ENTRELUGAR

AS CHUVAS NA GRANDE SÃO PAULO: IMPLICAÇÕES NA PRODUÇÃO DE ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO

THE RAINS IN THE GREATER SÃO PAULO: IMPLICATIONS ON THE WATER PRODUCTION FOR PUBLIC SUPPLY

LAS LLUVIAS EN LA GRANDE SÃO PAULO: IMPLICACIONES EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO

João Afonso Zavattini
Prof. Colaborador do PPGG da UFSC (Florianópolis)
zavattini@hotmail.com

Pedro Augusto Breda Fontão
Doutor em Geografia pelo PPGG da UNESP (Rio Claro)
pedrofontao@yahoo.com.br

Resumo: Esta pesquisa analisa as variações da pluviosidade e suas implicações nos mananciais e no abastecimento público da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Os dados utilizados provieram da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), responsável pela captação, armazenamento, tratamento e distribuição de água para mais de 21 milhões de pessoas, e da estação "Mirante de Santana" do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram analisadas as chuvas anuais (2003-2017) e mensais (janeiro/2003-junho/2018) em seis sistemas produtores de água: Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Alto Cotia, Rio Grande e Rio Claro; e, também, as chuvas diárias durante a "crise hídrica" de 2014-2015. O principal objetivo desta pesquisa foi o de compreender o ritmo de sucessão dos estados atmosféricos associado às chuvas.

Palavras-chave: Chuva; Grande São Paulo; Crise Hídrica; Abastecimento Público; Mananciais.

Abstract: This research analyzes the rainfall variations and their implications in the water sources and urban public supply of the São Paulo Metropolitan Region (SPMR). The data used came from the Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), company responsible for the water collection, storage, treatment and distribution for more than 21 million people, and also the Mirante de Santana weather station of the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). The annual rainfall (2003-2017) and monthly rainfall (January/2003 - June/2018) were analyzed in the six water-producing systems: Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Alto Cotia, Rio Grande and Rio Claro; and also the daily rainfall during the "water crisis" of 2014-2015. The main objective of this study was to understand the rhythm of succession of the weather types and the associated rainfall.

Keywords: Rain; The Greater São Paulo; Water Crisis; Public Supply; Water Sources.

Resumen: Esta investigación analiza las variaciones de precipitación y sus implicaciones en las fuentes de agua y abastecimiento público urbano de la Región Metropolitana de São Paulo (RMSP). Los datos utilizados proceden de la Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), empresa encargada de la recolección de agua, almacenamiento, tratamiento y distribución para más de 21 millones de personas, y también de la estación meteorológica Mirante de Santana del Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). La precipitación anual (2003-2017) y la precipitación mensual (Enero/2003-Junio/2018) se analizaron en los seis sistemas de producción de agua: Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Alto Cotia, Rio Grande y Rio Claro; y también la precipitación diaria durante la "crisis del agua" de 2014-2015. El objetivo principal de este estudio fue comprender el ritmo de sucesión de los tipos de tiempo asociado con las lluvias.

Palabras clave: Lluvia; La Grande São Paulo; La “Crisis del Agua”; Abastecimiento Público; Fuentes de Agua.

PREÂMBULO

Desde meados do século XX inúmeros autores vêm investigando a pluviosidade no estado de São Paulo, muitos dos quais dedicando especial atenção à distribuição das chuvas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Todo esse

esforço de pesquisa resultou em pesquisas acadêmicas, ou trabalhos institucionais, quase sempre consideradas obras de referência, mas que dificilmente alcançam o grande público, principalmente aquele que costuma ser mais afetado pelas excepcionalidades do ritmo pluvial (FRANÇA, 1946; SCHRÖDER, 1956; SETZER, 1966; MONTEIRO, 1969; 1971; 1973; TOLEDO, 1973; TARIFA, 1975; SANT'ANNA NETO, 1995; ALVES FILHO, 1996; 2003; CABRAL, 2002; DUFEK & AMBRIZZI, 2008; CUSTÓDIO, 2012; 2015; PIVETTA, 2012; DIAS et al., 2013; OBREGÓN et al., 2014; CESAR NETO, 2015; COELHO et al., 2016; FONTÃO, 2018; dentre outros).

Contudo, a partir do biênio 2014-2015, quando a RMSP enfrentou severa "crise hídrica" (SABESP, 2015), esse panorama começou a se modificar, já que uma parcela significativa de seus habitantes, por absoluta necessidade, voltou sua atenção para as variações do ritmo das chuvas na Grande São Paulo. Consequentemente, muitos deles conseguiram entender que existem não somente as *variações habituais* da pluviosidade (muito frequentes, com implicações pontuais) como, também, as *variações excepcionais* (pouco frequentes, com implicações generalizadas). Tal compreensão possibilitou-lhes o engajamento no combate ao desperdício de água e na fiscalização do poder público diretamente responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos metropolitanos.

Para o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a população dos 39 municípios que integram a RMSP já superou os 21 milhões de pessoas[1] (tabela 1). De acordo com informações da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA, 2018) a RMSP, considerada o maior polo de riqueza do país, é composta pelo município de São Paulo e por mais outros 38, distribuídos por cinco sub-regiões[2] (figura 1 e tabela 2).

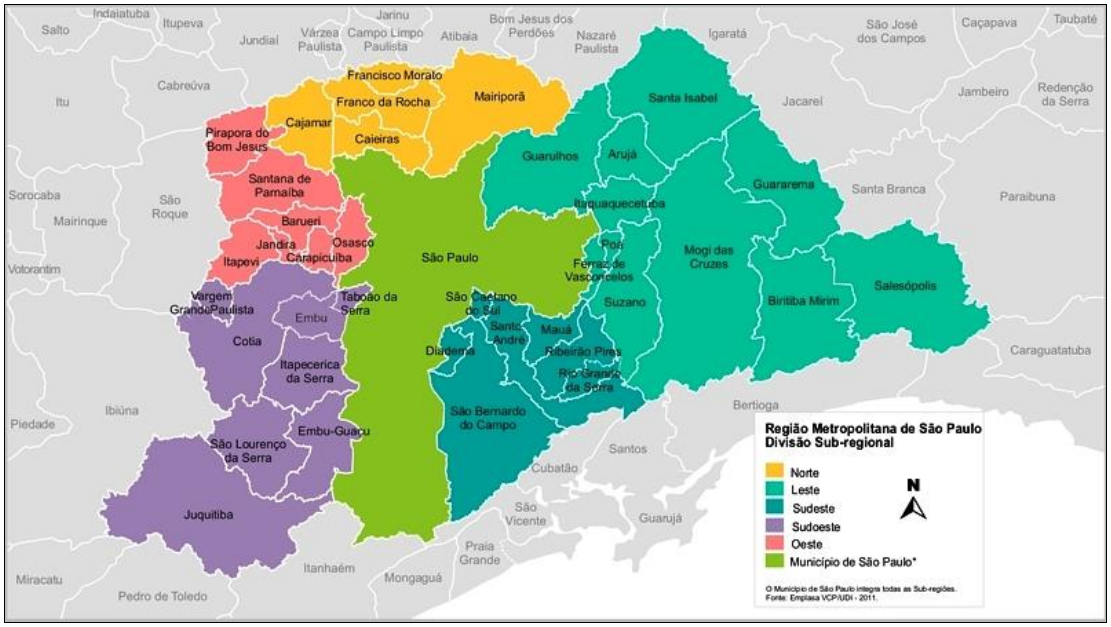
[1] "Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2017". IBGE, 2018. www.ibge.gov.br Acesso em: 02 julho 2018.
[2] "Região Metropolitana de São Paulo". EMPLASA, 2018. www.emplasa.sp.gov.br Acesso em: 02 julho 2018.

Tabela 1- Estimativas de População para os Municípios da RMSP

Nº	Município	População	Nº	Município	População
1	Arujá	86.430	21	Mairiporã	95.601
2	Barueri	267.534	22	Mauá	462.005
3	Biritiba-Mirim	31.793	23	Mogi das Cruzes	433.901
4	Caieiras	98.223	24	Osasco	697.886
5	Cajamar	73.921	25	Pirapora do Bom Jesus	18.174
6	Carapicuíba	396.587	26	Poá	115.488
7	Cotia	237.750	27	Ribeirão Pires	121.848
8	Diadema	417.869	28	Rio Grande da Serra	49.408
9	Embu das Artes	267.054	29	Salesópolis	16.903
10	Embu-Guaçu	68.270	30	Santa Isabel	56.014
11	Ferraz de Vasconcelos	188.868	31	Santana de Parnaíba	131.887
12	Francisco Morato	171.602	32	Santo André	715.231
13	Franco da Rocha	149.502	33	São Bernardo do Campo	827.437
14	Guararema	28.978	34	São Caetano do Sul	159.608
15	Guarulhos	1.349.113	35	São Lourenço da Serra	15.465
16	Itapecerica da Serra	170.927	36	São Paulo	12.106.920
17	Itapevi	229.502	37	Suzano	290.769
18	Itaquaquecetuba	360.657	38	Taboão da Serra	279.634
19	Jandira	121.492	39	Vargem Grande Paulista	50.346
20	Juquitiba	31.027	40	RMSP (População Total)	21.391.624

Fonte: IBGE (2018)

Figura 1 - Municípios e Sub-regiões da RMSP



Fonte: EMPLASA (2018)

Tabela 2 – Sub-regiões e Municípios da RMSP

Nº	Sub-região	Município
1	Norte	Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha e Mairiporã
2	Leste	Arujá, Biritiba-Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis, Santa Isabel e Suzano
3	Sudeste	Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul
4	Sudoeste	Cotia, Embu das Artes, Embu-Guaçu, Itapecerica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista
5	Oeste	Barueri, Carapicuíba, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus e Santana de Parnaíba
6		São Paulo (município que integra todas as sub-regiões acima)

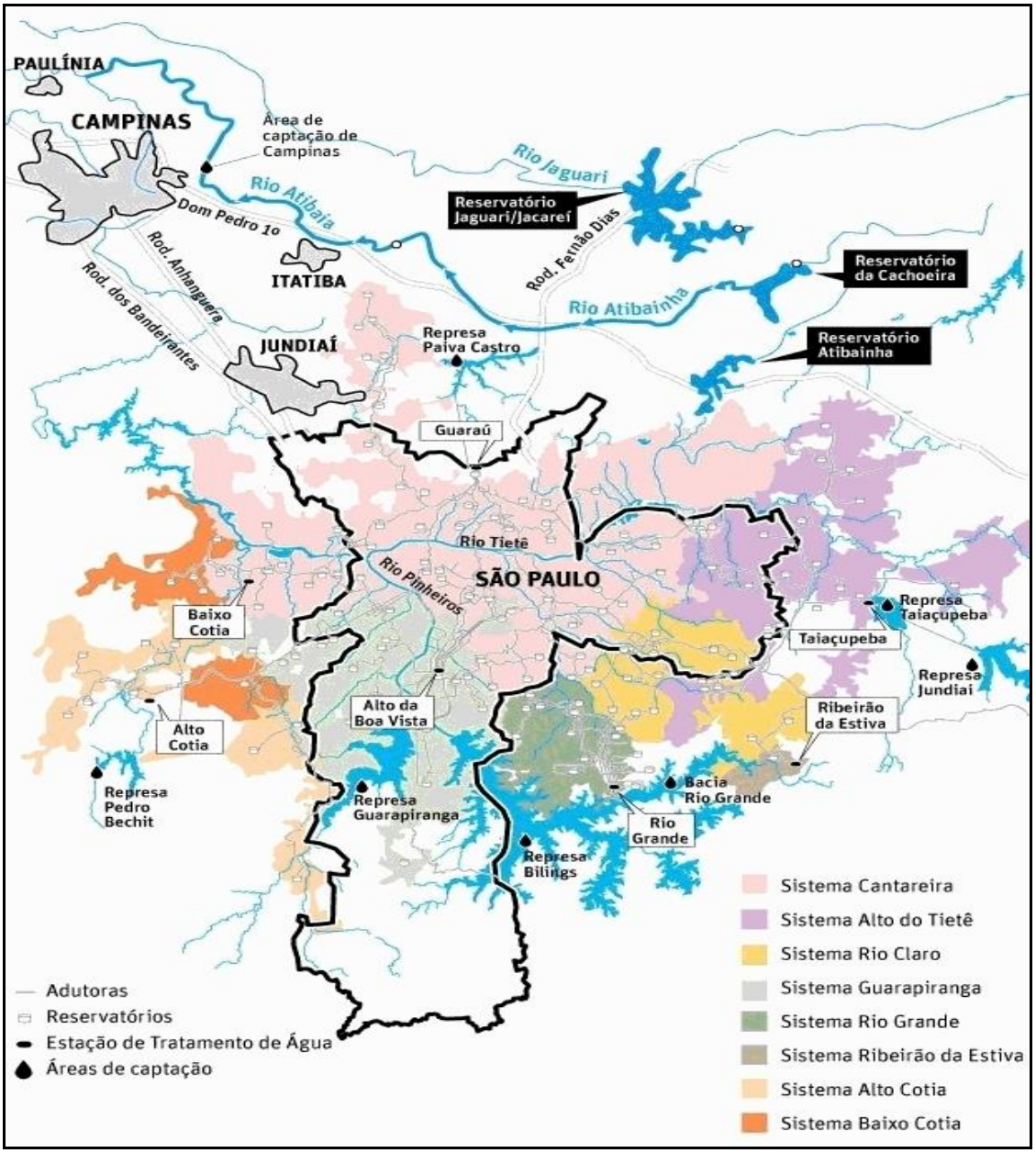
Fonte: EMPLASA (2018)

MANANCIAIS E SISTEMAS PRODUTORES DE ÁGUA DA RMSP

A RMSP - o maior aglomerado urbano brasileiro - no tocante a mananciais e sistemas produtores de água para o abastecimento público, conta com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), cujos serviços são: captação, tratamento e distribuição de água, além da coleta e tratamento de esgotos. Os mananciais da RMSP estão localizados nos seus arredores, espalhados pelos pontos cardeais e colaterais do seu vasto território (7.946,96 km²), e são representados basicamente por represas e barragens, cuja principal finalidade é a de armazenar água durante o período das chuvas para que o fornecimento à população possa ser mantido mesmo durante o período de estiagem. Além do mais, as represas e barragens também são úteis no controle das cheias, pois retêm parte da vazão que alcançaria os núcleos urbanos da região metropolitana paulista e, desta maneira, são capazes de evitar- ou reduzir - os impactos das inundações. A SABESP gerencia o **Sistema Integrado Metropolitano**[3], composto por várias represas e por seis grandes sistemas produtores de água para o abastecimento público, a saber: o Cantareira, o Alto Tietê, o Guarapiranga, o Rio Grande, o Rio Claro e o Cotia (figura 2).

