/10/1952	30/09/1953	53.9		75.9
01/10/1953	30/09/1954	56.1	44.4	148.2
01/10/1954	30/09/1955	48.3	108.5	48.1
01/10/1955	30/09/1956	67.2	62	80.2
01/10/1956	30/09/1957	71.6	54.4	69.3
01/10/1957	30/09/1958	47.5	75.9	75.8
01/10/1958	30/09/1959	42.4	97.1	57
01/10/1959	30/09/1960	46.7	102.5	118.4
01/10/1960	30/09/1961	72.2	151	87.3
01/10/1961	30/09/1962	61.8	66.7	55
01/10/1962	30/09/1963	72.1	154.8	68.3
01/10/1963	30/09/1964	37.9	68.8	69.4
01/10/1964	30/09/1965	44.6	100.8	76.9
01/10/1965	30/09/1966	36.7	134.7	62.4
01/10/1966	30/09/1967	69.1	72.7	119.2
01/10/1967	30/09/1968	33.8	63.3	96.1
01/10/1968	30/09/1969	54.2	64.3	62.7
01/10/1969	30/09/1970	66.9	77.6	69.5
01/10/1970	30/09/1971	40.3	56	127.6
01/10/1971	30/09/1972	53.8	81.5	80.8
01/10/1972	30/09/1973	47.3	108.7	97.1
01/10/1973	30/09/1974	53.2	78.6	84.5

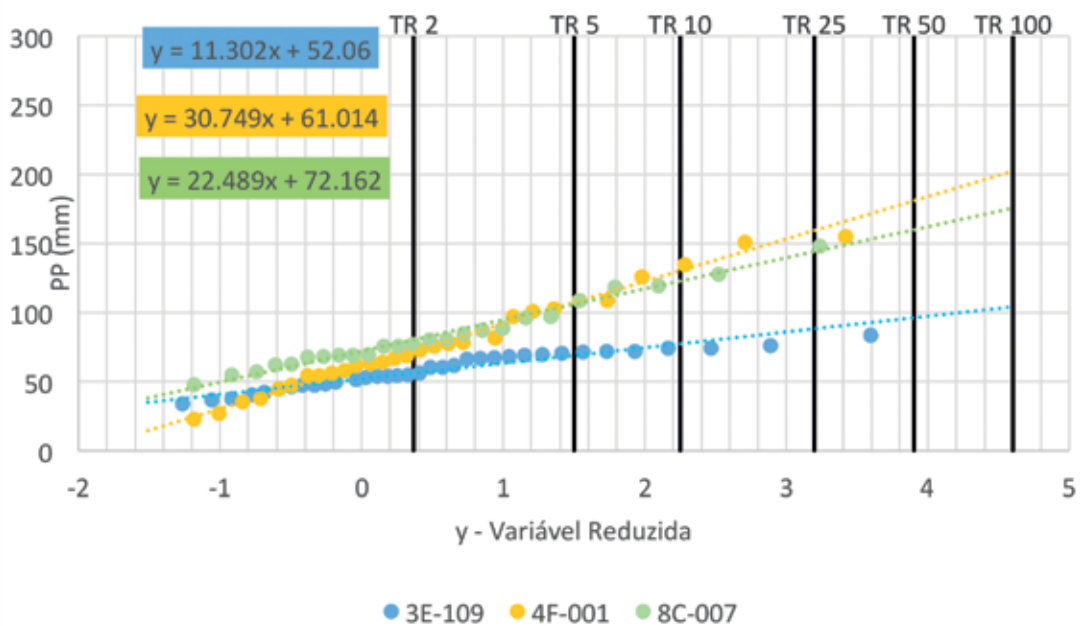
ANO HIDROLÓGICO		PP (mm)		
Início	Final	3E-109	4F-001	8C-007
01/10/1974	30/09/1975	60.4	81.5	67.8
01/10/1975	30/09/1976	68.3	125.6	108.8
01/10/1976	30/09/1977	73	73.7	85.1
01/10/1977	30/09/1978	78.5	97.8	71.9
01/10/1978	30/09/1979	71.4	82	55.4
01/10/1979	30/09/1980	45	88.1	205.9
