

Área: Sustentabilidade | Tema: Cidades Sustentáveis e Inteligentes

**MANEJO DE FALHAS EM SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DA CHUVA**

MANAGEMENT OF PRECIPITATION TIME SERIES GAPS FOR SIZING RAINWATER RESERVOIR

Carla Fernanda Perius, Rutineia Tassi, Lucas Alves Lamberti, Bibiana Peruzzo Bulé e Cristiano Gabriel

Persch

RESUMO

O aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis tem ressurgido como uma prática de gestão sustentável e vem sendo amplamente empregado em diversas edificações no Brasil. O dimensionamento dos volumes de armazenamento vem sendo definido especialmente com o emprego do método da simulação, recomendado na NBR-ABNT 15.527/2007. Para a utilização do método da simulação é necessário, entre outras características, possuir uma série de precipitações extensa, com pelo menos 10 anos de dados do local de estudo. A obtenção de uma série longa de dados, com discretização temporal inferior à diária, sem falhas é uma tarefa muito árdua. Em vista dessas dificuldades, este artigo apresenta um estudo a respeito da influência de diferentes critérios para manejo de falhas em séries temporais de precipitação e a influência destes no dimensionamento de reservatórios de aproveitamento da água da chuva considerando três situações: i) atribuir valor zero para todas as falhas nas séries; ii) ignorar os períodos de tempo em que ocorreram falhas; e iii) atribuir o valor de zero para todas as falhas com duração consecutiva inferior ou igual a 24 horas e ignorar as falhas com duração consecutiva superior a 24 horas. Para determinar a influência das falhas existentes nas séries de precipitações, foi utilizado o método da simulação, dimensionando-se reservatórios de aproveitamento de água da chuva, em lotes hipotéticos, com área de cobertura impermeável de 200 m². Estes lotes foram localizados em cinco diferentes cidades do Brasil - Goiânia (GO), João Pessoa (PB), Manaus (AM), Porto Alegre (RS) e São Paulo (SP), contemplando assim diferentes regimes pluviométricos brasileiros. Durante as simulações, foram avaliados reservatórios com diferentes volumes comerciais: 1.000 L, 1.500 L, 2.000 L, 3.000 L e 5.000 L. O tratamento que considerou todas as falhas das séries de precipitações como zeradas apresentou as maiores falhas no atendimento à demanda.

Palavras-Chave: Aproveitamento de água da chuva; falhas; séries de precipitações

ABSTRACT

The use of rainwater for non-potable purposes has reemerged as a sustainable management practice and has been widely used in several buildings in Brazil. The sizing of storage volume is defined basically through the simulation method, recommended by NBR-ABNT 15.527 / 2007. In order to use the simulation method, it is necessary, among other characteristics, to have a long precipitation time series, including at least 10 years of data from the study site. Acquiring long time series of data with time discretization smaller a day and without gaps is a difficult task. Considering the difficulty, this paper presents a study about the influence of different gap management criteria in precipitation time series and its influence on the sizing of the rainwater harvesting reservoirs considering three situations: i) assign zero value to all gaps in the series; ii) ignore the periods in which gaps occurred; and iii) assign the value of zero for all gaps with consecutive duration of less than or equal to 24 hours and ignore gaps with consecutive duration greater than 24 hours. In order to determine the influence of the existing gaps in the precipitation time series, the simulation method was used to size the rainwater harvest reservoir in hypothetical sites with a waterproof coverage area of 200 m². The sites were located in five different cities of Brazil - Goiânia (GO), João Pessoa (PB), Manaus (AM), Porto Alegre (RS) and São Paulo (SP), contemplating different Brazilian rainfall regimes. During the simulations, reservoirs with different commercial volumes were evaluated: 1,000 L, 1,500 L, 2,000 L, 3,000 L and 5,000 L. The situation that assign zero to all the gaps in the precipitation time series presented the biggest failures in meeting the demand.

Keywords: Rainwater harvesting; gaps; precipitation time series

MANEJO DE FALHAS EM SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DA CHUVA

1 INTRODUÇÃO

O armazenamento e posterior aproveitamento da água da chuva são práticas que datam de mais de 2.000 anos. Porém, esta prática tem se popularizado, atualmente, como uma alternativa à gestão sustentável da água, permitindo a diminuição da utilização de água tratada para fins menos nobres (HENTGES, 2013).