[3] www.sabesp.com.br Acesso em: 3 julho 2018.

Figura 2 - Mananciais e Sistemas Produtores de Água da RMSP



Fonte: Folha de São Paulo, Caderno Cotidiano, p.C4 (adaptado) (04/02/2014)

O **Sistema Cantareira** - o maior dentre os seis sistemas mencionados - localiza-se ao norte da RMSP e possui seis represas. Quatro delas (Jaguari, Jacareí, Cachoeira e Atibainha) pertencem a bacia hidrográfica formada pelos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí; as outras duas represas (Paiva Castro e Águas Claras) estão na bacia hidrográfica do Alto Tietê. Juntas, as seis represas, são capazes de armazenar quase 1 trilhão de litros de água, e estão interligadas por aproximadamente vinte e oito

quilômetros de canais e túneis. Elas ainda contam com a ajuda fundamental de uma estação elevatória que, por sua vez, impulsiona cerca de 33 mil litros de água por segundo, vencendo um desnível em torno de 120 metros, para então alcançar a estação de tratamento do Guaraú, a maior da RMSP. De lá, a água tratada abastece integralmente a população das Zonas Norte e Central de São Paulo e dos municípios de Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras, Osasco, Carapicuíba e São Caetano do Sul; abastece, ainda, parcialmente, os habitantes das Zonas Leste e Oeste e dos municípios de Guarulhos, Barueri, Itapevi, Jandira, Santana de Parnaíba, Cajamar e Santo André.

O **Sistema Alto Tietê** - o segundo maior sistema produtor de água - está localizado a leste da RMSP, com capacidade de armazenamento de aproximadamente 575 bilhões de litros de água, uma vez consideradas as suas cinco represas (Ponte Nova, Paraitinga, Biritiba, Jundiaí e Taiaçupeba), que estão interligadas por túneis, canais e estações elevatórias. Este sistema, além de promover o abastecimento público, realiza o controle das cheias, porque é capaz de reter uma grande parte das águas oriundas das chuvas que ocorrem nas cabeceiras dos seus mananciais. A estação de Taiaçupeba, ao tratar toda a água captada pelo Sistema Alto Tietê, produz 15 mil litros por segundo para atender cerca de 4,2 milhões de moradores da Zona Leste de São Paulo, além daqueles dos municípios de Arujá, Itaquaquecetuba, Poá, Ferraz de Vasconcelos e Suzano, abastecendo, ainda, uma parte da população dos municípios de Mogi das Cruzes e de Guarulhos.

O **Sistema Guarapiranga** - o terceiro maior produtor de água da RMSP (15 mil litros por segundo) - está localizado ao sul da região e reune as águas de três represas (Guarapiranga, Capivari e Billings/braço Taquecetuba). Somente a Guarapiranga, seu principal manancial, é capaz de armazenar 171 bilhões de litros de água, provenientes dos rios Embu-Guaçu, Embu-Mirim e Parelheiros, além da contribuição oferecida pelas suas estações elevatórias que transferem as águas da represa Billings e do rio Capivari. Toda a água captada por esse sistema é enviada para a estação do Alto da Boa Vista, onde é tratada e distribuída para grande parte das Zonas Sul e Sudoeste de São Paulo.

O **Sistema Rio Grande**, também localizado ao sul da RMSP - próximo da rodovia Anchieta - é formado pela compartimentação do braço do rio Grande na represa

Billings e tem capacidade para armazenar até 11,2 bilhões de litros de água, tratados na estação de mesmo nome, onde cerca de 5,5 mil litros por segundo são produzidos para servir os moradores dos municípios de São Bernardo do Campo, de Santo André e de Diadema.

O **Sistema Rio Claro**, localiza-se a sudeste da RMSP. A área de sua bacia de contribuição é bastante significativa (173,9 km²) e abrange os municípios de Salesópolis, Biritiba e Bertioga. Esse sistema, que existe desde 1939, é representado pelas águas da represa Ribeirão do Campo e por aquelas provenientes da transposição do rio Guaratuba. Em Biritiba-Mirim está situada a estação Casa Grande, onde são tratados cerca de 4 mil litros de água por segundo, destinados aos habitantes dos municípios de Ferraz de Vasconcelos, Itaquaquecetuba, e de parte dos que moram na Zona Leste de São Paulo.

O **Sistema Cotia**, localizado a oeste da RMSP, subdivide-se em **Alto Cotia** e **Baixo Cotia**: O **Alto Cotia**, cuja capacidade de armazenamento é de aproximadamente 17 bilhões de litros de água, é composto pelas represas Pedro Beicht e Cachoeira da Graça, situadas na reserva florestal Morro Grande. Cerca de 1,2 mil litros de água por segundo são tratados na estação Alto Cotia, que os distribui para 360 mil habitantes, espalhados pelos municípios de Cotia, Vargem Grande Paulista, Embu-Guaçu e Embu das Artes. O **Baixo Cotia**, localizado na bacia do Alto Tietê (divisa dos municípios de Barueri e Carapicuíba) conta com as águas captadas pela represa Isolina Inferior, dali enviadas para a estação Baixo Cotia, onde são tratados aproximadamente 1050 litros por segundo, destinados à população dos municípios de Itapevi, Barueri e Santana do Parnaíba.

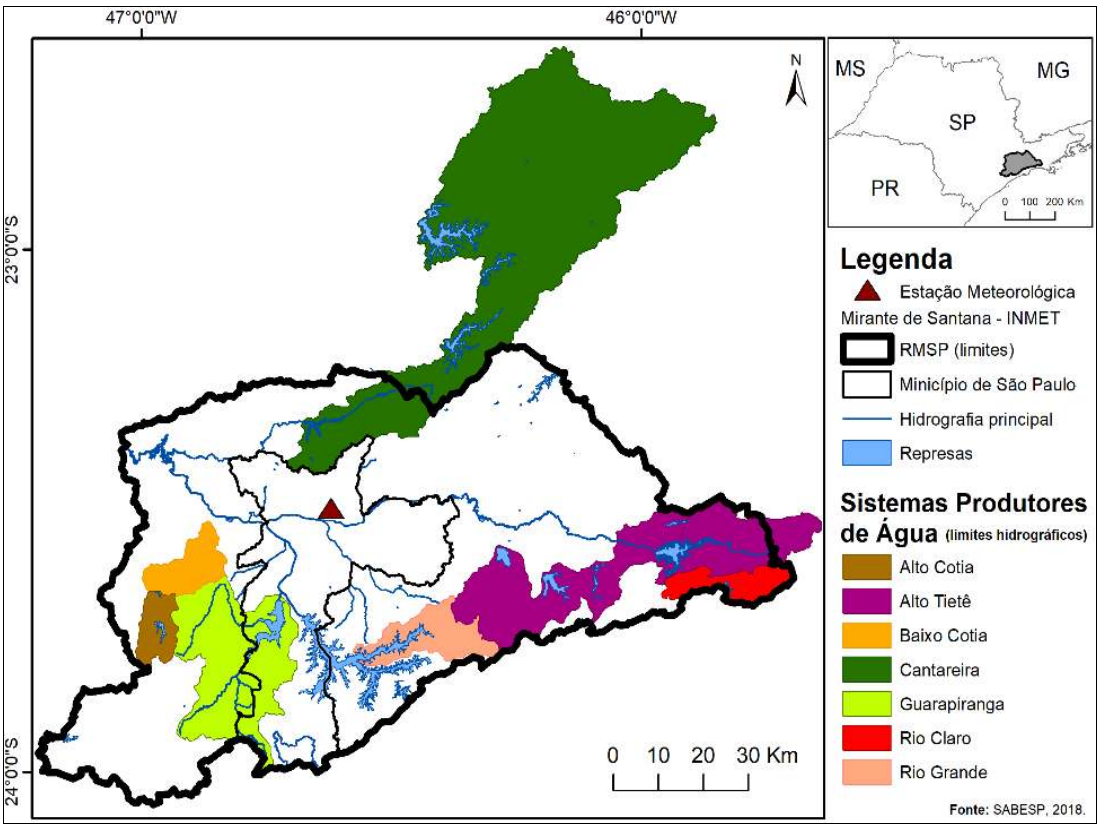
Existe ainda o **Sistema Ribeirão da Estiva** - de pequeno porte - localizado a sudeste da RMSP. A água captada diretamente do ribeirão Estiva é tratada na estação de mesmo nome, cuja capacidade alcança 100 litros por segundo. O reservatório desse sistema, construído nos anos de 1960, é usado desde 1973 para abastecer os habitantes do município de Rio Grande da Serra; posteriormente, passou a servir também a população do município de Ribeirão Pires.

Fez-se necessária essa descrição minuciosa do **Sistema Integrado Metropolitano (SIM)**, criado e administrado pela SABESP, porque são as especificidades de cada sistema produtor de água da RMSP que irão contribuir, de

forma significativa, para o entendimento das implicações que as variações da pluviosidade promovem em seus mananciais.

Na figura 3 estão representados os principais componentes dos sistemas produtores que formam o **SIM**[4], tais como: rede hidrográfica básica, limites hidrográficos de cada sistema, localização das represas, limites da RMSP e do município de São Paulo, além da localização da estação Mirante de Santana, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cujos dados diários e horários de superfície, de vários elementos do clima (pressão, temperatura, umidade, chuva, insolação, nebulosidade e vento - período Dezembro/2013-Dezembro/2015), são explorados mais adiante.

Figura 3 - Principais Características do Sistema Integrado Metropolitano da RMSP



Fonte: SABESP (2018)

VARIAÇÕES PLUVIAIS E IMPLICAÇÕES NOS MANANCIAIS DA RMSP

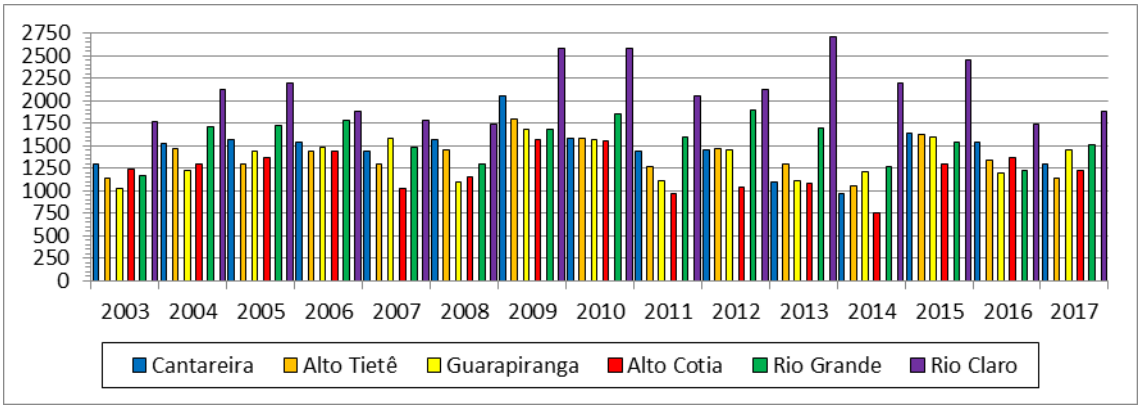
[4] Produz e transporta água potável para cerca de 20 milhões de habitantes, atendendo 35 municípios dos 39 que compõem a RMSP. "CHESS - Crise Hídrica, Estratégias e Soluções da SABESP para a RMSP". SABESP, 30/04/2015, p.7.

Tendo em vista a intrínseca relação entre pluviosidade, captação e armazenamento hídricos, a SABESP - de forma consequente - monitora e registra as chuvas diárias sobre os mananciais do **Sistema Integrado Metropolitano** (**SIM**). Além disso, ela mantém e disponibiliza na rede mundial de computadores (www) o acervo de dados pluviométricos e do volume dos reservatórios dos Sistemas Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Rio Grande, Rio Claro e Alto Cotia, cujas séries ininterruptas - com "ano-início" em 2003[5] - serão, doravante, objeto de análise detalhada.

DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS ANUAIS NA RMSP NO PERÍODO 2003-2017: VISÃO GERAL

Ao abordar o regime pluvial na RMSP, a primeira aproximação possível, numa visão de conjunto, revela as linhas gerais da distribuição do volume anual das chuvas, ao longo do período 2003-2017, nos seis mananciais da metrópole paulistana (figura 4).

Figura 4 - Chuvas Anuais (mm) do Período 2003-2017 em Seis Mananciais da RMSP



Organização: dos autores (2019)

De imediato, a análise da figura 4 permite constatar que:

- Os totais anuais nunca são inferiores a 750 mm e quase sempre são superiores a 1.000 mm.

- Predominam totais anuais que oscilam ao redor dos 1.250 mm - ora para mais, ora para menos.