01/10/1980	30/09/1981	63.2	77.2	89.2
01/10/1981	30/09/1982	97.8	78.9	67.2
01/10/1982	30/09/1983	89.6	94.3	76.4
01/10/1983	30/09/1984	66.2	75.1	95.4
01/10/1984	30/09/1985	50.1	43.9	63.1
01/10/1985	30/09/1986	43.6	71	92.4
01/10/1986	30/09/1987	176.1	73.9	109.6
01/10/1987	30/09/1988	53.8	138.4	165.3
01/10/1988	30/09/1989	84.5	80.1	71.9
01/10/1989	30/09/1990	46.9	62.3	63.8
01/10/1990	30/09/1991	94.3	58	83.4
01/10/1991	30/09/1992	93.4	58.6	87
01/10/1992	30/09/1993	67	76.2	74.9
01/10/1993	30/09/1994	76.6	70.6	70.6
01/10/1994	30/09/1995	55	133.2	52.6
01/10/1995	30/09/1996	57.6	74.9	56.4
01/10/1996	30/09/1997	60.4	102.7	83.9
01/10/1997	30/09/1998	55.3	94.1	73.2
01/10/1998	30/09/1999	57.2	82.4	81
01/10/1999	30/09/2000	59.1	46.8	123.1
01/10/2000	30/09/2001	58.9	99.3	63.5
01/10/2001	30/09/2002	81.4	94.2	94.1
01/10/2002	30/09/2003	59.7	273.2	82.8
01/10/2003	30/09/2004		86.9	54
01/10/2004	30/09/2005		193.3	106.2
01/10/2005	30/09/2006		67.9	56.4
01/10/2006	30/09/2007		56.9	82.7
01/10/2007	30/09/2008		82.4	66.1
01/10/2008	30/09/2009		147.3	96.1
01/10/2009	30/09/2010		94.3	107
01/10/2010	30/09/2011		95.2	55.8