O aproveitamento de água da chuva destina-se, principalmente, a usos não potáveis como, por exemplo, descarga de vasos sanitários, lavagens de carros e calçadas e irrigação de jardins, já que a qualidade da água da chuva dificulta o aproveitamento para fins potáveis sem tratamento. No entanto, isso não diminui a importância desta prática, visto que mais de 20% do consumo de água de uma residência poderia ser totalmente suprida pela água da chuva (CAMPISANO E MODICA, 2012).

A decisão pela adoção de um sistema de captação e aproveitamento da água da chuva é influenciada por uma série de fatores socioeconômicos, ambientais e técnicos. Embora algumas orientações técnicas estejam disponíveis (WARD et al., 2010), há poucas recomendações sobre os métodos adequados de dimensionamento do sistema a serem utilizados, deixando os técnicos relutantes em implementar sistemas de aproveitamento de água da chuva. No âmbito nacional, não há nenhuma lei que discipline especificamente sobre o uso das águas pluviais. A fim de padronizar os procedimentos para captação e aproveitamento da água da chuva, em 2007 foi concluída a norma que rege a utilização desse tipo de sistema em áreas urbanas para fins não potáveis: NBR nº. 15.527/2007 (ABNT, 2007).

No entanto, a norma brasileira permite várias possibilidades de métodos para a análise do desempenho de reservatórios de água da chuva, incluindo o método da simulação, comumente utilizado. Para a utilização do método da simulação é necessário, entre outras características, possuir uma série de precipitações extensa, com pelo menos 10 anos de dados do local a ser estudado para que o dimensionamento seja confiável, pois séries curtas podem conduzir a superestimativas ou subestimativas do volume de reservatório. Uma série de precipitações com extensão de 5 anos, por exemplo, pode majorar em até 15% o volume de reservatório comparativamente a uma série de 10 anos, dependendo da região do Brasil (PERIUS, 2016).

Ainda, com relação ao método da simulação, a referida norma permite a utilização de séries de precipitação com discretização temporal horária, diária ou mensal. Em um estudo que avaliou a influência da discretização temporal foi identificado que as simulações diárias podem subestimar em até 25% o volume de reservatório, quando comparadas às simulações horárias para a região sul e sudeste do Brasil (PERIUS, 2016). No mesmo sentido, um outro estudo de Campisano e Modica (2012) também mostrou que as diferenças de volume de reservação podem ser de até 17%, quando comparados dimensionamentos utilizando o intervalo de tempo diário com o intervalo de tempo de cinco minutos. Portanto, estes resultados sugerem que quanto menor o intervalo de tempo dos dados a ser utilizados, mais confiável o dimensionamento.

Embora mais adequado, destaca-se que a discretização temporal de cinco minutos para dados utilizados nas simulações dificilmente estão disponíveis, tanto para séries de precipitação, quanto para séries de demandas. No Brasil, o monitoramento e registro de séries de precipitações públicas com discretização inferior, ocorre através do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (INMET, 2019a), com discretização temporal de 1 hora ou Agência Nacional de Águas – ANA, com discretização temporal de 5 ou 15 minutos (ANA, 2019).

Bem como uma boa discretização temporal dos dados, a ausência de falhas nas observações da precipitação desempenha um papel importante no dimensionamento de reservatórios. Segundo Bertoni e Tucci (2013) em todas as séries de precipitações pode ocorrer a existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações, devido a problemas com os aparelhos de registros, interrupção do fornecimento de energia elétrica, entre outros. Portanto, obter-se uma série longa de dados, com discretização temporal inferior a diária, sem falhas torna-se uma tarefa muito árdua. Ainda, segundo Bertoni e Tucci (2013), embora haja várias formas de preenchimento de falhas em séries de precipitações, não se recomenda que estes métodos sejam utilizado para preenchimento de falhas em séries com discretização temporal diária ou inferior.