[5] www.sabesp.com.br (vários acessos no período de 2014 a 2018)

- Vez por outra, as chuvas anuais chegam a alcançar valores superiores a 2.000 mm.
- As chuvas anuais, eventualmente, podem ser superiores a 2.500 mm.

Essa mesma figura também revela que os totais anuais sobre o Sistema Rio Claro foram sempre os mais elevados, ao passo que os menores ocorreram, predominantemente, sobre o Sistema Alto Cotia.

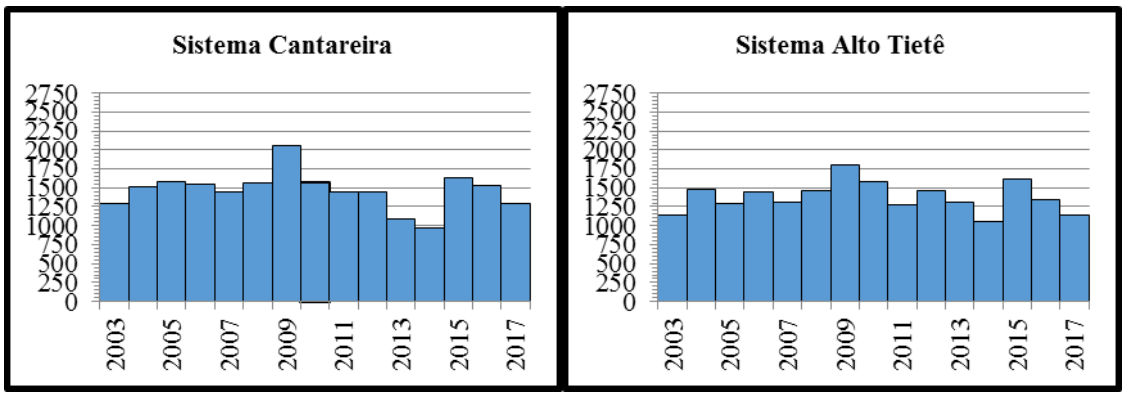
Fica evidenciado na figura 4 que 2003, 2011, 2013 e 2014 foram anos de baixa pluviosidade na RMSP, enquanto que os anos de 2009 e 2010 foram de pluviosidade elevada, excetuadas - naturalmente - as chuvas anuais no Sistema Rio Claro.

Em síntese, uma vez observada a distribuição das chuvas anuais nos seis principais sistemas produtores de água da RMSP, ao longo do período 2003-2017, torna-se patente a existência de variações interanuais distintas como, por exemplo, a alternância entre anos chuvosos e secos (de 2010 para 2011), a sequência de anos secos (2013-2014) ou chuvosos (2009-2010), além de outras variações de menor intensidade (figura 4).

DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS ANUAIS NA RMSP NO PERÍODO 2003-2017: VISÃO DETALHADA

Para aprofundar um pouco mais a abordagem do regime pluvial na RMSP, o foco da análise, a partir de agora, está centrado na individualização das variações anuais que ocorreram ao longo do período 2003-2017 em cada um dos seis sistemas do **SIM**.

Figuras 5 e 6 – Chuvas Anuais nos Sistemas Cantareira e Alto Tietê - Período 2003-2017

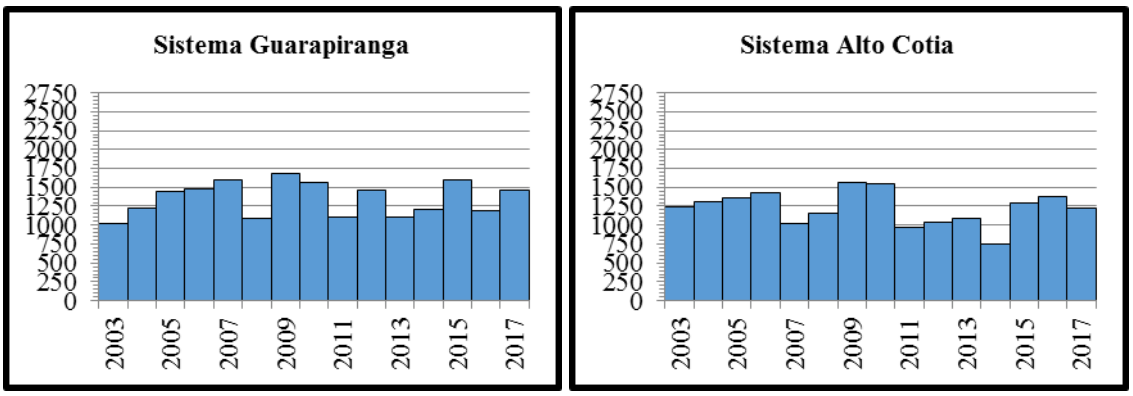


Organização: dos autores (2019)

No maior deles, o **Sistema Cantareira**, capaz de armazenar quase 1 trilhão de litros de água, as chuvas anuais situaram-se na faixa dos 1250/1500 mm, com exceção do ano chuvoso de 2009, que superou os 2.000 mm, e do biênio seco 2013/2014, quando a pluviosidade esteve ao redor dos 1.000 mm, ora um pouco mais em 2013, ora um pouco menos em 2014 (figura 5).

No segundo maior sistema produtor de água da RMSP, o **Alto Tietê**, cuja capacidade de armazenamento beira os 575 bilhões de litros de água, as chuvas anuais também se situaram entre os 1.250/1.500 mm, embora nos anos de 2009, 2010 e 2015 o patamar de 1.500 mm tenha sido superado. Já em 2003, 2014 e 2017 os volumes totais não ultrapassaram a faixa dos 1.000/1.150 mm (figura 6).

Figuras 7 e 8 – Chuvas Anuais nos Sistemas Guarapiranga e Alto Cotia – Período 2003-2017



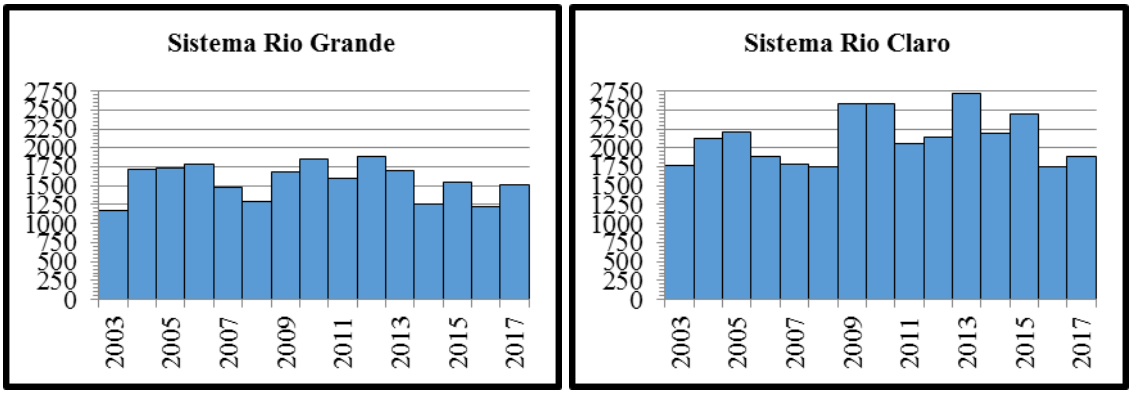
Organização: dos autores (2019)

No terceiro maior sistema, o **Guarapiranga**, que armazena mais de 171 bilhões de litros de água, houve maior variabilidade interanual das chuvas do que nos Sistemas Cantareira e Alto Tietê, já que os volumes anuais estiveram ou na faixa dos 1.000/1200 mm (anos de 2003, 2004, 2008, 2011, 2013, 2014 e 2016) ou na dos 1.450/1.650 mm (anos de 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2012, 2015 e 2017) (figura 7).

No **Sistema Alto Cotia**, que armazena 17 bilhões de litros de água, as chuvas anuais mantiveram-se, predominantemente, entre os 1.250/1.550 mm; contudo, nos biênios 2007/2008 e 2012/2013 elas apresentaram patamares inferiores (1.000/1.100

mm), ao passo que nos anos de 2011 e 2014 elas nem atingiram os 1.000 mm (figura 8). Nesse sistema registraram-se os menores totais anuais dentre todos os demais do **SIM**.

Figuras 9 e 10 – Chuvas Anuais nos Sistemas Rio Grande e Rio Claro – Período 2003-2017



Organização: dos autores (2019)

No **Sistema Rio Grande**, com capacidade para armazenar 11,2 bilhões de litros de água, as chuvas anuais situaram-se na faixa dos 1.250/1.750 mm, embora em 2003 e 2016 elas não tenham alcançado o limite inferior dessa faixa; já em 2006, 2010 e 2012 elas ultrapassaram o seu limite superior (figura 9).

No **Sistema Rio Claro**, do qual não se tem informações precisas da capacidade de armazenamento, foram encontrados os mais elevados totais anuais de chuva - dentre todos os sistemas do **SIM** - com valores quase sempre situados acima dos 1.750 mm, já que apenas os totais de 2008 e 2016 foram ligeiramente inferiores a esse patamar: 1.746,5 e 1.747,4 mm, respectivamente. Dentro do período analisado (2003 a 2017) nove anos apresentaram chuvas superiores aos 2.000 mm (60% do período), dentre os quais três deles (2009, 2010 e 2013) ultrapassaram a casa dos 2.500 mm (figura 10).

DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS MENSAIS NA RMSP NO PERÍODO 2003-2017: OS *PLUVIOGRAMAS*

Para o melhor entendimento das variações da pluviosidade na RMSP a seguir são apresentadas e analisadas, conjuntamente, as figuras 11 a 16, livremente inspiradas nos *pluviogramas* de Schröder (1956), de acordo com Zavattini & Boin

(2013, p. 98-102). Elas ilustram os índices da participação porcentual de cada mês no total pluvial do ano ao qual pertence, ou seja, servem para "aferir" o peso porcentual das chuvas caídas, mês a mês, comparando-as com o total da pluviosidade do seu próprio ano, independentemente de ele ter sido seco, chuvoso ou habitual. Essas figuras foram elaboradas com os dados do **SIM**, conforme mencionado anteriormente, e os intervalos de classe e respectivas cores, nelas empregados, estão discriminados no quadro 1.

Quadro 1 - Intervalos de Classe (%) e Cores das Figuras 11 a 16

Menor ou igual a 5	
De 5,1 a 7,5	
De 7,6 a 10,0	
De 10,1 a 12,5	
De 12,6 a 15,0	
Maior que 15,0	

Organização: dos autores (2019)

Figura 11 – Pluviograma do Sistema Cantareira – Período 2003-2017

Anos	Chuvas (%) - SISTEMA CANTAREIRA												Total	Mês +	
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	(mm)	Úmido	Seco
2003													1294,4	Jan	Jun
2004													1519,6	Fev	Ago
2005													1572,8	Jan	Ago
2006													1541,9	Fev/Dez	Ago
2007													1445,7	Jan	Ago
2008													1570,8	Jan	Jul
2009													2052,2	Dez	Ago
2010													1578,9	Jan	Ago
2011													1445	Jan	Jul
2012													1447,6	Jan	Ago
2013													1090,1	Fev	Ago
2014													964,9	Mar	Jun
2015													1639,2	Fev	Ago
2016													1537,6	Jan	Abr
2017													1298,9	Jan	Jul

Organização: dos autores (2019)

Figura 12 – Pluviograma do Sistema Alto Tietê – Período 2003-2017

Anos	Chuvas (%) - SISTEMA ALTO TIETÊ												Total	Mês +	
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	(mm)	Úmido	Seco
2003													1145,4	Mar	Ago
2004													1475	Fev	Ago
2005													1295,5	Jan	Ago
2006													1443,9	Mar	Ago
2007													1301,1	Jan	Ago
2008													1454,3	Jan	Jul
2009													1798,7	Dez	Jun
2010													1577,2	Jan	Ago
2011													1273,9	Jan	Jul
2012													1466,1	Jan	Ago
2013													1302,6	Jan	Ago
2014													1046,7	Dez	Jun
2015													1619,6	Fev	Ago
2016													1340,8	Fev	Jul
2017													1133,8	Jan	Jul

Organização: dos autores (2019)

Figura 13 – Pluviograma do Sistema Guarapiranga – Período 2003-2017

Anos	Chuvas (%) - SISTEMA GUARAPIRANGA												Total	Mês +	
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	(mm)	Úmido	Seco
2003													1028,2	Jan	Jun
2004													1223,1	Dez	Ago
2005													1439,9	Jan	Ago
2006													1482,8	Mar	Mai
2007													1590	Jan	Ago
2008													1095,9	Jan	Jul
2009													1687,5	Jan	Jun
2010													1568,8	Jan	Ago
2011													1105,2	Jan	Jul
2012													1459,5	Jan	Ago
2013													1105,5	Fev	Ago
2014													1210,4	Dez	Out
2015													1603	Nov	Abr/Ago
2016													1191,8	Fev	Abr
2017													1460,7	Jan	Jul

Organização: dos autores (2019)

Figura 14 – Pluviograma do Sistema Alto Cotia – Período 2003-2017

Anos	Chuvas (%) - SISTEMA ALTO COTIA												Total	Mês +	
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	(mm)	Úmido	Seco
2003													1241,8	Jan	Jun
2004													1301,3	Dez	Ago
2005													1365,4	Jan	Jun
2006													1436,3	Jan	Mai
2007													1022,2	Jan	Ago
2008													1150,7	Jan	Jul
2009													1570,8	Jan	Ago
2010													1548,6	Jan	Ago
2011													963,4	Jan	Jul
2012													1034,8	Jan	Ago
2013													1089,2	Fev	Ago
2014													756,9	Mar	Ago
2015													1289,8	Nov	Jun
2016													1370	Jan	Jul
2017													1220	Jan	Jul

Organização: dos autores (2019)

Figura 15 – Pluviograma do Sistema Rio Grande – Período 2003-2017

Anos	Chuvas (%) - SISTEMA RIO GRANDE												Total	Mês +	
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	(mm)	Úmido	Seco
2003													1171,4	Jan	Jun
2004													1716,4	Fev	Ago
2005													1725,5	Jan	Ago
2006													1785,1	Jan	Mai
2007													1478,7	Jan	Ago
2008													1297,7	Jan	Jul
2009													1682,1	Dez	Jun
2010													1858,4	Jan	Ago
2011													1601,8	Jan	Jul
2012													1894,7	Jan	Ago
2013													1701,7	Fev	Ago
2014													1263,2	Jan	Out
2015													1542,8	Jan	Ago
2016													1221,7	Fev	Jul
2017													1513,6	Jan	Set

Organização: dos autores (2019)

Figura 16 – Pluviograma do Sistema Rio Claro – Período 2003-2017

Anos	Chuvas (%) - SISTEMA RIO CLARO												Total	Mês +	
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	(mm)	Úmido	Seco
2003													1773,4	Mar	Jun
2004													2123,4	Fev	Ago
2005													2204,7	Dez	Ago
2006													1882,9	Mar	Jun
2007													1790,1	Jan	Ago
2008													1746,5	Jan	Jul
2009													2577,5	Dez	Jun
2010													2579,7	Abr	Jun
2011													2061,5	Mar	Jul
2012													2133,4	Jan	Fev
2013													2710,5	Jan	Ago
2014													2199,6	Abr	Jun
2015													2451,2	Dez	Ago
2016													1747,4	Mar	Jul
2017													1883,2	Jan	Set

Organização: dos autores (2019)

A análise dos *pluviogramas* (figuras 11 a 16), elaborados com os dados do **SIM**, tanto a de caráter geral quanto a de detalhe, possibilitou as seguintes constatações:

- De modo geral, no transcurso do período 2003-2017, todos os sistemas produtores de água para o abastecimento público da RMSP revelaram a existência de dois semestres bem distintos do ponto de vista da pluviosidade: um deles, mais úmido, que vai de outubro a março; e outro, menos úmido, que vai de abril a setembro de cada ano.