Tais séries de precipitações foram analisadas em três períodos distintos, como já foram apresentados, sendo que inicialmente foi analisado o período 1936 – 2010 e, então, separaram-se as séries nos períodos 1936 – 1975 e 1976 – 2010, recalculando seus períodos de retorno dentro dos subpe-

ríodos. Os resultados obtidos podem ser verificados nas Figuras 9 a 11, que representam o período completo e os dois subperíodos, respectivamente. Já a Tabela 6 apresenta um resumo dos valores dos coeficientes GRADEX obtidos, de acordo com a bacia e o período analisados.

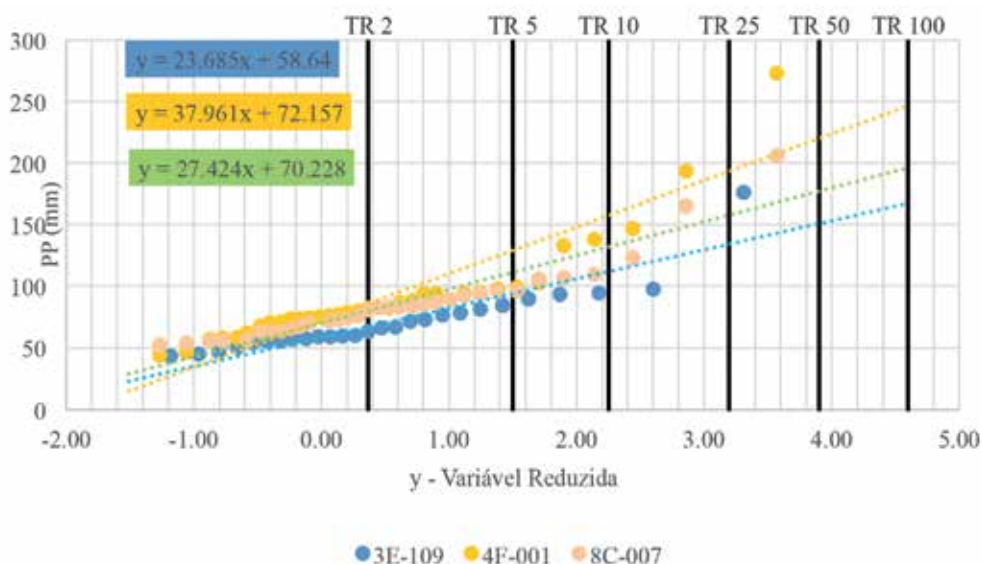


**Figura 9** – Determinação dos coeficientes GRADEX para os postos 3E-109, 4F-001 e 8C-007 para o período 1936-2010.



**Figura 10** – Determinação dos coeficientes GRADEX para os postos 3E-109, 4F-001 e 8C-007 para o período 1936-1975.





**Figura 11** – Determinação dos coeficientes GRADEX para os postos 3E-109, 4F-001 e 8C-007 para o período 1976-2010.

**Tabela 6** – Resumo dos valores dos coeficientes GRADEX encontrados para as bacias 3E-109, 4F-001 e 8C-007 para os períodos analisados.

Período analisado	Coeficientes gradex		
	3E-109	4F-001	8C-007
1936-2010	17.12	32.95	23.76
1936-1975	11.30	30.75	22.49
1976-2010	23.68	37.96	27.42

Ao analisar os resultados obtidos, verifica-se que as bacias analisadas apresentaram valores de coeficientes GRADEX que concordam com a proposição inicial, de que períodos mais secos apresentariam coeficientes menores que os das séries como um todo, enquanto períodos mais úmidos apresentariam coeficientes maiores. Tais variações do coeficiente GRADEX, quando utilizadas para fazer a extrapolação das séries flu-

viométricas no papel de Gumbel, levaram a variações consideráveis nos valores das vazões de pico encontradas.

Tais variações podem ser visualizadas nas Figuras 12 a 14, e são mais acentuadas na bacia do posto fluviométrico 3E-109, em que para um período de retorno centenário, o período 1936-1975 apresenta uma variação de aproximadamente 30% a menos do que a vazão do período 1936-2010, enquanto o período 1975-2010 teve uma variação de aproximadamente 33,5% a mais que o período completo. Essa variação demonstra a necessidade de fazer a separação dos períodos camuflados dentro de uma mesma série de registros históricos a fim de garantir o correto dimensionamento das estruturas hidráulicas.

