

# ESTUDO DA VARIABILIDADE DE CHUVAS INTENSAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO E SUA IMPORTÂNCIA PARA A DRENAGEM URBANA

por

Vanesca Sartorelli Medeiros<sup>1</sup> e Mario Thadeu Leme de Barros<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pesquisadora em Geociências, Engenheira da CPRM e Mestranda da EPUSP. Rua Costa, 55, 01304-010, São Paulo – SP. e-mail: vanesca@sp.cprm.gov.br

<sup>2</sup> Professor Titular da Escola Politécnica da USP. Av. Professor Almeida Prado, 83, Trav. 2, Cidade Universitária, 05508-900, São Paulo – SP. e-mail: mtbarros@usp.br

## ABSTRACT

This paper analyzes the heavy rainfall variability in São Paulo Metropolitan Region (SPMR) and its relationship with 2009/2010 rainy season. In this way the rainfall series are analyzed to verify the existence of trends. Particularly two variables are considered: volume and duration. One important variable related to the floods was the number of consecutive rainy days. This variable is very important due to the fact that the floods were caused mainly to this characteristic. Considering daily statistics 2009/2010 events were not so intense with low recurrences. By other side the volume of many consecutive rainy days was very high. The 2009/2010 season was paradigmatic. Due to it the urban drainage design criteria has to be review mainly for complex systems like SPMR one. This paper aims to contribute to this discussion.

**Palavras-chave:** rainfall, floods, urban drainage

## 1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se observado inúmeros eventos de chuvas extremas ocorridos no Brasil e no mundo, destruindo cidades inteiras, deixando populações desabrigadas e causando mortes e outros danos. Chuvas intensas causaram enchentes no Vale do Itajaí, em Santa Catarina, em novembro de 2008, foram responsáveis pela enchente histórica ocorrida em janeiro de 2010 em São Luiz do Paraitinga, São Paulo, destruindo grande parte da cidade. Em junho de 2010 chuvas elevadas provocaram enchentes na bacia do Mundaú, em municípios de Pernambuco e Alagoas. Em janeiro de 2011 o desastre ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro, que atingiu várias cidades como Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, foi considerado uma das maiores tragédias ocorridas no Brasil. Novamente em maio de 2011 varias cidades de Pernambuco sofreram inundações. Muitos desses eventos estão relacionados com chuvas que variam de intensidade, mas com duração de vários dias consecutivos.

A discussão sobre tendência de aumento da ocorrência desses eventos extremos associados às chuvas e inundações, necessidade de mudanças adaptativas no gerenciamento dos recursos hídricos é muito atual e vem despertando o interesse da comunidade científica, além de gestores, políticos, ONGs e sociedade civil.

A possibilidade de ocorrência de mudanças climáticas e se elas são causadas por ações antrópicas ou são apenas fenômenos naturais também necessita de investigação exaustiva. O tratamento de dados de chuvas pode auxiliar no entendimento dessas possíveis mudanças.

Dada a importância do tema, o trabalho pretende contribuir com a análise das chuvas ocorridas na região metropolitana de São Paulo (RMSP), com ênfase nos anos de 2009 e 2010 (ano em que ocorreu também a enchente histórica de São Luiz do Paraitinga), causadores de inúmeras inundações na região.

A cidade de São Paulo sempre sofreu com problemas de inundações. Elas causam vários prejuízos e transtornos para a população. As inundações afetam o sistema de transportes, agravam o congestionamento de veículos, causam interrupção no fornecimento de energia, além do risco de transmissão de doenças de veiculação hídrica em populações que habitam as áreas onde elas ocorrem.

O aumento da população em grandes metrópoles e a busca de espaço pode contribuir para o crescimento desordenado da cidade. O crescimento desordenado das cidades ocorre por diversos motivos que podem ser resumidos em dois fatores: a pressão por moradia e a pressão por mobilidade. Isso resulta na ocupação do solo e principalmente das áreas marginais. A população ocupa áreas de várzeas e encostas de morros, que deveriam estar protegidas e cobertas de vegetação. A ocupação dessas áreas, retificação de rios, construção de marginais agravam o problema de enchentes. O alto nível de impermeabilização do solo faz com que a velocidade do escoamento superficial aumente e o tempo de

concentração da bacia diminua, resultando no aumento da vazão de pico dos hidrogramas e na redução do seu tempo de base.

Outro fator que contribui com as inundações está relacionado com a coleta e disposição dos resíduos sólidos. Quando chuvas de alta intensidade acontecem, elas arrastam todo o material que está depositado sobre a bacia, atingindo as bocas de lobo, galerias e canais. A presença de lixo não coletado entope as bocas de lobo, diminui as seções das galerias e tem como destino final o rio, assoreando o canal e aumentando as ocorrências de inundações. Isso eleva a vulnerabilidade do sistema.

Para entender o problema das enchentes é necessário estudar o comportamento das chuvas sobre a bacia hidrográfica. O objetivo deste estudo é avaliar a variabilidade das chuvas na RMSP e, em particular, os eventos ocorridos entre dezembro de 2009 e janeiro de 2010, causadores de inúmeros registros de inundações. Nesse sentido, discute-se a existência de alterações de tendências nas séries de chuvas intensas.

## 2 - METODOLOGIA

### 2.1 - Área de estudo e descrição do clima da região

A RMSP é formada por 39 municípios, possui uma área de 8.051 km<sup>2</sup> e está situada em grande parte na bacia hidrográfica do Alto Tietê, pertencente à sub-bacia 62 (Paraná, Tietê e outros), possui alguns municípios pertencentes às sub-bacias 58 (do Paraíba do Sul), 80 (litorâneas de São Paulo) e 81 (do Ribeira de Iguape). Segundo dados da Emplasa – empresa paulista de planejamento metropolitano, entre os anos de 1962 e 2002, a mancha urbana nesta região passou de 874 km<sup>2</sup> para 2.209 km<sup>2</sup>

A figura 1 mostra a localização da RMSP no estado de São Paulo e divisão das bacias hidrográficas.