- Dentro do semestre mais chuvoso o mês de janeiro liderou as taxas de participação como o mais úmido, em todos os sistemas do **SIM**:

- Nos cinco maiores (Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Alto Cotia e Rio Grande), que armazenam grande volume de água, as taxas de participação de janeiro foram sempre superiores a 50%: 53% no Alto Tietê; 60% no Cantareira e Guarapiranga; 73% no Alto Cotia e Rio Grande.

- Já no Sistema Rio Claro, o menor de todos, houve uma maior diversificação nas taxas de participação do mês mais úmido: janeiro deteve 33%; fevereiro, 27%; e dezembro, 20%.

- As taxas de participação relativas ao segundo mês mais úmido, ora apontaram para fevereiro (Cantareira, Alto Tietê e Rio Grande), ora conjuntamente para fevereiro e dezembro (Guarapiranga e Alto Cotia); ora para março (Rio Claro).

- No que se refere ao semestre menos chuvoso o mês de agosto deteve as mais altas taxas de participação como o mais seco, nos cinco maiores sistemas do **SIM**: 60% no Cantareira e Alto Tietê; 47% no Alto Cotia e Rio Grande; e 43% no Guarapiranga.

- Já no menor deles, o Sistema Rio Claro, os meses de agosto e junho apresentaram taxas idênticas de participação (33% cada um).

- Quanto às taxas de participação relativas ao segundo mês mais seco, julho foi unanimidade em todos os sistemas produtores de água, com valores situados entre 27% (Alto Tietê e Alto Cotia) e 20% (Cantareira, Guarapiranga, Rio Grande e Rio Claro).

- Houve algumas vezes em que o período menos úmido teve o seu início muito bem marcado, já com abril liderando o ranking de mês mais seco do ano, como em 2016 no Sistema Cantareira, e em 2015 e 2016 no Sistema Guarapiranga.

- Houve ocasiões, por um lado, em que o período menos úmido alongou-se um pouco mais, como em outubro/2014 nos Sistemas Guarapiranga e Rio Grande, e em setembro/2017 nos Sistemas Rio Grande e Rio Claro.

- Houve ocasiões, por outro lado, em que foi o período mais úmido quem alongou-se um pouco mais, como nos meses de abril de 2010 e 2014 no Sistema Rio Claro.

- Houve, ainda, uma ocasião em que o mês mais seco do ano ocorreu em pleno semestre úmido, caso de fevereiro/2012 no Sistema Rio Claro.

- Houve, também, a ocorrência de meses chuvosos em pleno semestre seco, com contribuições na faixa dos 10,1% a 15,0%: julho/2007 nos Sistemas Cantareira, Guarapiranga, Alto Cotia e Rio Grande; junho/2012 nos Sistemas Cantareira, Guarapiranga, Alto Cotia e Rio Claro; setembro/2015 nos Sistemas Guarapiranga, Alto Tietê, Alto Cotia e Rio Grande; junho/2016 nos Sistemas Cantareira, Alto Cotia e Rio Grande; além de muitas outras ocorrências de menor intensidade, cujas contribuições situaram-se na faixa dos 7,6% a 10,0%.

- Embora os meses de janeiro, fevereiro e dezembro possam ser considerados os mais chuvosos nos cinco maiores sistemas produtores de água do **SIM** (Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Alto Cotia e Rio Grande), é notável a frequência das contribuições tênues (menores ou iguais a 7,5%) e, muitas vezes, coincidentes, que eles ofereceram à RMSP, conforme demonstra a tabela 3.

Tabela 3 - Meses Pouco Chuvosos no Semestre Úmido (Ano da Ocorrência)

Sistema Produtor	Janeiro	Fevereiro	Dezembro
Cantareira	-	2007, 2012 e 2017	2013
Alto Tietê	2015	2005, 2012 e 2017	2013
Guarapiranga	-	-	2017
Alto Cotia	2014 e 2015	2005 e 2006	2011
Rio Grande	-	2005, 2006 e 2017	2008, 2013 e 2017

Fonte: SABESP (2014/2018).

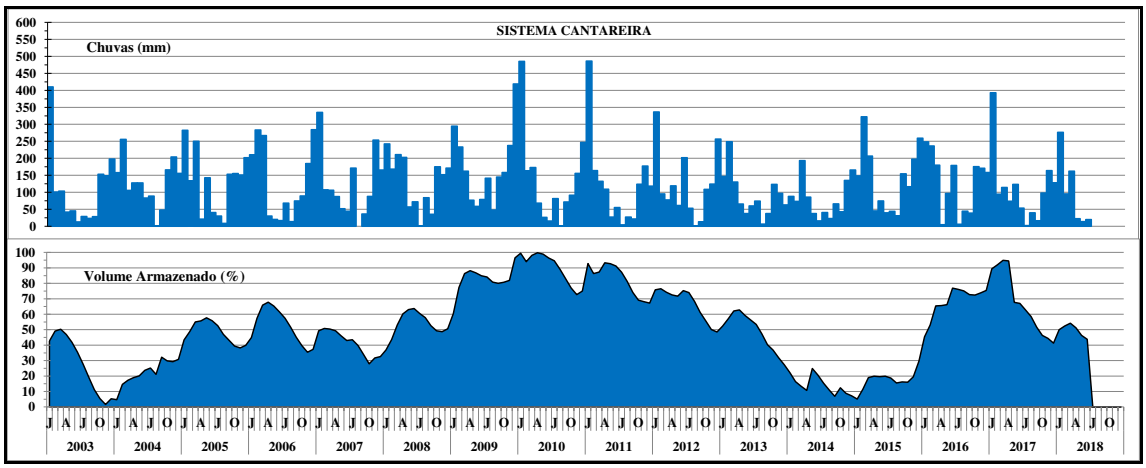
- Os anos secos de 2003 e 2014, e o biênio chuvoso 2009/2010, por exemplo, são perfeitamente identificáveis nos pluviogramas (figuras 11 a 16).
- No caso específico do ano seco de 2014, a observação atenta das figuras mencionadas revela que a "crise hídrica" (2014/2015) começou, a bem da verdade, no último trimestre de 2013, quando a pluviosidade esteve bem abaixo daquela que habitualmente acontece nesse período do ano.

Vários outros fatos ainda poderiam ser descritos. Entretanto, como o essencial da distribuição mensal da pluviosidade, ou melhor, do regime mensal das chuvas está plenamente revelado, é chegado o momento de detalhá-lo, por meio de histogramas, e de associá-lo ao armazenamento hídrico nos principais sistemas produtores de água do **SIM** que visam ao abastecimento público da RMSP.

DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS MENSAIS NA RMSP NO PERÍODO 2003-2018: IMPLICAÇÕES NO SIM

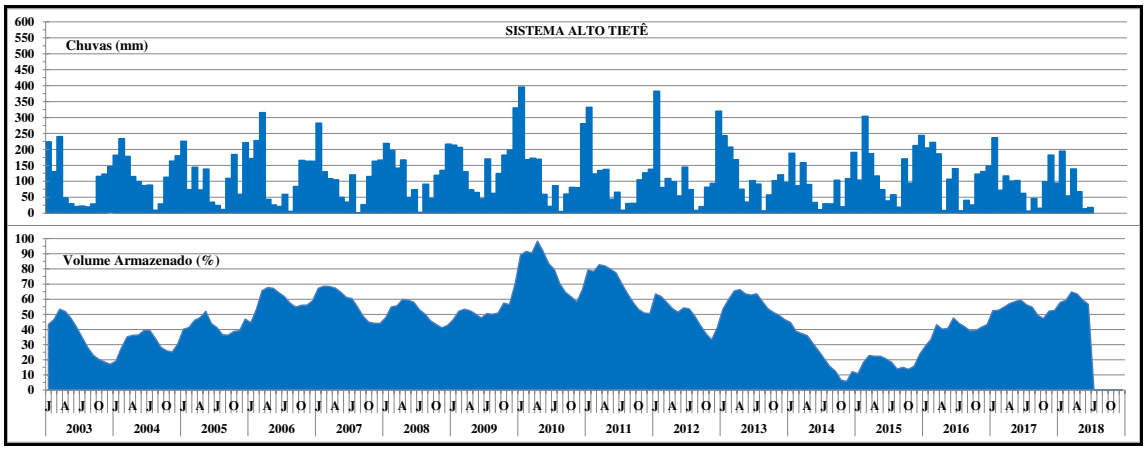
As figuras 17 a 22, também construídas com dados do **SIM** para o período janeiro/2003 a junho/2018, ilustram a distribuição mensal das chuvas associada àquela do armazenamento de água nos seis principais sistemas produtores de água da RMSP.

Figura 17 - Chuva e Armazenamento Mensais - Sistema Cantareira - Período 2003-2018



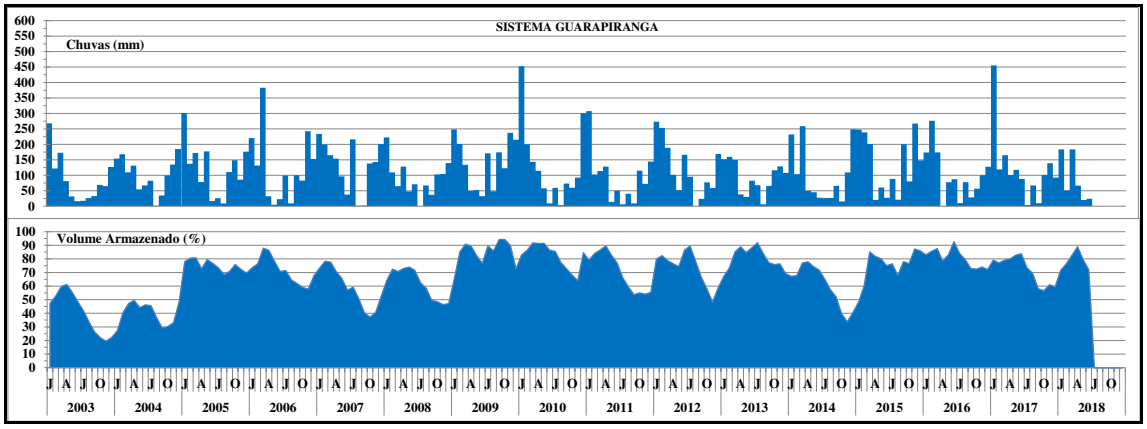
Organização: dos autores (2019)

Figura 18 - Chuva e Armazenamento Mensais - Sistema Alto Tietê - Período 2003-2018



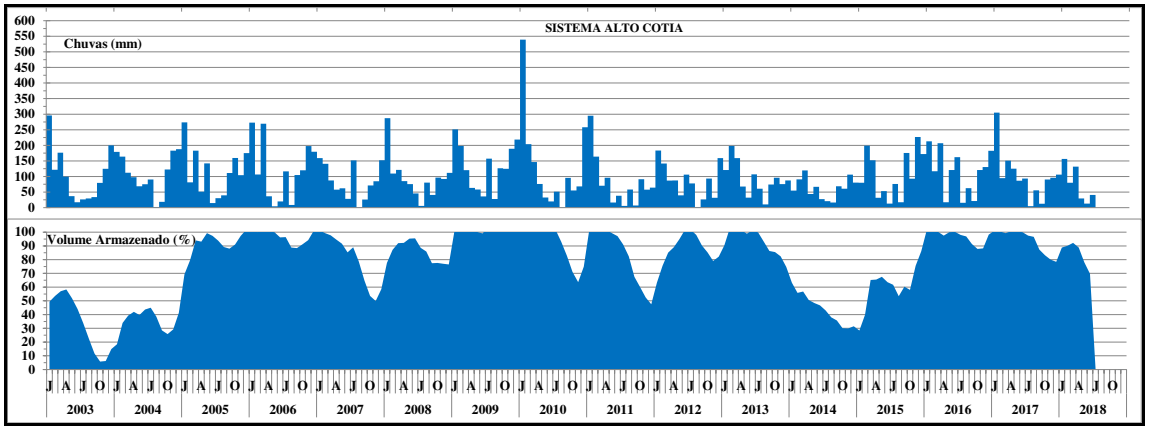
Organização: dos autores (2019)