Em vista dessas dificuldades, este artigo apresenta um estudo a respeito da influência de diferentes critérios para manejo de falhas em séries temporais de precipitação, e a influência destes no dimensionamento de reservatórios de aproveitamento da água da chuva (RAAC). Para isso, foram consideradas três situações relacionadas ao manejo de falhas em séries temporais horárias: i) atribuir valor zero para todas as falhas nas séries; ii) ignorar os períodos de tempo em que ocorreram falhas; e iii) atribuir o valor de zero para todas as falhas com duração consecutiva inferior ou igual a 24 horas e ignorar as falhas com duração consecutiva superior a 24 horas. Para verificar o impacto dessas possibilidades em relação a diferentes regiões brasileiras, as avaliações foram realizadas para a área de captação de 200 m² considerando cinco volumes de reservação (1000 L, 1500 L, 2000 L, 3000 L e 5000 L) em cinco cidades brasileiras (Goiânia, GO; João Pessoa, PB, Manaus, AM, Porto Alegre, RS e São Paulo, SP).

2 METODOLOGIA

Para a determinação da influência das falhas existentes nas séries de precipitações foi utilizado o método da simulação, dimensionando-se reservatórios de aproveitamento de água da chuva, em lotes hipotéticos, com área de cobertura impermeável de 200 m². Estes lotes foram localizados em cinco diferentes cidades do Brasil – Goiânia (GO), João Pessoa (PB), Manaus (AM), Porto Alegre (RS) e São Paulo (SP), contemplando assim diferentes regimes pluviométricos brasileiros. Durante as simulações, foram avaliados reservatórios com diferentes volumes comerciais: 1.000 L, 1.500 L, 2.000 L, 3.000 L e 5.000 L

As simulações foram realizadas através de balanço hídrico de longo prazo, permitindo avaliar as falhas no atendimento às demandas para os diferentes volumes de reservação e séries de precipitações, conforme Equações 1 e 2.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (1)$$

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (2)$$

Sendo,

S(t): volume de água armazenado no reservatório no tempo 't';

S(t-1): Volume de água armazenado no reservatório no tempo 't-1';

D(t): Demanda de água para usos não potáveis ou consumo no tempo 't';

Q(t): Volume de chuva escoada no tempo 't';

C: Coeficiente de escoamento superficial, fixo em 0,95;

P(t): é a precipitação observada no intervalo de tempo "t";

A: é a área de captação.

No método da simulação é inicialmente definido um volume de reservatório, a partir do qual são contabilizados todas as entradas (precipitação) e saídas do reservatório (demandas

ou vertimentos). O armazenamento máximo possível é o próprio volume útil do reservatório e, toda vez que o aporte de água superar a sua capacidade, os volumes excedentes são extravasados.

A série de demandas para usos não potáveis utilizada na simulação foi formulada por Hentges (2013), considerando uma população média de 5 pessoas na unidade habitacional, sendo as características gerais da série de demandas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características da série de demandas

Demanda	Volume Unitário	Frequência	Horários	Volume Total/ Horário	Volume Total
Bacia Sanitária	6L/ descarga	4x/dia/pessoa	7:00/ 12:00/ 18:00/ 22:00	30 litros	120 litros
Lavagem de Veículos	220L/lavagem	Quinzenal	18:00	220 litros	220 litros
Limpeza de Calçadas	280L/limpeza	Quinzenal	09:00	280 litros	280 litros
Irrigação de Jardins	90L/irrigação	Dependente da temperatura e precipitação	19:00	90 litros	90 litros

Fonte: Adaptado de Hentges (2013).

Com relação à irrigação, foram propostos diferentes padrões, conforme a ocorrência de períodos de estiagem e de temperaturas mais elevadas. Considerando as temperaturas médias compensadas apresentadas nas Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010 (INMET, 2019b), para cada uma das cinco cidades analisadas, definiu-se que para os meses em que a temperatura média ambiente é superior a 20°C a irrigação seria realizada a cada dois dias, caso no período anterior a dois dias não ocorresse nenhum evento de precipitação. Nos meses em que a temperatura é menor do que 20°C, a irrigação de jardins foi considerada a cada sete dias, caso no período antecedente de sete dias não ocorresse nenhum evento de precipitação.

As séries de precipitação utilizadas para a verificação do funcionamento dos RAAC foram obtidas pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Os dados de chuva possuem discretização temporal de 60 minutos, e o período da série analisada foi igual à extensão da série de dados disponível: Manaus – 15 anos; Goiânia – 14 anos; João Pessoa – 8 anos; Porto Alegre – 14 anos e São Paulo – 9 anos.