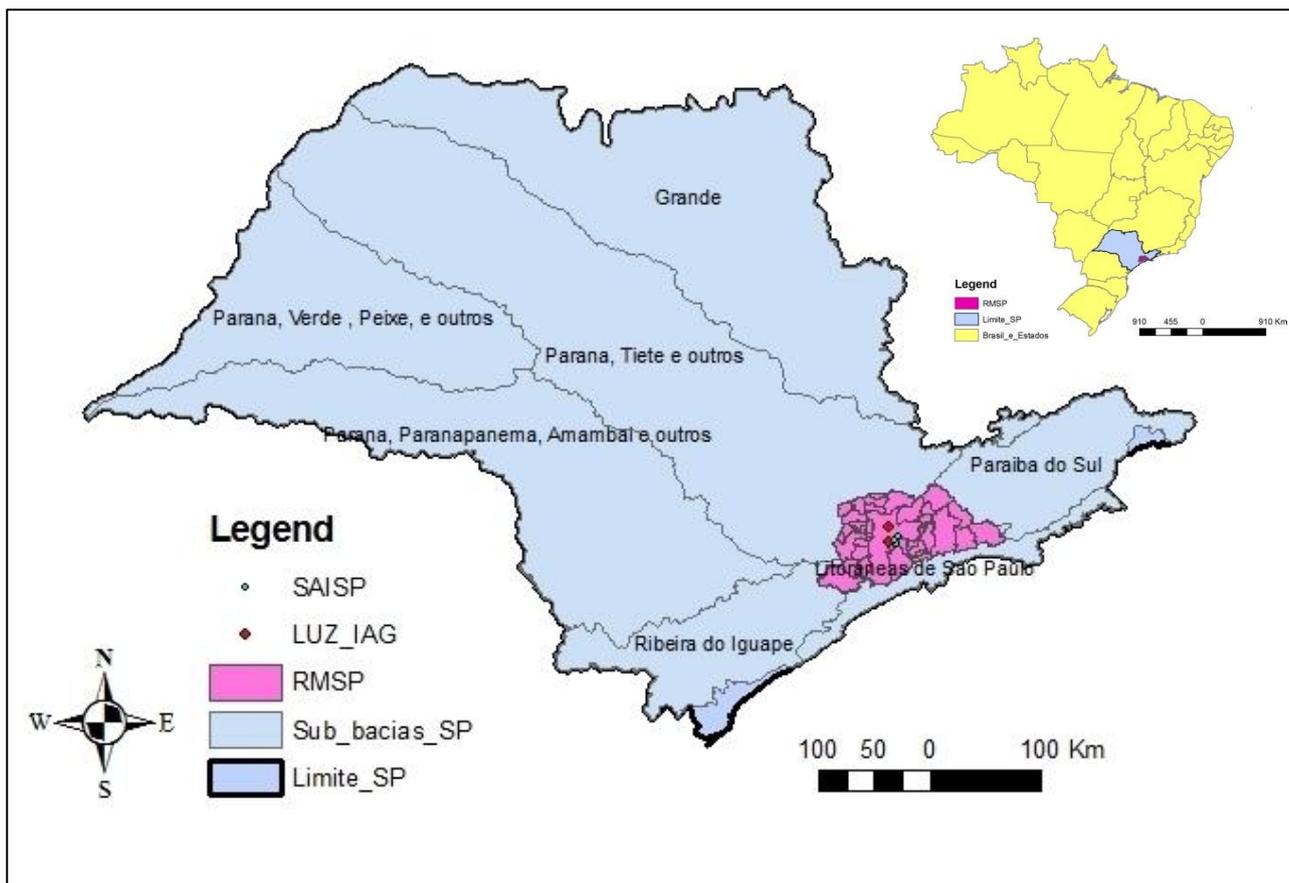


Figura 1 – Localização da área de estudo, as bacias hidrográficas e RMSP

O clima na RMSP apresenta-se úmido o ano todo e de acordo com a classificação de Köppen caracteriza-se como clima subtropical quente sem estação seca (Cfa). A média anual de chuvas na região é de 1.402 mm (IAG). A região possui características de chuvas bem definidas e marcadas pela sazonalidade. De acordo com os dados analisados, os meses mais chuvosos compreendem o período de dezembro a março, com média máxima em janeiro em torno de 235 mm, e o mês menos chuvoso é agosto, com média de 39 mm.

A temperatura média na cidade de São Paulo é de 19,3°C, com máxima média de 24,9° e mínima média de 15,5° (Mendonça e Danny-Oliveira, 2007)

No verão, São Paulo sofre influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que transporta a umidade da Amazônia até a região Sudeste. Este fenômeno, muitas vezes aliado a eventos El Niño, provavelmente são os fatores responsáveis pelas chuvas intensas ocorridas na região.

Além disso, alguns episódios de enchentes na RMSP estão associados ao forte aquecimento diurno, convergência induzida pelo aquecimento e interação com a circulação de brisa marítima. (Pereira Filho, et al, 2004).

A urbanização da cidade faz com que nela se formem ilhas de calor. A poluição do ar e a formação dessas ilhas podem contribuir como efeito secundário na formação de chuvas convectivas, que tem como características a grande intensidade e pequena duração, as chamadas chuvas de verão. Esses eventos diários, com grandes volumes precipitados num espaço curto de tempo, agravam as enchentes principalmente quando o solo da bacia já está saturado, depois de vários dias de chuva consecutivos. Isso faz com que a vulnerabilidade para inundações seja maior em vários pontos da cidade.

## 2.2 - Estações da RMSP

Neste trabalho foram utilizados os dados diários de estações pluviométricas localizadas na RMSP operadas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e pela Universidade de São Paulo (USP). Em particular foram escolhidas duas estações. A estação da LUZ (E3-036, código ANA 2346045), que possui dados de 1888 a 2004 e a estação do IAG - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, Observatório do IAG (E3-035, código ANA 2346059), que possui dados desde janeiro de 1933 até 2011.

Algumas estações telemétricas do Sistema de Alerta a Inundações do Estado de São Paulo (SAISP) localizadas próximas à estação do IAG foram utilizadas como apoio para comparação dos dados diários e do total mensal de novembro de 2009, janeiro e fevereiro de 2010. As estações são: Rudge Ramos, Ribeirão dos Meninos e Vila Prosperidade.

As estações podem ser visualizadas na Figura 2.