Figura 19 - Chuva e Armazenamento Mensais - Sist. Guarapiranga - Período 2003-2018



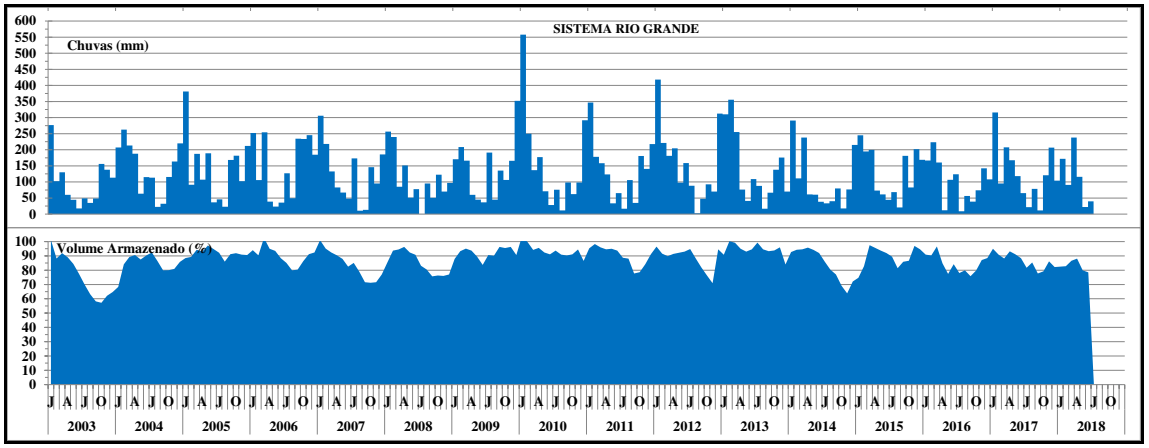
Organização: dos autores (2019)

Figura 20 - Chuva e Armazenamento Mensais - Sistema Alto Cotia - Período 2003-2018



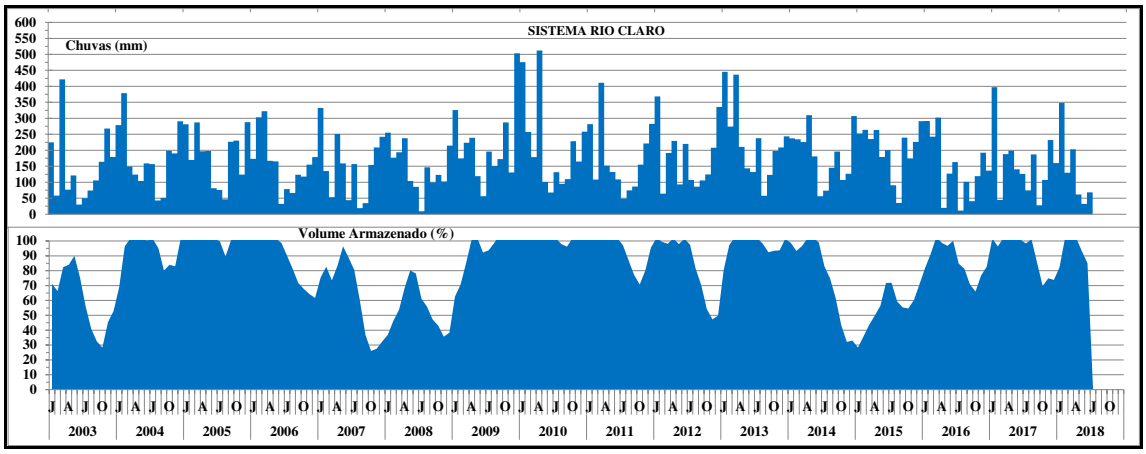
Organização: dos autores (2019)

Figura 21 - Chuva e Armazenamento Mensais - Sist. Rio Grande - Período 2003-2018



Organização: dos autores (2019)

Figura 22 - Chuva e Armazenamento Mensais - Sistema Rio Claro - Período 2003-2018



Organização: dos autores (2019)

Da análise das figuras 17 a 22, tanto dos seus aspectos gerais quanto daqueles mais específicos, foi possível depreender que:

- De maneira geral, no decorrer do período janeiro/2003 a junho/2018, em todos os sistemas produtores de água do **SIM** houve forte correspondência entre as variações mensais da pluviosidade e a quantidade de água armazenada para o abastecimento público da RMSP.

- Aos meses chuvosos, e também aos secos, sempre corresponderam, com ligeiro retardo, os volumes de água armazenada nos reservatórios dos seis sistemas do **SIM**. Contudo, existiram particularidades nas respostas que são individualizadas a seguir.

- Os Sistemas Cantareira, Alto Tietê e Guarapiranga, os três maiores da RMSP, reagiram intensamente às variações pluviais mensais, ao contrário dos demais sistemas do **SIM**, cujas reações mais brandas aos impactos pluviais trouxeram menores implicações no armazenamento e na produção de água para o abastecimento público.

- Naqueles três maiores sistemas do **SIM**, a lenta recuperação das perdas sofridas durante os períodos de estiagem nunca lhes permitiu alcançar a capacidade máxima de armazenamento (100%), muito provavelmente devido ao porte considerável de suas represas e à menor frequência de meses substancialmente chuvosos, principalmente se comparada àquela do Sistema Rio Claro, por exemplo.

- Já nos Sistemas Alto Cotia, Rio Grande e Rio Claro, onde a recuperação das perdas ao longo dos meses mais secos foi quase sempre muito rápida, por inúmeras vezes a

capacidade máxima de armazenamento foi atingida (100%), possivelmente devido ao menor porte de suas represas e à maior pluviosidade neles presente.

- A frequência de meses substancialmente chuvosos, capazes de promover a recuperação dos volumes das represas, revelou-se singular na RMSP: foi menor onde precisaria ser maior (Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga e Alto Cotia), e maior onde havia menor necessidade (Sistemas Rio Grande e Rio Claro). Singularidade que também se repetiu nos patamares pluviais máximos alcançados pelos sistemas do **SIM**, conforme elucida a tabela 4.

Tabela 4 - Número de Meses Muito Chuvosos na RMSP - Período Jan/2003-Jun/2018

Sistema Produtor	>= 300mm	>= 400mm	>= 500mm
Cantareira	4	4	0
Alto Tietê	7	0	0
Guarapiranga	4	2	0
Alto Cotia	1	0	1
Rio Grande	8	1	1
Rio Claro	12	5	2

Fonte: SABESP (2014/2018).

- Ao longo do período que vai de janeiro de 2003 até junho de 2018, totalizando pouco mais de 15 anos ininterruptos, os sistemas produtores de água da RMSP passaram por momentos bastante distintos, tanto sob o ponto de vista da pluviosidade como, também, das implicações nos volumes armazenados nas principais represas do **SIM**.

- Aos momentos de generosa pluviosidade (anos de 2009 e 2010, por exemplo) as implicações nos sistemas produtores foram altamente positivas, e a RMSP viveu uma verdadeira "bonança hídrica", se assim é possível dizer.

- No entanto, quando houve baixa pluviosidade na RMSP (anos de 2013 e 2014, por exemplo), os sistemas produtores do **SIM** - e respectivas represas - passaram por severa "escassez hídrica"; então, as implicações atingiram também o fornecimento de água à população. Medidas como racionamento, rodízio de bairros, interrupções, diminuição de pressão, dentre outras, tiveram que ser implantadas pela SABESP pois, do contrário, o

abastecimento público teria sido ainda mais prejudicado. Esse período ficaria consagrado pela mídia como a "crise hídrica de 2014/2015".

- A bem da verdade essa "crise hídrica" teve início um pouco antes, já no final do ano de 2013, quando a pluviosidade esteve abaixo da habitualmente esperada. Como ao longo do ano de 2014 as chuvas permaneceram aquém dos valores habituais, o quadro de escassez nas represas do **SIM** agravou-se profundamente, especialmente naquelas dos Sistemas Cantareira e Alto Tietê, os maiores da RMSP.

- No ano seguinte, em 2015, a pluviosidade voltaria ao seu padrão habitual, e até mesmo acima dele nalguns períodos e sistemas do **SIM**; mesmo assim, a recuperação dos volumes armazenados nos Sistemas Cantareira e Alto Tietê só se efetivaria de modo pleno no decorrer de 2016. Nos demais sistemas, entretanto, a recuperação ocorreria já no próprio transcurso do ano de 2015.

- As implicações da baixa pluviosidade dos anos de 2013 e 2014 no Sistema Cantareira foram de tal monta que levaram a SABESP a lançar mão da reserva técnica - água do reservatório que se pode usar somente com bombeamento, popularmente chamada de "volume morto" - em dois momentos do ano de 2014, perfeitamente identificáveis na figura 17.

- No primeiro deles, em 16/05/2014, foram acrescentados 182,5 bilhões de litros de água da reserva técnica I do Cantareira, o que fez seu volume total saltar de 8,2% para 26,7%, um aumento artificial de 18,5% sobre seu volume total, conforme explicações da própria SABESP.

- No segundo, em 24/10/2014, foram acrescentados 105 bilhões de litros de água da reserva técnica II do Cantareira, o que fez seu volume total saltar de 3,0% para 13,6%, um aumento artificial de 10,6% sobre seu volume total, conforme explicações dadas pela SABESP.

- A baixa pluviosidade registrada na RMSP, desde o final de 2013 e ao longo de todo o ano de 2014, trouxe sérias implicações nos sistemas produtores de água da SABESP, especialmente no Sistema Cantareira, o maior de todos. Implicações que se fizeram notar não apenas no decorrer de 2014, mas também durante boa parte de 2015.

A elaboração do documento "CHESS - Crise Hídrica, Estratégia e Soluções da SABESP para a Região Metropolitana de São Paulo", datado de 30/04/2015, é prova inequívoca da gravidade da situação vivenciada pelos habitantes da RMSP e das ações

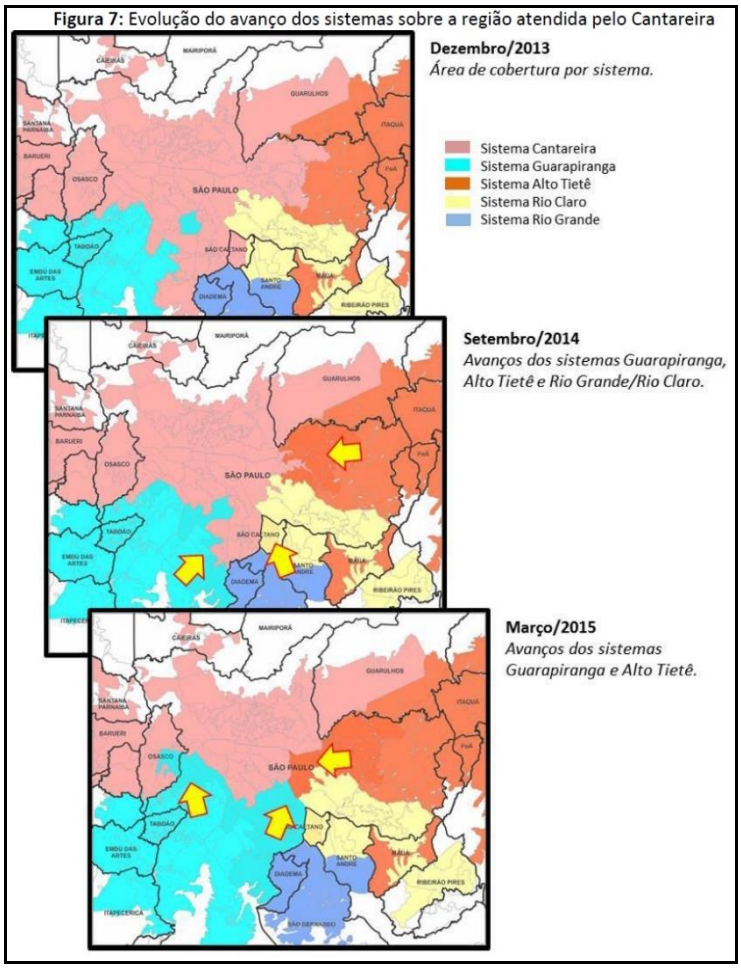
engendradas pela SABESP para o enfrentamento da "crise hídrica de 2014/2015". Do item "Introdução" desse documento são transcritos alguns trechos bastante esclarecedores (SABESP, 2015, p.5), visando ao melhor entendimento do quão severa foi a "crise" na RMSP, conforme segue:

> Este documento descreve a estratégia e as ações realizadas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) para o enfrentamento da crise hídrica, que se iniciou em 2014.
>
> Também relata, brevemente, a evolução do sistema de abastecimento da RMSP, as condições que levaram o Sistema Integrado Metropolitano e, principalmente, o Sistema Cantareira ao atual estágio de operação e as medidas adotadas para sustentar o abastecimento da população da Região Metropolitana de São Paulo ao longo do ano de 2014, além das ações e empreendimentos implantados para que haja continuidade de abastecimento ao longo de 2015 e se inicie a recuperação dos mananciais atingidos.
>
> Frente à criticidade da situação, a Sabesp adotou uma série de medidas estratégicas que resultaram na queda de 30% da retirada de água dos mananciais da Grande São Paulo – de 71 m³/s em janeiro de 2014 para 50 m³/s em fevereiro de 2015. O Sistema Cantareira, mais gravemente impactado, foi o que recebeu maior atenção, sendo que sua contribuição para o abastecimento da metrópole apresentou queda de 56% na produção de água – de 33 m³/s no início da crise para 14 m³/s, em março de 2015.
>
> Os cenários e ações descritos para o ano de 2015 se apoiam nos fatos e informações avaliados até março deste ano, requerendo possíveis ajustes de rumo conforme novos resultados se apresentem ao longo dos próximos meses. Por esta razão o relatório é dinâmico e datado.