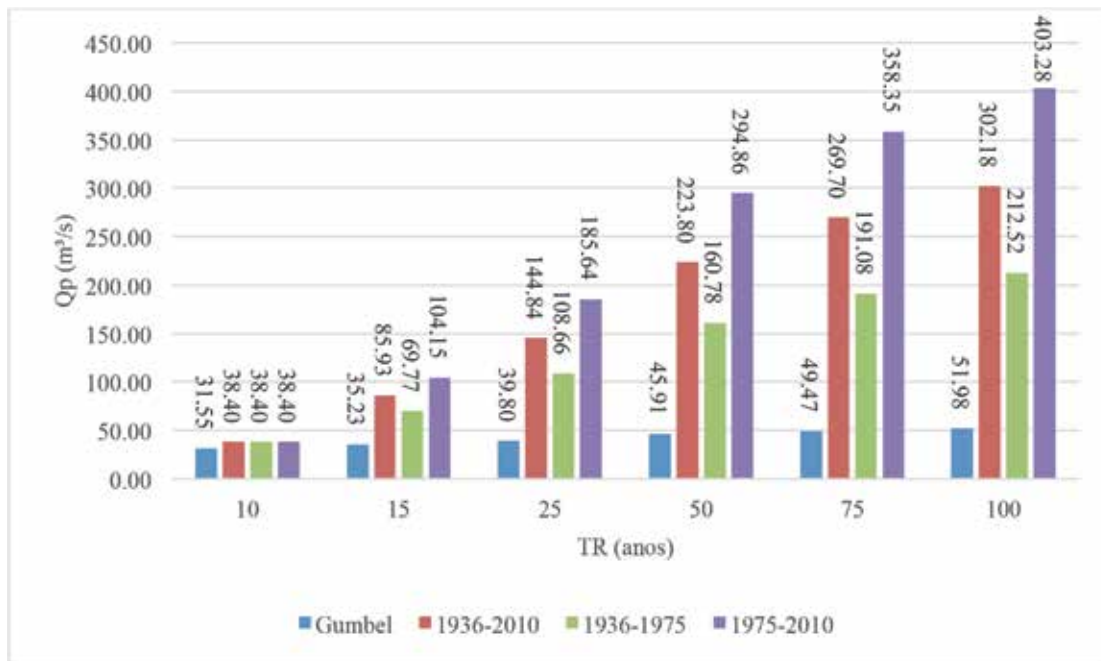


Figura 12 – Variação das vazões de pico para a bacia 3E-109 para diversos TR, comparando valores calculados para