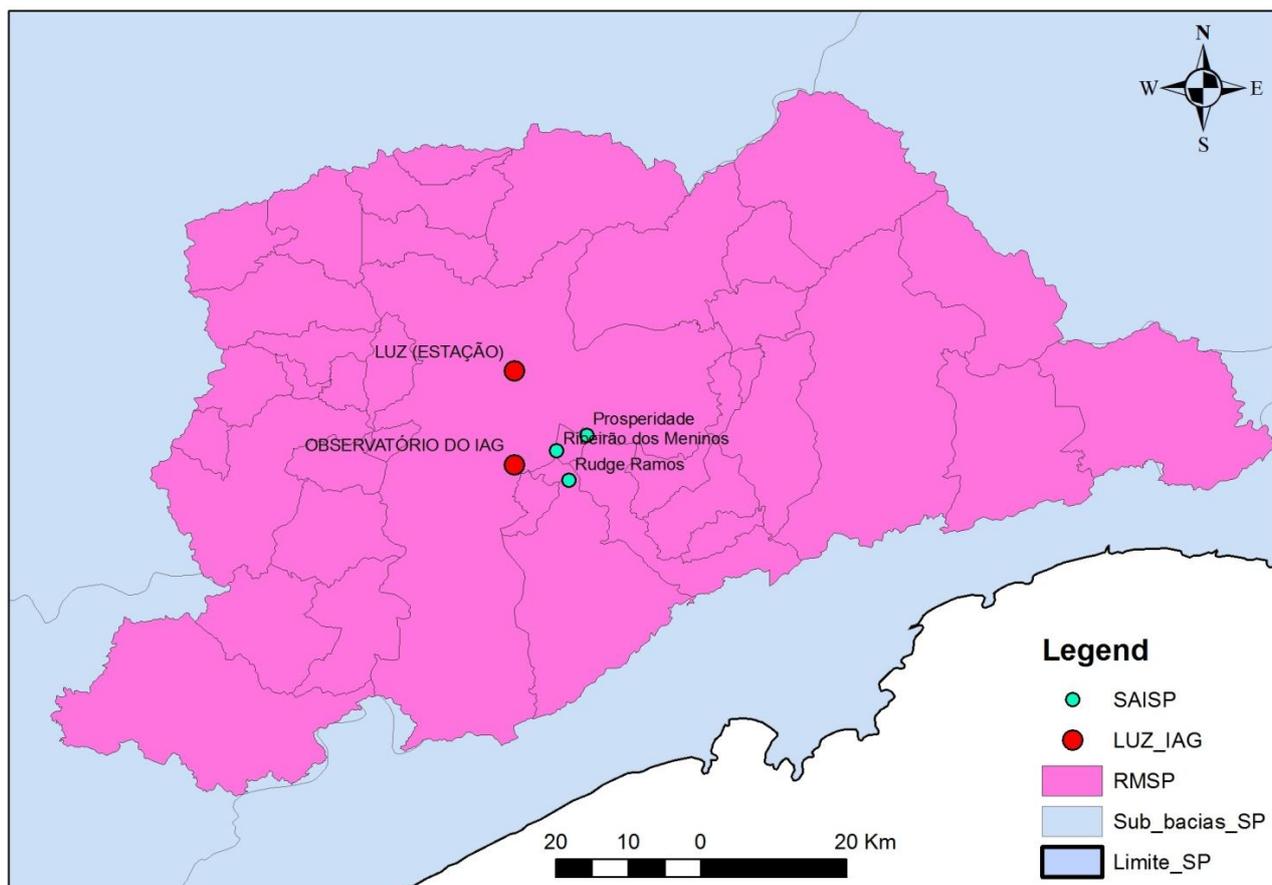


Figura 2. Localização das estações da LUZ, do IAG e estações do SAISP

## 2.3 - Análises estatísticas

Os dados das estações pluviométricas da LUZ e IAG foram obtidos do site da Agência Nacional de

Águas (ANA) até o ano de 2004. A partir de 2004, os dados da estação do IAG e os dados das estações telemétricas do SAISP foram fornecidos pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH).

Foram analisadas as máximas chuvas diárias observadas por ano hidrológico na estação da LUZ, que possui a maior série histórica na região, com 127 anos de leitura, dados disponíveis de 1888 até 2004. A outra estação escolhida para análise dos dados foi a estação do IAG, que possui dados de 1933 a 2010, é uma série sem falhas em todo o período de leituras e permite analisar os eventos de 2009 e 2010, visto que a série da LUZ possui dados somente até 2004. Os dados das máximas diárias das duas estações se encontram nas figuras 3 e 4.

As séries de chuvas máximas foram analisadas por ano hidrológico, que na região Sudeste corresponde ao período de outubro de um ano até setembro do ano seguinte. Nas figuras que seguem, os anos contidos nos eixos correspondem ao final do ano hidrológico. O ano de 1940, por exemplo, corresponde ao ano hidrológico 1939-1940, com início em outubro de 1939 e término em setembro de 1940.

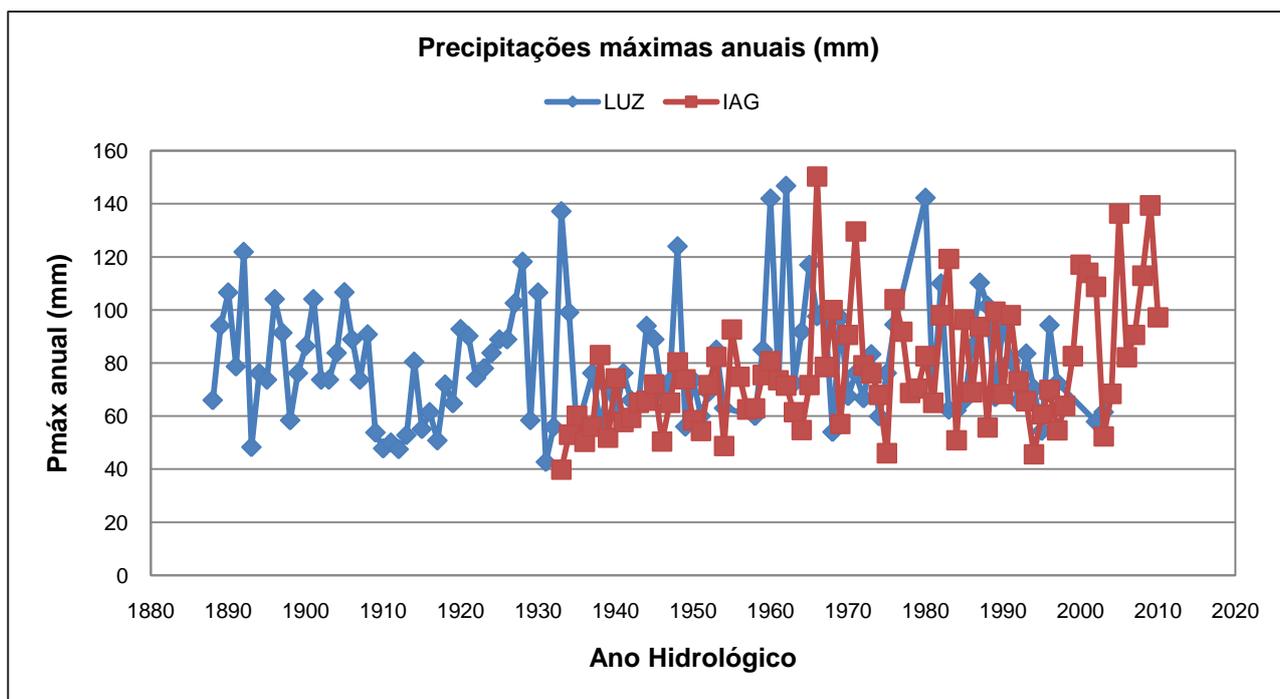


Figura 3: Chuvas máximas diárias anuais das estações da LUZ e do IAG

Na figura 3 nota-se que a série do IAG possui médias das máximas diárias menores que as da estação da LUZ no período de 1933 a 1964.