> O enfrentamento de uma crise hídrica, dependendo da abrangência e da profundidade, exige planejamento não apenas da companhia de água e saneamento, mas também de diversas instituições, particularmente das prefeituras e das entidades gestoras de recursos hídricos. É preciso que haja ação coordenada para mitigar os efeitos da seca, principalmente sobre os mais desprotegidos, sem pretensão de que a sociedade possa funcionar normalmente enquanto os estoques de água nos mananciais se mantiverem anormalmente baixos. Por essa razão, foi criado o Comitê de Crise Hídrica no Âmbito da Região Metropolitana de São Paulo (Decreto Estadual nº 61.101 de 03/02/2015).

Desse mesmo documento, item "II - Enfrentamento da Crise Hídrica", sub-item "II.4.2 - Transferência de água tratada de outros Sistemas Produtores" foram extraídos mais dois trechos, e a emblemática "Figura 7" (SABESP, 2015, p.17-18).

> A criticidade do cenário de 2014 demandou a intensificação da integração e transferência de água entre os sistemas produtores, deflagrando um esforço conjunto das equipes operacionais para a execução de obras pontuais que permitissem a inversões de fluxos em socorro ao Sistema Cantareira. Dessa forma, a robusta infraestrutura já instalada, resultado dos investimentos estruturantes realizados no período 1995-2014 por meio do Programa Metropolitano de Água - PMA, apresentados suscintamente no Anexo II deste relatório, e esse conjunto de obras e ações emergenciais propiciaram, ao longo de 2014, a transferência de 6,3 m³/s para o atendimento da área anteriormente abastecida pelo Sistema Cantareira (março/15).
>
> Até o momento, com as intervenções executadas tem sido possível avançar o Sistema Guarapiranga até o município de Osasco e os sistemas Alto Tietê e Rio Grande/Rio Claro até o bairro da Mooca, conforme demonstrado na Figura 7.



Fonte: SABESP (2015)

A "Figura 7" (SABESP, 2015, p.18) é emblemática porque retrata três momentos-chave da "crise hídrica de 2014/2015":

1º) dezembro de 2013, quando a SABESP ainda não tinha se dado conta das futuras implicações no sistema de abastecimento público;

2º) setembro de 2014, no auge da "crise", quando mesmo após o acréscimo da reserva técnica I o volume armazenado no Sistema Cantareira continuava baixando;

3º) março/2015, quando finalmente a SABESP apercebeu-se que, mesmo com a farta pluviosidade do bimestre precedente, a "crise" fatalmente iria prolongar-se por todo o ano de 2015, com sérias implicações na captação de água dos mananciais, no volume armazenado nas represas e, por consequência, no abastecimento da RMSP.

Pode-se dizer que essa figura traça a "geografia" da "crise hídrica" de 2014/2015. E para tentar entendê-la melhor o que se pode fazer é estudar as variações

diárias da pluviosidade, desde dezembro de 2013 até dezembro de 2015, associando-as à dinâmica das massas de ar e dos tipos de tempo então presentes na RMSP.

DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS DIÁRIAS NA RMSP: O RITMO DE SUCESSÃO DOS ESTADOS ATMOSFÉRICOS DURANTE A "CRISE HÍDRICA"

Nesta etapa da pesquisa foram utilizados os dados diários e horários dos seguintes elementos do clima: chuva, temperatura, pressão, umidade do ar, insolação, vento e nebulosidade, do período dezembro/2013 a dezembro/2015 (tabela 5), registrados pela estação meteorológica Mirante de Santana (23,5ºS; 46,6ºW; 792m.anm)[6], bem como as cartas sinóticas da Marinha do Brasil[7], das 12Z e 18Z (horários GMT[8]).

[6] http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep (vários acessos)
[7] https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas (vários acessos)
[8] GMT - Greenwich Mean Time.

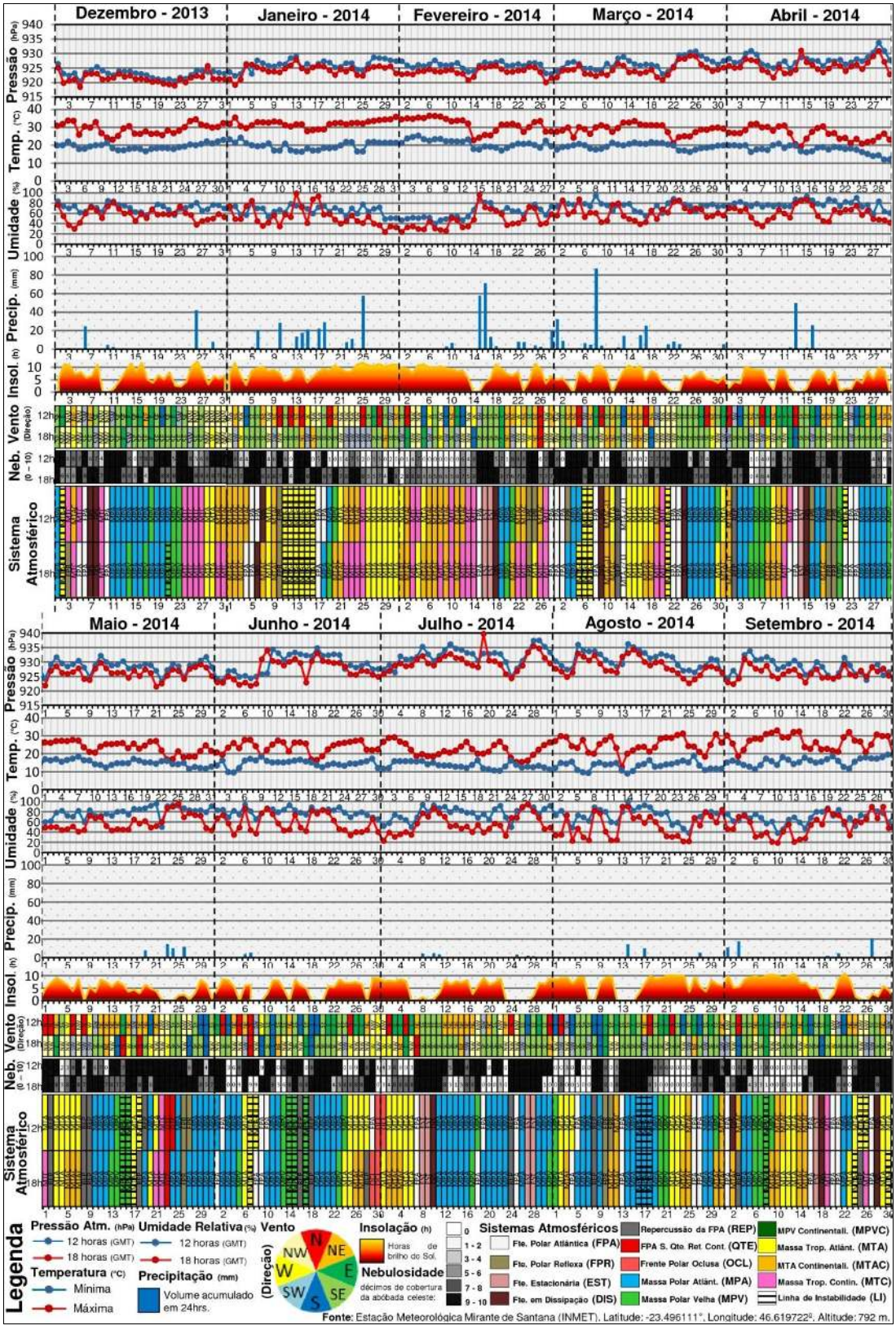
Tabela 5 - Elementos do Clima do Gráfico de Análise Rítmica (figuras 23 a 25)

Mês	Dia	Chuva (mm)	Temperatura (ºC)		Pressão (hPa)		Um. Rel. (%)		Insolação (horas)	Vento (direção)		Nebul. (0/10)	
			Máx.	Mín.	12Z	18Z	12Z	18Z	00Z	12Z	18Z	12Z	18Z
Dez. 2013	1	0,0	30,8	19,9	926,5	925,2	84	77	5,4	14	14	10	10
	2	0,0	31,8	20,0	923,1	919,9	74	55	11,2	9	32	9	6
	3	1,2	33,8	22,0	922,4	920,7	70	37	10,6	32	32	6	6
	4	0,0	33,6	20,2	923,3	921,1	75	30	7,3	5	27	8	6
	5	0,0	25,9	17,9	920,3	918,5	62	42	8,0	32	32	7	10
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dez. 2015	25	39,0	29,8	17,8	927,1	924,1	81	53	6,5	0	32	10	10
	26	94,8	28,2	17,8	925,4	923,0	73	65	4,9	5	32	6	7
	27	13,6	26,7	21,1	923,6	921,4	74	70	0,2	32	32	9	10
	28	0,0	24,1	21,1	923,9	923,7	80	89	0,0	5	32	10	10
	29	10,3	22,4	20,3	927,3	926,5	84	91	0,0	32	32	10	10
	30	6,3	29,0	19,3	926,9	927,1	83	83	9,2	32	32	10	10
	31	0,0	30,3	20,2	924,8	922,1	68	58	5,0	32	27	8	8

Fonte: BDMEP/INMET (2015)

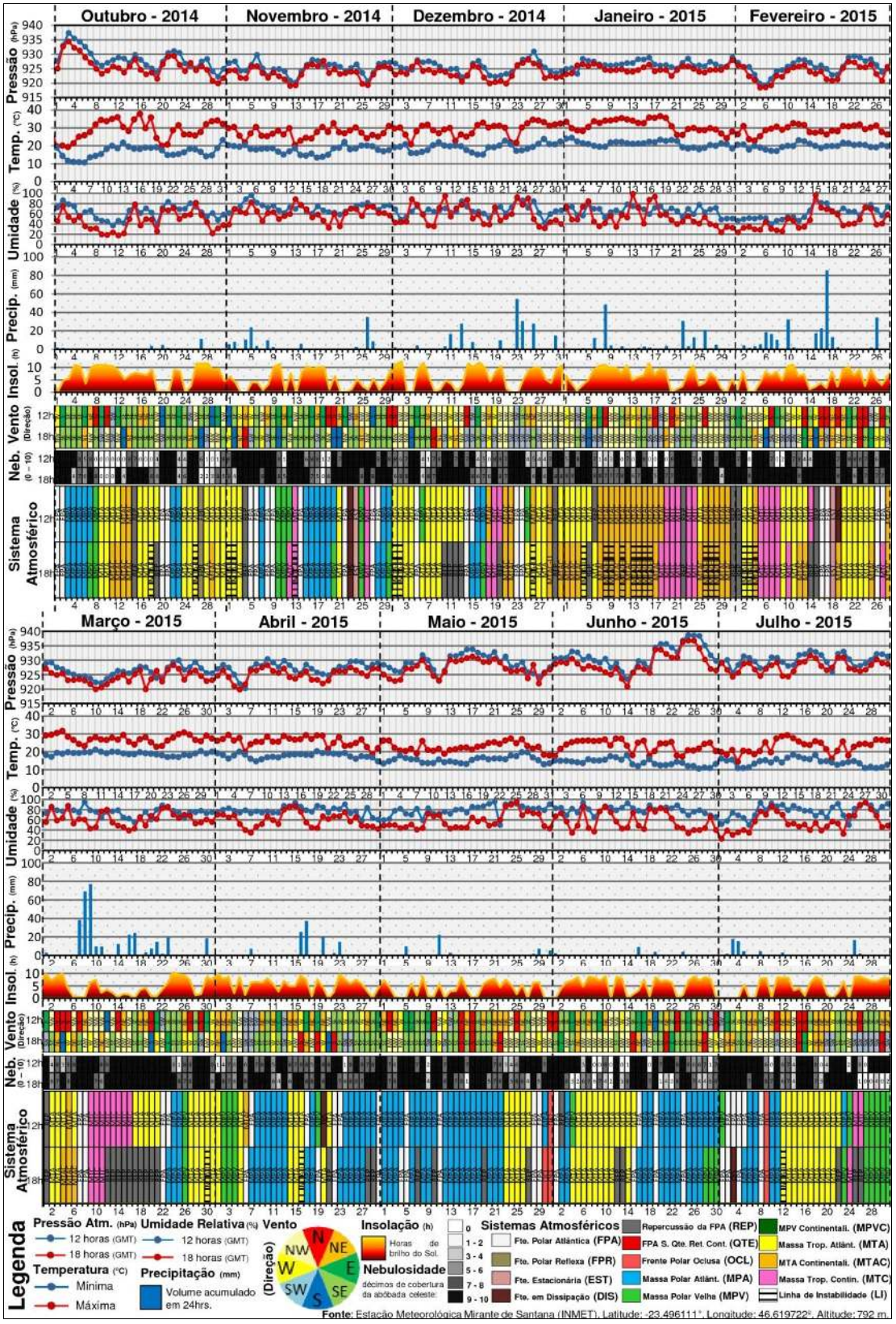
Com a construção do gráfico de análise rítmica - segmentado nas figuras 23 a 25 - e a análise das cartas sinóticas foi possível associar à variação dos elementos do clima os tipos de tempo que se sucederam, de acordo com a circulação atmosférica regional atuante na RMSP, durante a "crise hídrica" de 2014/2015.