diversos períodos por meio do GRADEX e pela distribuição de Gumbel.

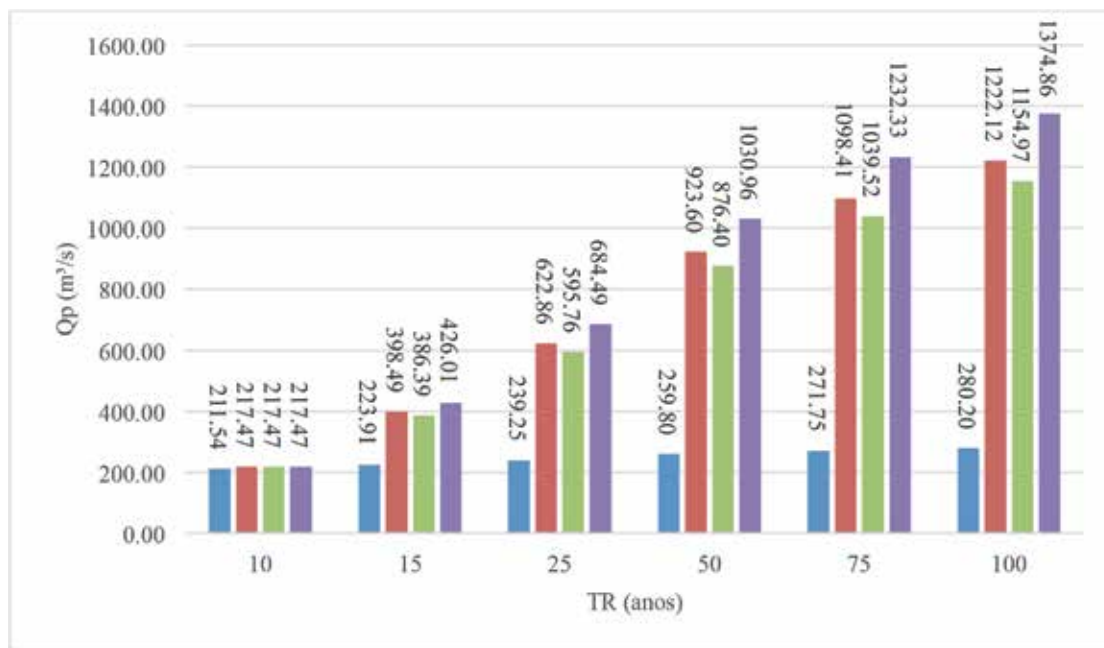
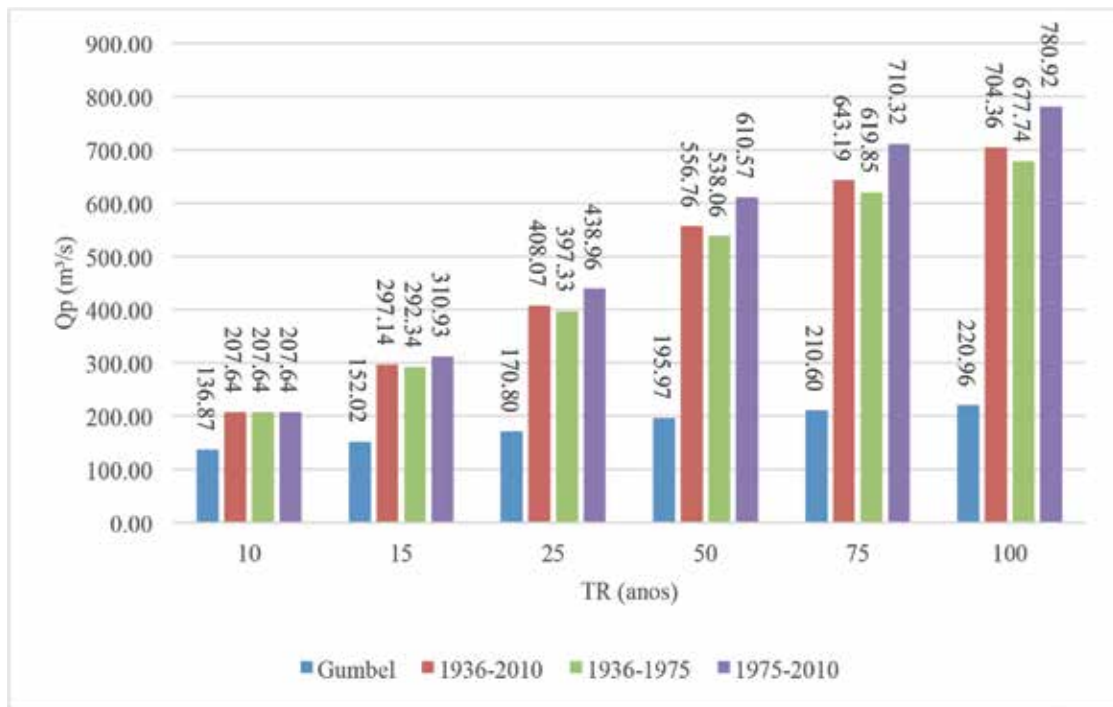