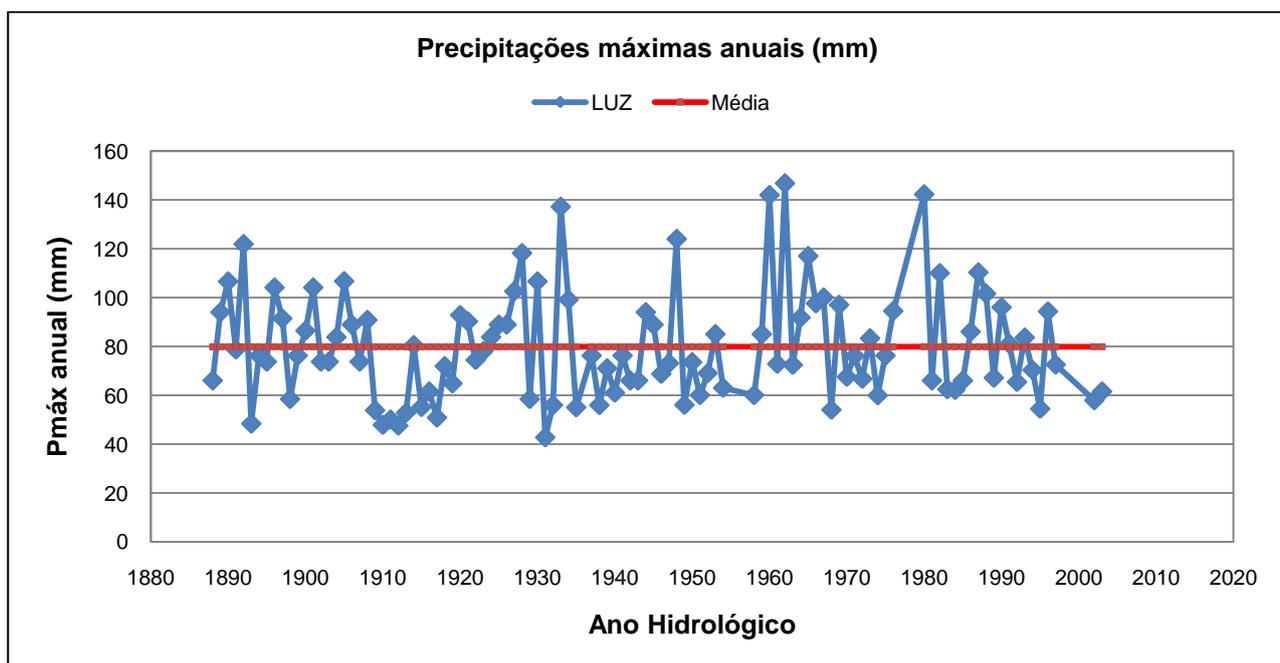


Figura 4: Chuvas máximas diárias anuais e média das máximas da estação da LUZ

Na figura 4, verifica-se que a estação da LUZ não possui tendência aparente, que será verificada posteriormente através de testes de hipóteses de independência, homogeneidade e estacionariedade.

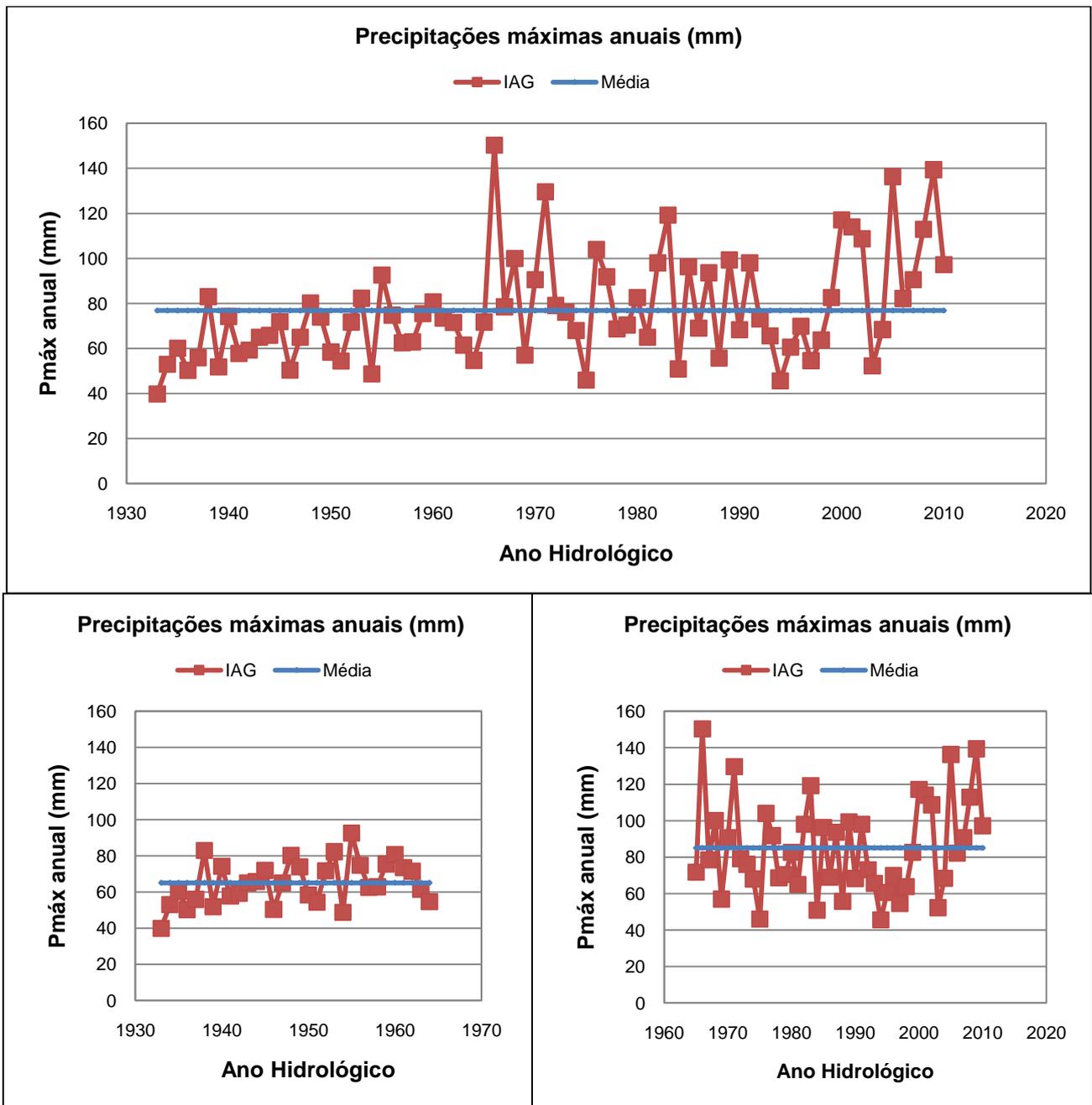


Figura 5: Chuvas máximas diárias anuais e médias das máximas da estação do IAG para os três períodos.