Os dados de precipitação utilizados nas simulações possuíam diversas falhas ao longo dos anos considerados. Por se tratar de séries temporais de precipitação com discretização horária, não é possível realizar um preenchimento de falhas seguindo metodologias clássicas apresentadas na literatura. Portanto, foram realizados alguns tratamentos nas séries de precipitação a fim de analisar de que forma essas falhas na série de precipitação afetariam as porcentagens de falhas ao atendimento a demanda.

A partir do total anual de falhas de cada série de precipitação, foram descartados todos os anos em que as falhas ultrapassaram 30% do período de tempo, ou seja, admitiu-se até 4 meses de falhas anuais. A exceção foi considerada para locais com sazonalidade bem definida, e cujo período de falhas coincidia com o período de estiagem do ano. Para os demais casos, ou seja, para aqueles anos em que as falhas eram menores que 30% do tempo, foram considerados três diferentes tratamentos para o preenchimento das falhas, conforme descrito a seguir:

- Tratamento I: foi atribuído o valor de chuva 0 (zero) para todas as falhas da série, pois esta condição representa a situação mais crítica no caso da simulação do reservatório de aproveitamento da água da chuva (Falhazero);

- Tratamento II: as falhas foram consideradas inexistentes, isto é, foram ignoradas todas as horas que continham falhas, sendo desconsideradas também quaisquer demandas no mesmo horário (Falhaign.);

- Tratamento III: foi atribuído o valor de chuva 0 (zero) para todas as falhas com duração consecutiva inferior ou igual a 24 horas, e foram ignoradas as falhas com duração consecutiva superior a 24 horas (Falhaing.-zero).

Em nenhum dos três tratamentos houve mudança nos volumes totais anuais das séries de precipitação, ocorrendo, em alguns casos, mudanças nas séries de demandas, pois nos tratamentos II e III foram desconsiderados períodos de demanda.

As simulações foram realizadas para os três tratamentos dados ao preenchimento de falhas, nas cinco cidades consideradas, para os cinco volumes comerciais, totalizando 75 simulações. Foi avaliada a porcentagem de falhas do volume demandado durante o período de simulações, conforme Equação (3), para identificar a influência do tratamento das falhas no resultado do dimensionamento.

$$\text{Falha} = \left(\frac{\sum \text{VolumeFalhado}}{\sum \text{VolumeDemandado}} \right) \times 100 \quad (3)$$

3 RESULTADOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO

A Tabela 2 apresenta um resumo das principais características das séries de precipitação utilizadas para a simulação do aproveitamento da água de chuva em cada cidade analisada. De forma geral, as precipitações de cada cidade possuem características bem distintas umas das outras.

A série de precipitações para Porto Alegre possui início no ano de 2001, sendo que em nenhum ano da série as falhas atingiram valores maiores que 30%. Por este fato, não foi descartado nenhum ano desta série. Considerando os dados apresentados, o ano que possui maior precipitação acumulada corresponde ao de 2015, apresentando um total anual de 1.853,2 mm de chuva. O ano com o menor volume precipitado foi o de 2004, com um total de 854,4 mm de chuva. Ainda em Porto Alegre, percebe-se que a chuva máxima de uma hora de duração ocorreu no ano de 2007 (40,6 mm) e que o maior número de dias consecutivos sem precipitação ocorreu no ano de 2013, totalizando 17 dias.

Em Goiânia, a série de precipitações considerada iniciou no ano de 2002 e em nenhum ano de monitoramento ocorreu falha maior do que 30%. O ano que ocorreu a maior precipitação total anual foi o de 2013, com 1.761,0 mm de chuva. O menor total anual ocorreu no ano de 2007, com 1.013,8 mm. Como característica bem marcante desta série, que afeta fortemente o dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água da chuva, podem-se destacar os dias consecutivos sem chuva, sendo o máximo de 90 dias sem precipitação, no ano de 2008. Outra característica que deve ser levada em consideração, no caso de Goiânia, é o registro de precipitações intensas, sendo que em 2005 ocorreu uma precipitação de 72 mm em uma hora.