Figura 13 – Variação das vazões de pico para a bacia 4F-001 para diversos TR, comparando valores calculados para diversos períodos por meio do GRADEX e pela distribuição de Gumbel.



**Figura 14** – Variação das vazões de pico para a bacia 8C-007 para diversos TR, comparando valores calculados para diversos períodos por meio do GRADEX e pela distribuição de Gumbel.

## 5 CONCLUSÕES

Após analisar os resultados obtidos, verifica-se que o GRADEX pode ser uma ferramenta poderosa na detecção de ciclos de longos períodos em séries hidrológicas, de alta pluviosidade ou de estiagem, evidenciando a existência do Efeito José nas séries históricas de precipitação.

Os resultados ainda favorecem a afirmação de que o Método GRADEX é uma ferramenta mais adequada para determinação de vazões de pico em projetos de estruturas hidráulicas, visto que, ao permitir que sejam detectados diferentes ciclos hidrológicos, também permite identificar como variam esses ciclos por meio da determinação dos coeficientes GRADEX, que acabam por ser o parâmetro mais importante no momento em que se faz a extrapolação da série histórica de vazões para os períodos de retorno desejados.

Desta forma, pode-se dizer que utilizar o Método GRADEX para a detecção de ciclos hidrológicos, combinado com sua determinação de vazões de projeto, nos leva às vazões mais próximas da realidade do período em que a estrutura hidráulica estará atuando, sendo, portanto, uma forma de otimizar o dimensionamento de estruturas hidráulicas.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao DAEE pelo fornecimento dos dados hidrométricos de chuva e vazão, e ao programador Ricardo Del Moro pelo auxílio na manipulação dos bancos de dados que permitiu que este estudo pudesse ser realizado de maneira mais rápida.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ...Barragem de açude rompe após chuvas no Sertão da Paraíba. **Jornal da Paraíba**. Paraíba, 20 fev. 2018. Disponível em: <[http://www.jornaldaparaiba.com.br/vida\\_urbana/barragem-de-acude-rompe-apos-chuvas-no-sertao-da-paraiba.html](http://www.jornaldaparaiba.com.br/vida_urbana/barragem-de-acude-rompe-apos-chuvas-no-sertao-da-paraiba.html)>. Acesso em: 22 mar. 2018.
- ...Campinas decreta estado de emergência. **Diário do Grande ABC**. São Paulo, 17 fev. 2002. Disponível em: <<http://www.dgabc.com.br/Noticia/374044/campinas-decreta-estado-de-emergencia>>. Acesso em: 22 mar. 2018.
- ...Sorocaba: Chuva provoca rompimento de açude e desabamento de casa. **Z1 Portal**. São Paulo, 20 dez. 2017. Disponível em: <<http://www.z1portal.com.br/sorocaba-chuva-provoca-rompimento-de-acude-e-desabamento-de-casa/>>. Acesso em: 22 mar. 2018.
- ALVES, M. Após chuva, piscinão transborda e alaga casas na zona sul de São Paulo. **Folha de São Paulo**. São Paulo, 23 jan. 2014. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/01/1401612-apos-chuva-pisciniao-transborda-e-alaga-casas-na-zona-sul-de-sao-paulo.shtml>>. Acesso em: 22 mar. 2018.
- BOULOMYTIS, V.T.G., ZUFFO, A. C.; IMTEAZ, M. A. Derivation of Design Rainfall and Disaggregation Process of Areas with Limited Data and Extreme Climatic Variability. **International Journal of Environmental Research**. doi: 10.1007/s41742-018-0079-x, 2018.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. São Paulo, 2005.
- FERNANDES, C. V. S. **Avaliação da robustez de algumas distribuições de extremos aplicadas a séries de observações fluviométricas e pluviométricas**. 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1990.
- GUILLOT, P.; DUBAND, D. La méthode du GRADEX pour le calcul de la probabilité des crues a partir des pluies. **Société hydrotechnique de France Xmes Journées de hydraulique**. 7p. Paris, 1968.
- MANDELBROT, B.B.; WALLIS, J.R. Noah, Joseph and operational hydrology. **Water Resources Research**, v. 4, n. 5, p. 909-918, 1968.
- PIRES, E. Rompimento de açude na Serra alaga casas e interdita RS-239 em Rolante. **RBS TV-G1**. Rio Grande do Sul, 05 jan. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2017/01/rompimento-de-barragem-alaga-casas-e-interdita-rs-239-em-rolante.html>>. Acesso em: 22 mar. 2018.
- PMSP (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais II – aspectos tecnológicos: fundamentos**. São Paulo, SMDU, 2012.
- VIOLA, H. **Gestão de águas pluviais em áreas urbanas – O estudo de caso da Cidade do Samba**. 2008. 384 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.
- ZEMZAMI, M.; BENAABIDATE, L.; LAYAN, B.; DRIDRI, A.. Design flood estimation in ungauged catchments and statistical characterization using principal components analysis: application of GRADEX method in Upper Moulouya. **Hydrological Processes**, 27: 186–195. doi: 10.1002/hyp.9212, 2013.
- ZUFFO, A. C.; LEME, P. E. GRADEX e Santa Barbara: método híbrido para cálculo de vazão de projeto para macrodrenagem urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16. João Pessoa, 2005. **Anais...** João Pessoa, 2005.
- ZUFFO, A.C. O Sol, o motor das variabilidades climáticas. **Revista DAE**, 198, 6-24, 2015.
- ZUFFO, A. C. **Relações estatísticas entre precipitações intensas e vazões máximas: Método GRADEX**. 1993. 261 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.
- ZUFFO, A.C.; ZUFFO, M.S.R. **Gerenciamento de Recursos Hídricos: Conceituação e Contextualização**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2016.