Na figura 5, percebe-se que série do IAG possui uma nítida alteração em seus valores a partir de 1965. A série parece ter duas médias diferentes, uma para o período de 1933 a 1964 e outra para o período de 1965 a 2010. Já a estação da LUZ possui série aparentemente sem qualquer tipo de tendência.

Existem inúmeras hipóteses para esta mudança de comportamento no posto do IAG, mas não parece ser uma indicação de ação antrópica de longo prazo. Dentre as hipóteses prováveis podem ser citados: a remoção de algum obstáculo próximo, a mudança de local do posto, a mudança no sensor, mas estes dados teriam que ser investigados. A estação está localizada dentro do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) desde sua instalação em 1933.

Para analisar as médias, a série do IAG foi dividida em dois períodos, o primeiro de 1933 a 1964 (denominada série 1) e o segundo de 1965 a 2010 (denominada série 2). Foi feito o teste paramétrico sobre as médias de duas populações normais, sendo a hipótese nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = \delta = 0$  e a hipótese alternativa (contrária a  $H_0$ )  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \delta$  com nível de significância  $\alpha = 0,01$ ,  $\alpha = 0,05$  e  $\alpha = 0,10$ .

Admitiu-se que as variâncias populacionais  $\sigma_1^2$  e  $\sigma_2^2$  são desconhecidas, supostas desiguais e estimadas por  $S_1^2$  e  $S_2^2$

Segundo Naguettini e Pinto (2007), as fórmulas utilizadas para o cálculo das estatísticas do teste seguem uma distribuição T que pode ser aproximada por uma t de student com o cálculo dos graus de liberdade ( $\nu$ ), sendo:

$$\text{Estatística do teste: } T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - \delta}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{N_1}\right) + \left(\frac{S_2^2}{N_2}\right)}} \quad (1)$$

$$\text{Graus de liberdade: } \nu = \frac{\left[\left(\frac{S_1^2}{N_1}\right) + \left(\frac{S_2^2}{N_2}\right)\right]^2}{\left[\frac{\left(\frac{S_1^2}{N_1}\right)^2}{(N_1-1)} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{N_2}\right)^2}{(N_2-1)}\right]} \quad (2)$$

Onde:  $\bar{X}_1$ ,  $S_1^2$  e  $N_1$ ;  $\bar{X}_2$ ,  $S_2^2$  e  $N_2$  são as médias amostrais, variâncias amostrais e tamanhos das séries do primeiro e segundo períodos analisados.

$$\text{O teste é bicaudal e rejeita-se } H_0 \text{ se } \left| \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - \delta}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{N_1}\right) + \left(\frac{S_2^2}{N_2}\right)}} \right| > t_{1-\frac{\alpha}{2}; \nu} \quad (3)$$

Tabela 1: Média, desvio-padrão e variância estimados das séries 1 (1933 – 1964), 2 (1964-2010) e da série completa (1933-2010)

Período	Média ( $\bar{X}$ )	Desvio-padrão (S)	Variância ( $S^2$ )	Tamanho da amostra (N)
1933-1964	65,1	12,1	147,2	32
1965-2010	85,1	25,7	662,4	46
1933 -2010	76,9	23,3	544,0	78

Substituindo-se os dados da tabela 1 nas equações 1 e 2, tem-se  $T = -4,58$  e  $\nu = 68$

Substituindo-se os valores de T e  $\nu$  na equação 3, obtém-se os resultados dos testes de hipóteses para os níveis de significância de 1, 5 e 10% que são mostrados na tabela 2.

Tabela 2: Testes de hipóteses

$\alpha$	$t(1-\alpha/2; 68)$	T	se $T > t$ , rejeita-se $H_0$
0,01	1,66	4,58	rejeita $H_0$
0,05	1,99	4,58	rejeita $H_0$
0,10	1,64	4,58	rejeita $H_0$

Portanto, para todos os níveis de significância considerados, a hipótese nula foi rejeitada, indicando que as médias são significativamente diferentes entre si.

Foram feitos testes não paramétricos para verificar a independência, homogeneidade e estacionariedade dos dados para todo o período e para os períodos de 1933 a 1964 e 1965 a 2010. O nível de significância adotado foi de 5%.

Para verificar a independência das séries de máximas, foi utilizado o teste de Wald e Wolfowitz, para a homogeneidade, o teste de Mann e Whitney e estacionariedade o teste de Spearman (Naguettini e Pinto, 2007, pag. 264 a 266).

O resumo dos resultados dos testes não paramétricos encontra-se na tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos testes não paramétricos com  $\alpha = 0,05$ 

Estação	Duração (dias)	Intervalo	Independência	Homogeneidade	Estacionariedade
IAG	1	1933-2010	aceita $H_0$	rejeita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	2	1933-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	3	1933-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	4	1933-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	5	1933-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	6	1933-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	7	1933-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	8	1933-2010	aceita $H_0$	rejeita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	9	1933-2010	aceita $H_0$	rejeita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	10	1933-2010	aceita $H_0$	rejeita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	15	1933-2010	aceita $H_0$	rejeita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	20	1933-2010	aceita $H_0$	rejeita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	30	1933-2010	aceita $H_0$	rejeita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	45	1933-2010	aceita $H_0$	rejeita $H_0$	rejeita $H_0$
IAG	1	1933-1964	aceita $H_0$	-	aceita $H_0$
IAG	2	1933-1964	aceita $H_0$	-	rejeita $H_0$
IAG	3	1933-1964	aceita $H_0$	-	rejeita $H_0$
IAG	4	1933-1964	aceita $H_0$	-	rejeita $H_0$
IAG	5	1933-1964	aceita $H_0$	-	aceita $H_0$
IAG	6	1933-1964	aceita $H_0$	-	aceita $H_0$
IAG	7	1933-1964	aceita $H_0$	-	aceita $H_0$
IAG	8	1933-1964	aceita $H_0$	-	aceita $H_0$
IAG	9	1933-1964	aceita $H_0$	-	aceita $H_0$
IAG	10	1933-1964	aceita $H_0$	-	aceita $H_0$
IAG	15	1933-1964	aceita $H_0$	-	rejeita $H_0$
IAG	20	1933-1964	aceita $H_0$	-	aceita $H_0$
IAG	30	1933-1964	aceita $H_0$	-	aceita $H_0$
IAG	45	1933-1964	aceita $H_0$	-	rejeita $H_0$
IAG	1	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	2	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	3	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	4	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	5	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	6	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	7	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	8	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	9	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	10	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	15	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	20	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	30	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
IAG	45	1965-2010	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$
LUZ	1	1988-2004	aceita $H_0$	aceita $H_0$	aceita $H_0$

A estação do IAG possui séries independentes para todas as durações e todos os períodos analisados. Analisando as séries completas, de 1933 a 2010, elas não são homogêneas para as durações

de 1, 8, 9, 10, 15, 20, 30 e 45 dias e não são estacionárias para todas as durações (tabela 3). Os resultados indicam que existe tendência nessas séries se for considerado todo o período.