Figura 23 - Ritmo de Sucessão dos Estados do Tempo na RMSP - Dez/2013-Set/2014



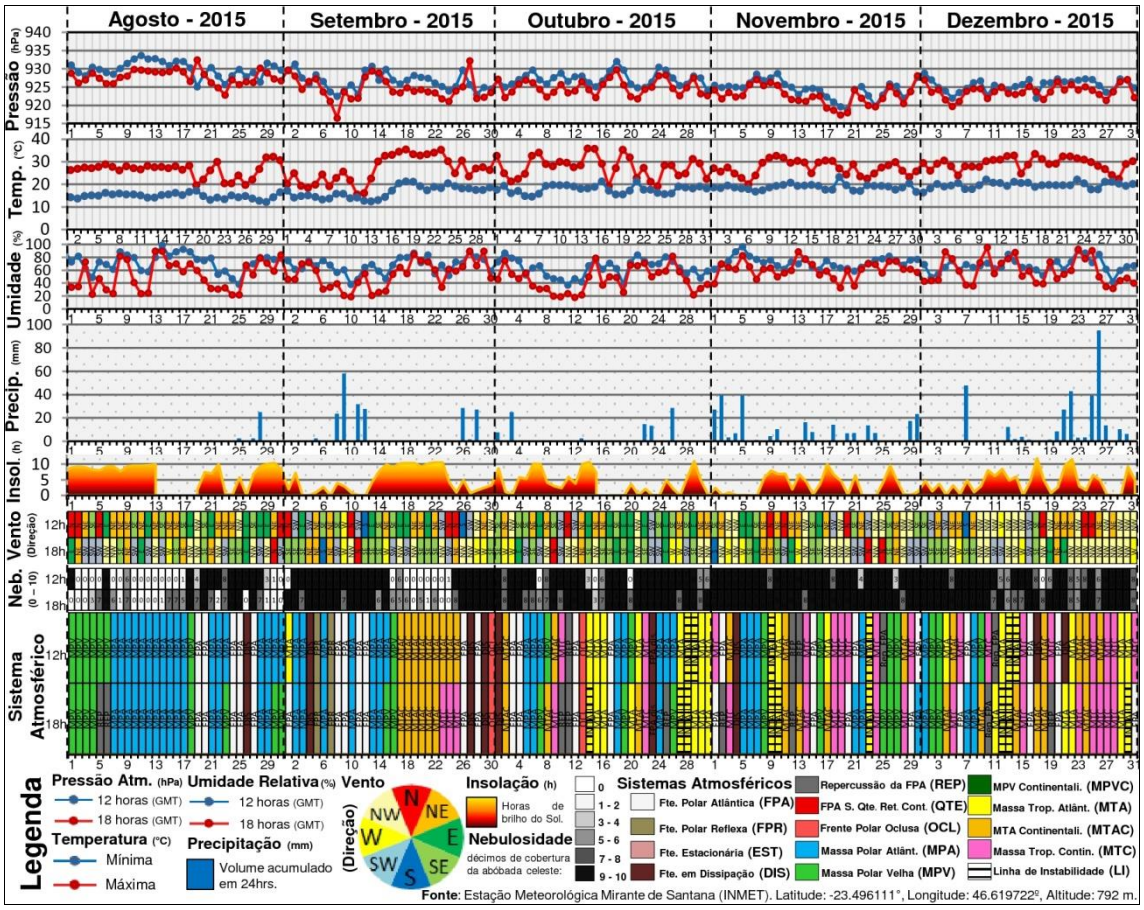
Organização: dos autores (2019)

Figura 24 - Ritmo de Sucessão dos Estados do Tempo na RMSP - Out/2014-Jul/2015



Organização: dos autores (2019)

Figura 25 - Ritmo de Sucessão dos Estados do Tempo na RMSP - Ago/2015-Dez/2015



Organização: dos autores (2019)

A análise da **figura 23** revela que no primeiro dia de **dezembro de 2013** a RMSP esteve sob o domínio da Massa Polar Atlântica que, por sua vez, dava fortes sinais de enfraquecimento: a tendência barométrica era de queda, as temperaturas estavam em elevação, havia ressecamento do ar, presença de nebulosidade e insolação considerável. Assim, ao longo dos três dias subsequentes, tipos de tempo tropicais passaram a exercer influência sobre a metrópole paulistana, com ligeira instabilidade atmosférica e o registro de chuvas fracas no dia 3, graças a linhas de instabilidade na Massa Tropical Atlântica induzidas pela Frente Polar Reflexa no oceano Atlântico.

O quadro atmosférico começaria a alterar-se desde a tarde do dia 5 e até o dia 8, com tipos de tempo frontais atuando sobre a RMSP e o registro de chuvas substanciais no dia 6. No dia 10, uma nova passagem da Frente Polar Atlântica traria chuvas fracas à região e, na sequência rítmica, a penetração do ar polar provocaria

consideráveis decréscimos térmicos, ascensão barométrica, dias nublados alternados com dias de maior intensidade solar, e total ausência de chuvas num mês habitualmente chuvoso.

Essa marcante estabilidade atmosférica, ligada a tipos de tempo polares "típicos" (dias 11 a 20) ou em processo de "tropicalização" (dias 21 a 23), pode ser considerada como prenúncio da "crise hídrica" que se avizinhava. As chuvas só voltariam a ocorrer nos dias 26 e 29, oriundas de tipos de tempo típicos das Massas Tropical Continental, Tropical Atlântica e Tropical Atlântica Continentalizada, caracterizados por uma considerável amplitude térmica, pelo ar mais úmido de manhã e menos úmido a tarde, pelo predomínio de nuvens e de forte insolação, e por pancadas de chuva localmente intensas.

De maneira geral, ao longo dos **três primeiros meses de 2014**, foram esses mesmos tipos de tempo tropicais que alternadamente sucederam-se sobre a RMSP e trouxeram algumas pancadas de chuva, cujos volumes foram bem inferiores aos dos que ocorrem no trimestre, habitualmente chuvoso. No **mês de janeiro**, do ponto de vista da pluviosidade, uma única contribuição da Massa Tropical Continental no dia 25 representou mais de 50% daquela produzida pela ação conjunta de três passagens frontais, nos seguintes intervalos de tempo: dias 4 a 7; dia 10; e dias 17 e 18. Desde então, tipos de tempo frontais - provenientes da ação direta da Frente Polar Atlântica e de suas inflexões - só voltariam a ocorrer a partir da metade do **mês de fevereiro** (dias 15 a 18; dias 24 e 25; e dia 28), um longo período em que os fluxos de invasão polar foram incapazes de alcançar o Trópico de Capricórnio.

Rompida a inércia, o **mês de março** registraria quatro passagens frontais. Entretanto, apesar da segunda delas ter contribuído de forma expressiva com a pluviosidade nos dias 8 e 9, ela permaneceria aquém da que habitualmente ocorre nessa época do ano na RMSP. E após esse importante episódio frontal do início de março, com chuvas acima dos 90 mm em apenas dois dias, nenhum mecanismo frontal e nenhuma massa tropical foram capazes de instabilizar o tempo, ou de engendrar a sucessão e o encadeamento de tipos de tempo que trouxessem de volta as chuvas para a RMSP, tão ansiadas pelos sistemas produtores de água e muito aguardadas pelos seus mais de 21 milhões de habitantes.

Durante todo o outono e inverno, de **abril a setembro**, as chuvas permaneceriam insuficientes na metrópole paulistana e, consequentemente, as implicações foram bastante severas no **SIM**. O único episódio pluvial de monta nesse semestre (menos de 80 mm) ocorreu entre os 12 e 16 de abril, com chuvas geneticamente associadas a tipos de tempo frontais, de dias nublados e úmidos com alternâncias na insolação e amplitude térmica, cujos valores foram baixos nalguns dias. Embora insuficientes, as chuvas continuariam a cair sobre a RMSP entre **maio e setembro**, quase sempre ocasionadas por passagens da Frente Polar Atlântica e suas inflexões, ou por instabilidades dentro da Massa Polar Atlântica.

A propósito, a análise da **figura 24** permite constatar que o **mês de outubro** iniciar-se-ia com mais uma passagem frontal de resultados pluviais pífios (menos de 4 mm), fato que se repetiria mais três vezes ao longo do mês (zero mm no dia 15; 6,2 mm nos dias 19 a 21; e 11,4 mm no dia 27). Somente a partir do **mês de novembro** as passagens frontais começariam a produzir chuvas mais volumosas sobre a RMSP, embora nem todas; destacou-se aquela envolvendo os dias 4, 5 e 6, quando mais de 38,4 mm alcançaram a região, muito embora sem nenhum efeito positivo nos mananciais e represas do **SIM**.

No **mês de dezembro**, com a aproximação do solstício de verão, aquela ação estabilizadora das Massas Polares - típicas ou em processo de tropicalização - e das Massas Tropicais - Atlânticas ou Continentais - muito frequente no decorrer de 2014, finalmente cederia vez a tipos de tempo instáveis e mais chuvosos, tanto frontais quanto tropicais. E assim, a maior regularidade de intervalos na ação dos Sistemas Frontais e das Massas de Ar Polar ou Tropical, ao contrapor-se à irregularidade do outono e inverno precedentes, começaria a imprimir um novo ritmo de sucessão de tipos de tempo que, por sua vez, iria paulatinamente mudar o cenário imposto pela longa e severa estiagem aos milhões de habitantes da RMSP.

O **mês de janeiro de 2015** ainda não registraria chuvas substanciais, pois a alta frequência de tipos de tempo estáveis, oriundos da ação predominante das Massas Tropical Atlântica Continentalizada e Tropical Continental, traria à RMSP muitos dias com temperaturas elevadas, ressecamento considerável do ar no período vespertino e forte insolação, e poucos dias de tipos de tempo úmidos - nublados e chuvosos - geneticamente associados às Linhas de Instabilidade em Massa Tropical ou às modestas

Repercussões da Frente Polar Atlântica, mais atuante ao largo do oceano do que sobre a RMSP.

Finalmente, a partir do **mês de fevereiro** e ao longo de todo o **mês de março** as chuvas passariam a ser mais frequentes e volumosas na RMSP. Neste bimestre de verão predominaram tipos de tempo instáveis, com muitos dias úmidos, nublados ou de céu encoberto, com fraca insolação e amplitude térmica raramente superior a 10ºC, além de chuvas quase constantes, bem mais copiosas que as do mês de janeiro precedente, causadas pela ação vigorosa da Frente Polar Atlântica e inflexões (de 14 a 19/fevereiro; 26 e 27/fevereiro), ou pela ação conjunta de Sistemas Frontais e das Massas Tropical Continental e Tropical Atlântica (7 a 23/março).

Em síntese, ao longo do **quadrimestre de verão 2014/2015** (**dezembro a março**), de chuvas bem distribuídas e volume total de 965,0 mm, o ritmo de sucessão dos tipos de tempo quase sempre impossibilitou as invasões de ar polar sobre a RMSP. Entretanto, no precedente **quadrimestre de verão 2013/2014**, de chuvas mal distribuídas e volume total de 745,5 mm, um outro ritmo de encadeamento atmosférico havia permitido a ação alternada e frequente de Massas Polares e Tropicais, geradoras de tipos de tempo estáveis e de longas sequências de dias secos (com pouca chuva ou até mesmo nenhuma) como, por exemplo, entre 12 e 25 de **dezembro de 2013**; ou de 26 de **janeiro** a 14 de **fevereiro de 2014**, além de outras sequências menos expressivas.

A observação das **figuras 24 e 25** revela que entre os meses de **abril** e **agosto de 2015**, como habitualmente acontece na RMSP, as chuvas escassearam e os tipos de tempo polares, cada vez mais frequentes, trouxeram dias gradativamente mais frios, secos e ensolarados, devido ao decréscimo das temperaturas extremas, a menor presença de nebulosidade, a maior insolação, e a baixa umidade relativa do ar que, no período da tarde, muitas vezes chegou a situar-se entre os 20 e 40%. Tais características, típicas do tempo atmosférico de outono/inverno na RMSP, foram geradas - predominantemente - pela ação mais incisiva das Massas Polares Atlânticas e Polares Atlânticas Continentalizadas.