Para o período 1993 – 1964 as séries foram consideradas não estacionárias para as durações de 2, 3, 4, 15 e 45 dias.

Quando são analisadas as séries das máximas para o período de 1965 a 2010, verifica-se que além de independentes, elas são homogêneas e estacionárias para todas as durações, não havendo tendência de aumento ou diminuição das intensidades das chuvas para todas as durações no período considerado.

As séries não são estacionárias se for analisado o período completo de observação, mas quando são divididas em duas séries, a série inicial não é estacionária para algumas durações, mas o segundo período é independente, homogêneo e estacionário para todas as durações. Esses resultados indicam que a não estacionariedade na série do IAG é causada pelos valores menores observados no primeiro período de 1933 a 1964. Esse tipo de análise é importante para tratar do problema de estacionariedade. Se houver evidências de que realmente a série sofreu alguma influência que ocasionou esses valores inferiores, pode-se como alternativa descartar o primeiro período da série e considerar a série apenas depois de 1964.

Os resultados dos testes da estação da LUZ, que não apresentava tendência aparente (Figura 4) indicam que a série de máximas diárias é independente, homogênea e estacionárias (tabela 3) desde que começaram as leituras em 1888 até 2004.

## 2.4 - Análise dos dados de 2009 e 2010 da estação do IAG

A figura 5 apresenta os totais mensais dos anos de 2009 e 2010 e as médias mensais da série histórica do IAG calculadas para o período de 1933 a 2010.

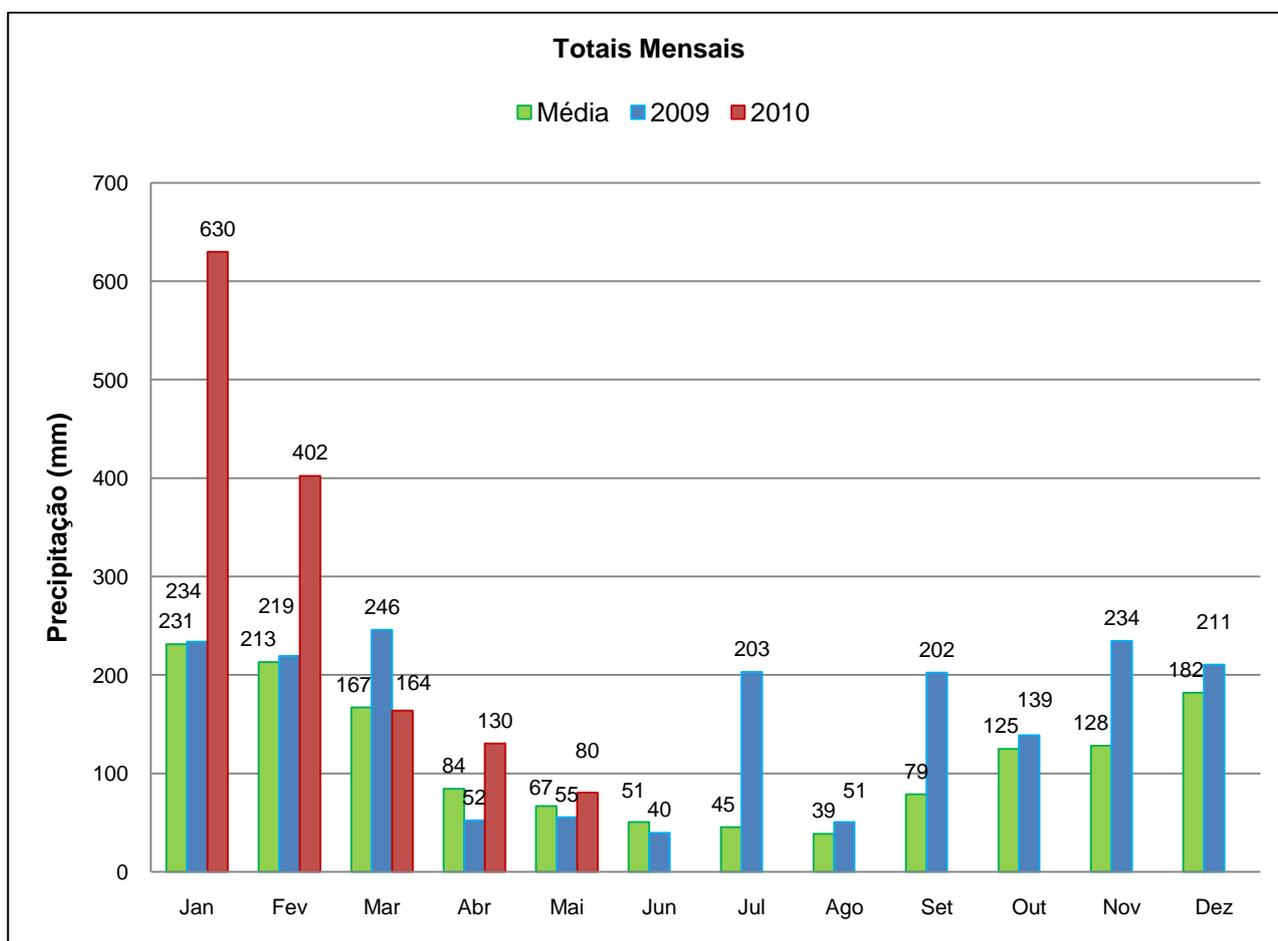


Figura 6. Média histórica e totais mensais observados em 2009 e 2010 na estação do IAG

Nota-se que desde julho de 2009 os totais mensais são maiores do que as médias históricas, com destaque para o mês de janeiro de 2010, onde o total mensal atingiu 630 mm, cerca de 45% da média anual da estação. De dezembro a fevereiro choveu 1243 mm, 84% do que em média chove o ano todo na estação. Em três meses choveu aproximadamente o que em média chove no ano inteiro.

Os valores mensais foram comparados com dados de algumas estações telemétricas pertencentes ao Sistema de Alerta a Inundações do Estado de São Paulo (SAISP), operado pela Fundação Centro

Tecnológico de Hidráulica (FCTH) com o intuito de verificar se os dados são consistentes. Os valores são mostrados na tabela 4

Tabela 4. Totais Mensais das estações do SAISP e IAG nos meses de dezembro de 2009, janeiro e fevereiro de 2010

<b>Estação Telemétrica (SAISP) e IAG</b>	<b>Total mensal dez/09 (mm)</b>	<b>Total mensal jan/2010 (mm)</b>	<b>Total mensal fev/2010 (mm)</b>
Rudge Ramos	339,3	757,0	380,2
Ribeirão dos Meninos	244,2	582,4	334,4
Vila Prosperidade	230,9	617,6	334,8
IAG	210,6	629,8	402,2

Na análise dos totais mensais de dezembro de 2009, janeiro e fevereiro de 2010, percebe-se que os valores observados foram extremamente elevados.

As estações telemétricas do SAISP confirmam os valores de chuva elevados nos meses de dezembro de 2009, janeiro e fevereiro de 2010 (tabela 4). Na estação Rudge Ramos choveu 757 mm em janeiro e se forem somados os meses de novembro de 2009, dezembro e janeiro de 2010 desta estação, o total acumulado corresponde a 1476,5 mm, que é em média o que chove o ano todo na RMSP.

Em seguida foram verificados os valores máximos dos totais mensais dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro das duas estações, LUZ e IAG, como mostra a tabela 5.

Tabela 5. Máximas históricas dos meses de janeiro, fevereiro e março das estações do IAG e LUZ e ano de ocorrência

<b>Estação/Ano</b>	<b>Total mensal max dezembro (mm)</b>	<b>Total mensal max janeiro (mm)</b>	<b>Total mensal max fevereiro (mm)</b>
LUZ	452,5	552,3	<b>579,4</b>
Ano	1930	1929	1942
IAG	386,4	<b>629,8</b>	439,6
Ano	1996	2010	1995

O total mensal de janeiro de 2010 corresponde ao máximo total mensal de toda a série histórica do IAG. Esse valor de 629,8 mm também é maior que o máximo total mensal histórico da estação da LUZ, que possui leituras desde 1888 e cujo maior valor, observado em fevereiro de 1942, é de 579,4 mm. Provavelmente o total mensal de janeiro de 2010 seja o máximo valor mensal observado desde que se iniciaram as leituras na RMSP.

Depois de verificados os valores elevados nestes meses seguidos, foi feito o estudo de volumes de chuvas acumulados durante vários dias consecutivos.

Foram calculadas as máximas chuvas diárias da estação do IAG por ano hidrológico. Depois foram acumulados os totais diários para as durações de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 30 e 45 dias. Os máximos valores para cada duração foram calculados (por ano hidrológico) e em seguida plotados em um gráfico, que pode ser visto na figura 7.

No eixo das ordenadas está a precipitação acumulada para cada duração considerada. No eixo das abscissas estão as durações. Para cada ano hidrológico foram calculados todos os valores acumulados do mesmo modo que se calcula a média móvel, mas neste caso o valor calculado era o acumulado móvel para cada duração. Destes valores foram retirados os máximos acumulados para cada duração em cada ano hidrológico. No ano de 2010, por exemplo, estão plotadas as máximas precipitações acumuladas de 1 dia, 2 a 10 dias, 15 dias, 20, 30 e 45 dias.

Na figura 7 pode-se notar que os eventos de dias acumulados do ano hidrológico de 2009/2010 foram os mais elevados das séries históricas para as durações iguais ou superiores a 5 dias. Se fossem analisadas apenas as máximas diárias, o valor correspondente de 97,2 mm da chuva máxima diária de 2009/2010 seria um pouco maior que a média das máximas de 1 dia e não seria notada a real magnitude do volume de chuvas acumulado no período.



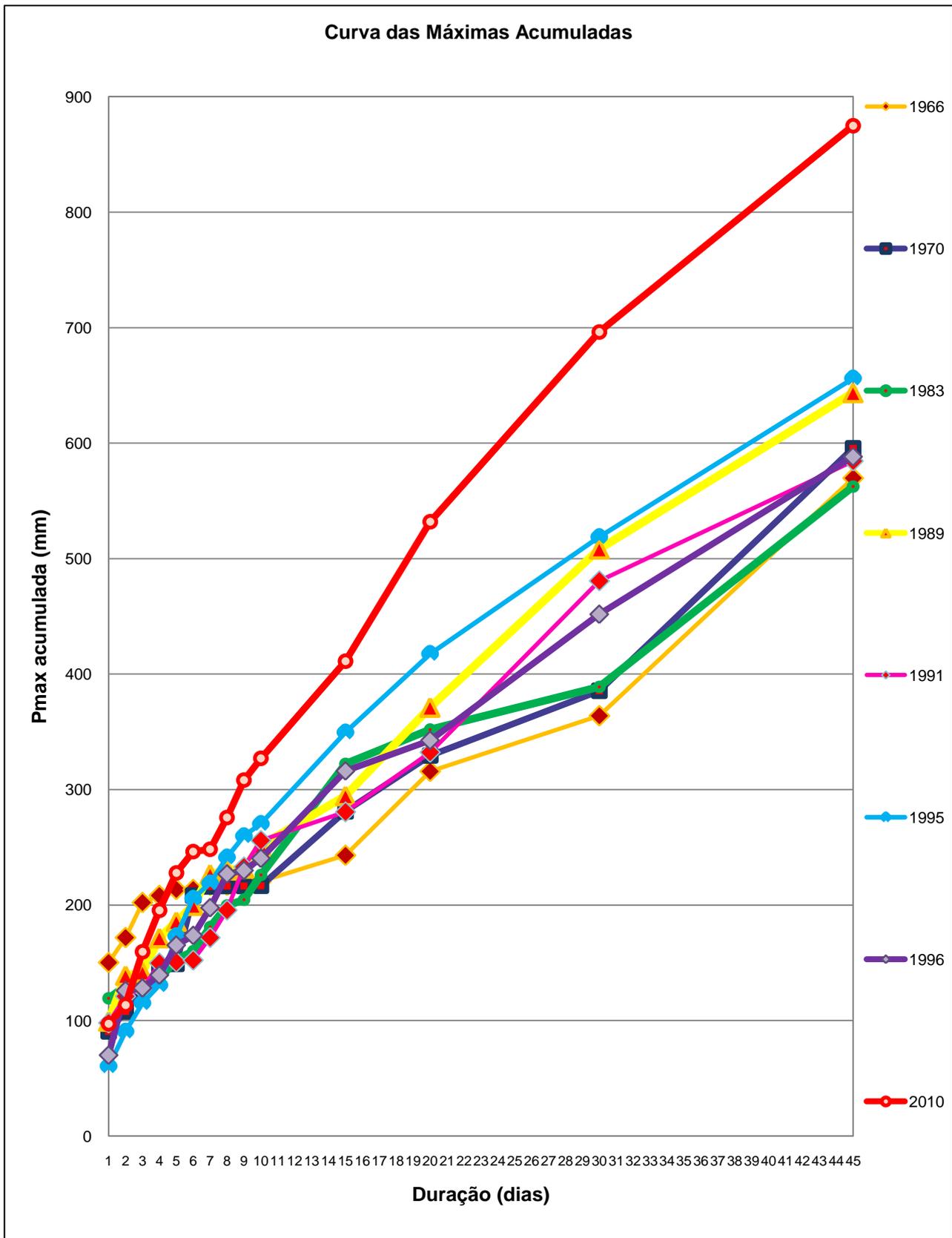


Figura 8. Eventos Seleccionados de Máximos Acumulados

A figura 8 mostra alguns dos maiores volumes acumulados em 45 dias. Se for observado o evento de 1966, que corresponde à máxima chuva diária observada no posto do IAG de 150,3 mm, percebe-se que neste ano acontecem os maiores eventos com duração de 1 a 3 ou 4 dias, mas para durações maiores que 5 dias a magnitude dos eventos começa a decrescer. O evento de 1995 é o segundo maior se consideradas

as durações maiores que 7 dias, para durações menores, os valores não são tão significantes, como acontece no ano hidrológico de 2009/2010.