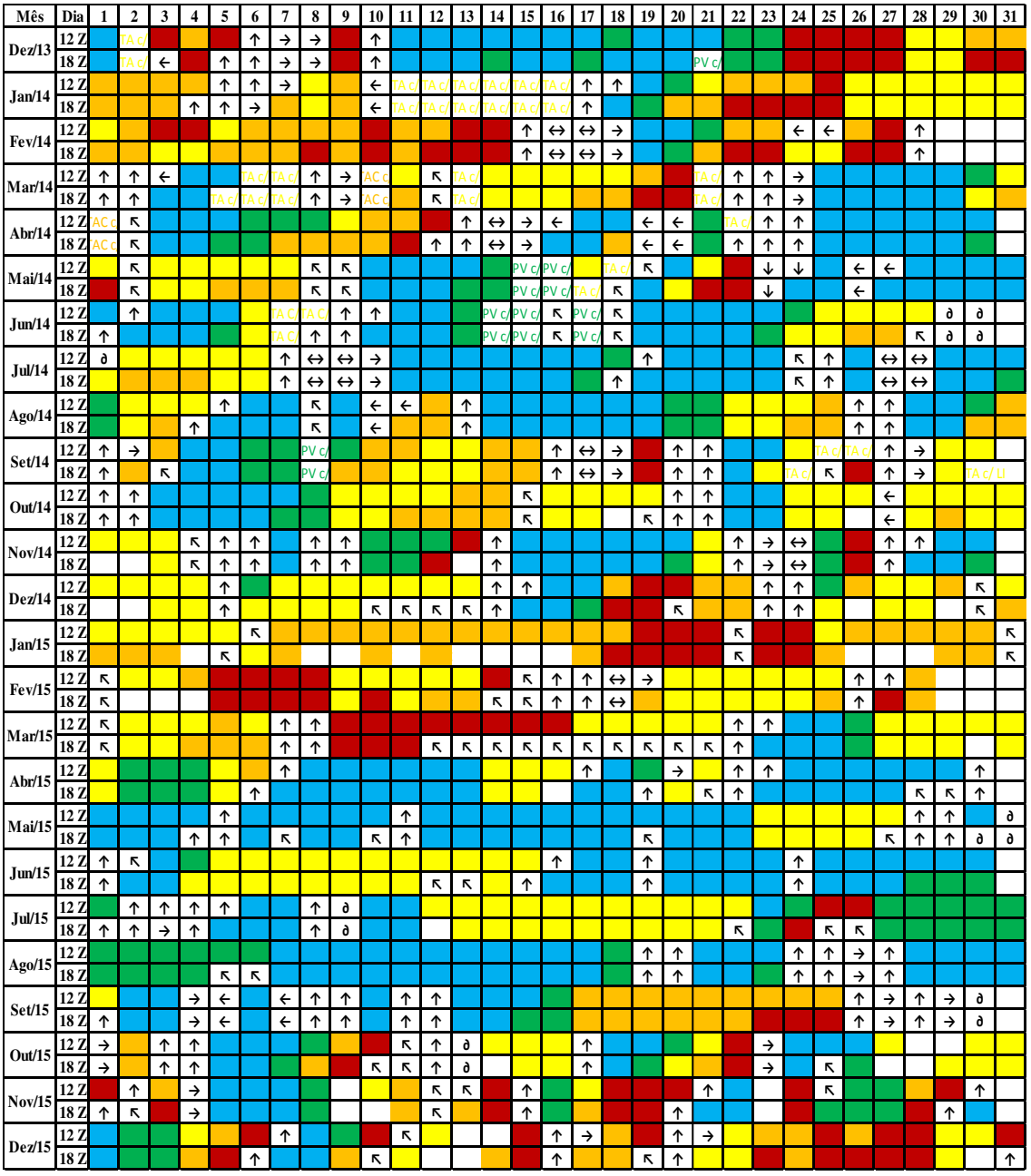
A partir de **setembro** ocorreu a retomada paulatina das chuvas na RMSP, fundamentais para a manutenção do volume de água armazenada nos sistemas produtores do **SIM**, especialmente no Cantareira e no Alto Tietê, onde as implicações

da severa estiagem foram graves. Até a **metade do mês de setembro de 2015** os tipos de tempo polares e frontais ainda dominaram as condições atmosféricas sobre a RMSP.

Mas, daí em diante, e até **meados de dezembro**, um novo ritmo de sucessão dos estados da atmosfera então se instalou, graças à alternância entre sistemas polares e sistemas tropicais, quase sempre regulados pelos avanços da Frente Polar Atlântica e suas inflexões. Essa nova cadência rítmica gerou tipos de tempo frontais úmidos, responsáveis por vários dias nublados ou encobertos, com fraca insolação e amplitude térmica relativamente pequena, bem como pela maior parte das chuvas abundantes e frequentes do período. Foi apenas nos últimos dias do **ano de 2015** que a gênese pluvial se equilibrou entre os sistemas frontais e os sistemas tropicais.

Ao final desta longa descrição, na pretensão de sintetizar o ritmo de sucessão dos tipos de tempo na RMSP ao longo do período dez/2013-dez/2015, foi elaborada a figura 26, e respectiva legenda (quadro 2), com base nos sistemas atmosféricos extraídos das figuras 23, 24 e 25, precedentes.

Figura 26 - Síntese do Ritmo Atmosférico na RMSP - Período Dez/2013 a Dez/2015



Organização: dos autores (2019)

Quadro 2 - Sistemas Atmosféricos da Figura 26

Massa Polar Atlântica (MPA)	
Massa Polar Velha (MPV)	
Massa Tropical Atlântica (MTA)	
MTA Continentalizada (MTAC)	
Massa Tropical Continental (MTC)	
Linhas de Instabilidade (LI)	
Frente Polar Atlântica (FPA)	↑
Frente Polar Reflexa (FPR)	←
FPA Estacionária (FPA Est.)	↔
FPA em Dissipação (FPA Dis.)	→
Repercussão de FPA (Rep. FPA)	↖
FPA com Setor Quente de Retorno (FPA csqr)	↓
FPA Oclusa (FPA ocl.)	∂

Fonte: ZAVATTINI; BOIN (2013, p.111)

É importante frisar que durante a construção das figuras 23, 24 e 25 foram levados em conta os conceitos básicos da Climatologia Geográfica Brasileira sobre clima, ritmo, dinâmica atmosférica regional, estados atmosféricos e tipos de tempo.

Todavia, nesta modesta contribuição, não há como retomá-los, o que não impede que - visando a melhor compreensão da "figura-síntese" 26 – sejam feitos os seguintes apontamentos:

- Na sequência contínua de 25 meses o ritmo de sucessão dos tipos de tempo na RMSP variou:

a) de um ano para outro, o que habitualmente ocorre;

b) de uma estação do ano para outra, consequência dos solstícios, equinócios e de sua localização geográfica em pleno Trópico de Capricórnio;

c) de um mês para outro, gradativamente, com extremos nos solstícios contrastantes;

d) de uma sequência de dias para outra - conceito "ampliado" de tipos de tempo;

e) de poucos em poucos dias - conceito "estreito" de tipos de tempo.

- Nesses 25 meses ocorreram ritmos "habituais" e "excepcionais", geradores de encadeamentos diferenciados e do retorno, mais ou menos regular, aos mesmos estados atmosféricos.

- Para visualizar esses encadeamentos, e sucessivos retornos, basta "correr os olhos" pela figura 26, sempre da esquerda para a direita e de cima para baixo, numa leitura que respeite a sucessão cronológica do período (de dez/2013 a dez/2015), e que use o quadro 2 como base interpretativa da referida "figura-síntese".

- Em 2014 o ritmo "excepcional" de sucessão dos tipos de tempo na RMSP trouxe sérias implicações na captação, produção, armazenamento e distribuição de água para abastecimento público.

- Em 2015 a retomada do ritmo "habitual" de sucessão dos tipos de tempo na RMSP trouxe de volta as chuvas, muito aguardadas pela população, tão necessárias para o abrandamento da severa "crise hídrica".

- As cadeias rítmicas prejudiciais à distribuição habitual das chuvas na RMSP, responsáveis pela longa estiagem de 2014, foram "quebradas" a partir de fevereiro de 2015; contudo, somente em 2016 a "crise hídrica" teria seu fim decretado, já que tardou a vir a resposta positiva dos reservatórios dos Sistemas Cantareira e Alto Tietê, os mais importantes produtores de água do **SIM**.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa, ao estudar as variações da pluviosidade e suas implicações nos mananciais e no abastecimento público da RMSP, objetivou compreender o ritmo de sucessão dos estados atmosféricos e as chuvas a ele associadas.

Os dados obtidos e o período por eles coberto mostraram-se suficientes às análises empreendidas. Não obstante, ampliar os conhecimentos sobre tema tão importante exigiria mais esforços, por ora impraticáveis.

Resta, assim, sugerir uma direção para que futuros estudos possam esmiuçar o papel da Frente Polar Atlântica e de suas inflexões na gênese das chuvas na RMSP, bem como pormenorizar as intensidades dos fluxos das invasões polares (MONTEIRO, 1969) e, ainda, explorar a zona de transição climática na qual a RMSP está inserida (MONTEIRO, 1973).

Ao término desta análise geográfica da pluviosidade é pertinente destacar que, em nenhum momento, houve a veleidade de discutir a "chuva média" (anual, sazonal, mensal) na Grande São Paulo porque, simplesmente, a "média" é uma medida estatística de tendência central que, absolutamente, não se coaduna com os conceitos de clima (SORRE, 1951) e de ritmo (MONTEIRO, 1971), norteadores desta investigação.

Nesse sentido, é conveniente (re)lembrar que Sorre, em 1951, p. 13-14; 3ª edição (a 1ª edição é de 1943), retomava a definição de clima: "o ambiente atmosférico constituído pela série dos estados da atmosfera sobre um lugar na sua sucessão habitual", que já propusera em 1934 (in PIERY, M. "Traité de Climatologie Biologique et Médicale"), contrapondo-a àquela de Hann (1910; 1911, 1932): "conjunto dos elementos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera sobre um lugar"; pois, afinal, Sorre buscava "uma ideia justa do clima".

Desde o longínquo esforço empreendido por Sorre, que remonta aos anos de 1930, é possível deduzir que há muito tempo – muito tempo mesmo! – tenta-se mostrar aos geógrafos que clima e média não combinam.

É conveniente recordar, também, um dos ensinamentos de Monteiro (1971, p. 4) sobre o conceito de **ritmo**: "expressão da sucessão dos estados atmosféricos, [que] conduz, implicitamente, ao conceito de 'habitual', pois que há variações e desvios que geram diferentes graus de distorções até atingir padrões 'extremos' ".

Em conclusão, não há tendência central no clima do mesmo modo que não pode haver tendência central na pluviosidade. Clima é sinônimo de dinamismo, pois a variabilidade no tempo (cronológico) e no espaço (geográfico) lhe é intrínseca e possui ritmos (habitual e extremos).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES FILHO, A.P. **Episódios pluviais intensos na região metropolitana de São Paulo: uma avaliação no decênio 1982-1991** (Dissertação de Mestrado). USP/FFLCH, São Paulo, 1996.

ALVES FILHO, A.P. **O ritmo climático e as enchentes de 1991 na região metropolitana de São Paulo: uma análise através do radar meteorológico** (Tese de Doutorado). USP/FFLCH, São Paulo, 2003.

CABRAL, E. **Tendências e variabilidade do fenômeno pluvial na região metropolitana de São Paulo e possíveis vinculações com o processo de urbanização** (Tese de Doutorado). USP/FFLCH, São Paulo, 2002.

CESAR NETO, J.C. A crise hídrica no Estado de São Paulo. **GEOUSP: Espaço e Tempo** (Online), v. 19, n. 3, p. 479-484, 2015.

COELHO, C.A.S. et al. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 125, n. 3-4, p. 769-784, 2016.

CUSTÓDIO, V. **Escassez de água e inundações na Região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo: Humanitas/Fapesp, 2012.

CUSTÓDIO, V. A crise hídrica na região metropolitana de São Paulo (2014-2015). **GEOUSP: Espaço e Tempo** (Online), v. 19, n. 3, p.445-463, 2015.

DIAS, M.A.F.S. et al. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, v. 116, n. 3-4, p. 705-722, 2013.

DUFEK, A.S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, n. 3-4, p. 167-178, 2008.

EMPLASA. Disponível em: www.emplasa.sp.gov.br Acesso em: 02 julho 2018.

FOLHA DE SÃO PAULO, 04/02/2014, **Caderno Cotidiano**, p.C4.

FONTÃO, P.A.B. **Variações do ritmo pluvial na Região Metropolitana de São Paulo: reflexos no armazenamento hídrico e impactos no abastecimento urbano** (Tese de Doutorado). UNESP/IGCE, Rio Claro, 2018.

FRANÇA, A. Estudo sobre o clima da Bacia de São Paulo. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**, n. 70, 1946.

HANN, J. **Handbuch der Klimatologie.** Stuttgart, 1910, 1911, 1932.

IBGE. Disponível em: www.ibge.gov.br Acesso em: 02 julho 2018.

INMET/BDMEP. Disponível em: www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep

MARINHA DO BRASIL. Disponível em: www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas Vários acessos.

MONTEIRO, C.A.F. **A Frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul-Oriental do Brasil**. São Paulo: USP/IG, 1969. 68p.

MONTEIRO, C.A.F. Análise Rítmica em Climatologia. **Climatologia**, USP/IG, São Paulo, nº 1, p. 1-21, 1971.

MONTEIRO, C.A.F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo**. São Paulo: USP/IG, 1973. 129p.

OBREGÓN, G.O. et al. Rainfall and climate variability: long-term trends in the Metropolitan Area of São Paulo in the 20th century. **Climate Research**, v. 61, n. 2, p. 93-107, 2014.

PIERY, M. **Traité de Climatologie Biologique et Médicale.** Paris: Masson & Cie., Éditeurs, 1934.

PIVETTA, M. Da garoa à tempestade: temporais se tornam mais frequentes e chuva aumenta 30% em São Paulo em 80 anos. **Pesquisa FAPESP**, p. 40-45, 2012.

SABESP. Disponível em: www.sabesp.com.br Vários acessos.

SABESP. **CHESS - crise hídrica, estratégia e soluções da Sabesp para a RMSP**. São Paulo: SABESP, 2015. 95p.

SANT'ANNA NETO, J.L. **As Chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica** (Tese de Doutorado). USP/FFLCH, São Paulo, 1995.

SCHRÖDER, R. Distribuição e Curso Anual das Precipitações no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Instituto Agronômico de Campinas, vol. 15, nº 18, p. 193-249, 1956.

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966.

SORRE, M. **Les Fondements de la Géographie Humaine (Les Fondements Biologiques: essai d'une écologie de l'homme)**. Paris: Librairie Armand Colin, 1951, Tome Premier, 448 p.

TARIFA, J.R. **Fluxos Polares e as Chuvas de Primavera-Verão no Estado de São Paulo** (Tese de Doutorado). USP/IG, São Paulo, 1975.

TOLEDO, G.S. **Tipos de tempo e categorias climáticas na Bacia do Alto Tietê (1968) – Ensaio Metodológico** (Tese de Doutorado). USP/FFLCH, São Paulo, 1973.

ZAVATTINI, J.A.; BOIN, M.N. **Climatologia Geográfica**: teoria e prática de pesquisa. Campinas: Alínea, 2013. 150p.

Recebido para publicação em maio de 2019

Aceito para publicação em julho de 2019