Na tabela 6 encontram-se os anos em que ocorreram eventos El Niño e as intensidades fraca, moderada e forte. Esta tabela foi utilizada na interpretação dos dados para verificar se existe alguma relação entre as chuvas de maiores magnitudes e a ocorrência de El Niño.

Tabela 6. Anos em que ocorreram eventos El Niño

Ocorrências de El Niño			
1877 - 1878		1888 - 1889	
1896 - 1897		1899	
1902 - 1903		1905 - 1906	
1911 - 1912		1913 - 1914	
1918 - 1919		1923	
1925 - 1926		1932	
1939 - 1941		1946 - 1947	
1951		1953	
1957 - 1959		1963	
1965 - 1966		1968 - 1970	
1972 - 1973		1976 - 1977	
1977 - 1978		1979 - 1980	
1982 - 1983		1986 - 1988	
1990 - 1993		1994 - 1995	
1997 - 1998		2002 - 2003	
2004 - 2005		2006 - 2007	
2009 - 2010		-	
Legenda	Forte	Moderado	Fraco

Fonte: INPE 2011

Comparando-se os maiores eventos de máximas chuvas acumuladas mostrados na figura 8 e os anos de ocorrência de eventos El Niño da tabela 6, nota-se que apenas nos anos hidrológicos de 1988-1989 e 1995-1996 (que na figura correspondem aos anos de 1989 e 1996) não observou-se a ocorrência de El Niño. Pode-se concluir preliminarmente que a maioria dos eventos acumulados com durações de 45 dias coincidem com a ocorrência de anos El Niño.

### 3 - CONCLUSÕES

Quando analisada a série de máximas chuvas diárias da estação da LUZ, que possui uma série longa, com 127 anos de dados e leituras de 1888 até 2004, não se observa alteração na magnitude dos eventos. Os testes não paramétricos de independência, homogeneidade e estacionariedade confirmam o fato de não haver tendência de aumento ou diminuição das chuvas máximas diárias observadas nesta estação.

As séries do posto IAG não são estacionárias quando analisado todo o período de observação, indicando que existe tendência de aumento em seus valores. Quando a série é dividida em duas, a série que corresponde ao período inicial não é estacionária para algumas durações, mas o segundo período, que começa em 1965, é independente, homogêneo e estacionário para todas as durações. Existe uma nítida mudança em seus valores para os dois períodos analisados, sendo o segundo período com médias bem superiores ao primeiro (figura 5)

O mês de janeiro de 2010 foi o mês mais chuvoso de toda a série histórica do IAG, com um total mensal acumulado de 629,8 mm, sendo maior também que a máxima leitura da estação da LUZ, de 579,4 mm, observada em fevereiro de 1942 (tabela 5). O volume precipitado em janeiro de 2010 tem chance de ser o máximo valor registrado na RMSP desde que são feitas leituras. As estações da SAISP foram de grande ajuda no trabalho, pois, através delas, pôde-se confirmar os valores realmente elevados das chuvas de dezembro, janeiro e fevereiro (2009/2010). Na estação Rudge Ramos foi registrado um volume de chuvas ainda maior para o mês de janeiro de 2010.

Quando são analisados os volumes acumulados através de vários intervalos de durações, percebe-se que para durações acima de 5 dias os eventos de 2010 são os maiores registrados em toda a série histórica desde 1933 (figura 7).

O trabalho mostra a importância da análise de volumes acumulados e não somente verificar as séries de máximas chuvas diárias isoladamente. Algumas análises como chuvas máximas diárias não revelam a existência de muitos dias consecutivos de chuva e a real situação de saturação da bacia hidrográfica em consequência dos muitos dias de chuva.

No ano de 2010, se fosse analisada somente a chuva máxima diária de 97,2 mm, ela corresponderia a um valor um pouco acima da média observada na série histórica das chuvas máximas de 1 dia, que varia de 39,8 (mínima das máximas) a 150,3 mm (máxima observada). Estas análises dos volumes acumulados são importantes para dimensionamento de sistemas de drenagem urbana em regiões de grande complexidade como são as regiões metropolitanas. Na análise de chuvas diárias não se percebe a real magnitude dos volumes de chuvas acumulados durante vários dias na bacia hidrográfica.

Nota-se que os maiores eventos acumulados para durações elevadas de 45 dias (figura 8) ocorreram após o ano de 1965, que corresponde ao segundo período analisado da série histórica do IAG. Seis dos oito maiores eventos observados ocorrem em anos de El Niño.

Os eventos de 2009/2010, se analisados diariamente, não foram de magnitudes elevadas, porém o efeito de vários dias de chuva, com grande volume precipitado foi mandatório para a ocorrência de inundações na bacia hidrográfica, as principais obras de drenagem falharam.

Certamente após os eventos observados em 2009 e 2010 os critérios de projeto de sistemas de drenagem urbana complexos, como o da RMSP, deverão ser revistos.

## AGRADECIMENTOS

Ao DAEE-CTH e FCTH por disponibilizarem os dados das estações utilizadas neste estudo.

## BIBLIOGRAFIA

EMPLASA – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano; “*Região Metropolitana de São Paulo – Dados*”. Website acessado em 06 de maio de 2011.

[http://www.emplasa.sp.gov.br/portalemplasa/infometropolitana/rmsp/rmsp\\_dados.asp](http://www.emplasa.sp.gov.br/portalemplasa/infometropolitana/rmsp/rmsp_dados.asp)

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Website acessado em 10 de maio de 2011.

[http://enos.cptec.inpe.br/tab\\_elnino.shtml](http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml)

MENDONÇA, F., PINTO, DANNI-OLIVEIRA; I. M. (2007). *Climatologia – noções básicas e climas no Brasil*. Oficina de Textos, 206p.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM, 561p.

PEREIRA FILHO, A. J.; BARROS, M. T. L.; HALLAK, R.; GANDU, A.W. (2004). *Enchentes na Região Metropolitana de São Paulo: aspectos de mesoescala e avaliação de impactos*. XIII CBMET. Anais. Fortaleza, CE. 2004. CDROM.

ROSAL, M. C. F.; MEDEIROS, V. S. (2010). “*Análise das precipitações máximas e dos eventos extremos ocorridos em São Luís do Paraitinga e municípios vizinhos*”. In Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza, CE, 2010. CD-ROM.