Tabela 2 – Características das séries de precipitações para as cinco cidades analisadas

Ano	Porto Alegre – RS				São Paulo – SP				Goiânia - GO				João Pessoa – PB				Manaus - AM			
	Falhas (%)	Total Anual (mm/ano)	Chuva máxima (mm/hora)	Dias cons. sem chuva	Falhas (%)	Total Anual (mm/ano)	Chuva máxima (mm/hora)	Dias cons. sem chuva	Falhas (%)	Total Anual (mm/ano)	Chuva máxima (mm/hora)	Dias cons. sem chuva	Falhas (%)	Total Anual (mm/ano)	Chuva máxima (mm/hora)	Dias cons. sem chuva	Falhas (%)	Total Anual (mm/ano)	Chuva máxima (mm/hora)	Dias cons. sem chuva
2001	12,6	1328,4	38,6	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,0	1357,4	47,4	20
2002	13,7	1395,2	27,6	8	-	-	-	-	9,0	1139,6	36,6	29	-	-	-	-	35,4**	1605,4	68,2	10
2003	15,2	1176,6	31,2	10	-	-	-	-	9,5	1286,2	61,2	29	-	-	-	-	77,3*	-	-	-
2004	10,3	854,4	20,8	12	-	-	-	-	7,8	1470,2	35,2	23	-	-	-	-	34,7*	-	-	-
2005	8,2	1117,0	27,6	14	-	-	-	-	1,8	1536,8	72,0	32	-	-	-	-	50,2*	-	-	-
2006	6,6	1043,4	37,8	15	-	-	-	-	4,8	1651,6	44,0	22	-	-	-	-	5,4	2067,4	42,8	11
2007	1,2	1501,0	40,6	12	0,3	1539,4	54,4	22	0,5	1013,8	36,2	21	-	-	-	-	0,2	2275,2	46,8	14
2008	2,2	1518,8	22,2	12	1,3	1561,0	54,4	20	1,5	1673,6	55,2	90	0,1	2142,4	44	13	37,2**	2022,4	61,4	13
2009	0,2	1737,6	35,4	10	0,3	1964,4	42,4	13	3,5	1628,4	38,8	43	0,3	2468,8	41,4	12	97,0*	-	-	-
2010	0,1	1481,4	26,8	12	0,1	1833,6	57,6	22	0,8	1231,0	62,6	51	17,9	873,8	30,4	20	9,4	1704,0	42	16
2011	0,3	1299,6	34,6	11	0,3	1653,2	58,4	24	0,7	1287,8	43,8	72	14,1	1696,2	40,8	9	0,1	2450,6	48	18
2012	0,0	1394,4	27,4	13	0,4	1828,8	45,6	23	1,0	1710,2	46,4	43	82,3*	-	-	-	0,0	2131,6	45	10
2013	1,5	1381,2	27,2	17	0,5	1359,6	29,6	19	0,3	1761,0	60,4	31	7,9	1461,2	30,8	14	1,6	2291,2	60,6	10
2014	0,2	1787,4	23,8	11	2,3	1220,6	45,2	28	8,5	1412,0	36,6	51	13,2	1571,8	29,6	15	1,1	2123,8	39,2	25
2015	0,2	1853,2	30,4	15	0,0	1890,6	77,8	23	0,1	1105,4	29,8	51	37,2*	-	-	-	0,1	1502,6	34,4	33

*Anos desconsiderados nas simulações; ** Ano considerado na simulação apesar de ultrapassar 30% de falha.

Fonte: Autores.

No caso de São Paulo, a série de precipitações tem início no ano de 2007 e, igualmente à Porto Alegre, nenhum ano apresentou falhas maiores do que 30%. O maior total anual foi de 1.964,4 mm, no ano de 2009 e o menor total anual da série ocorreu no ano de 2014 (1.220,6 mm), correspondendo também ao maior número de dias consecutivos sem chuva (28 dias). A chuva máxima de uma hora de duração foi de 77,8 mm, ocorrendo no ano de 2015.

A série de precipitação de João Pessoa teve início no ano de 2008, sendo que em dois anos o percentual de falhas ultrapassou 30%. Por esse motivo, os anos de 2012 e de 2015 foram descartados para as simulações posteriores. Portanto, a série de precipitações de João Pessoa é a série mais curta analisada, totalizando um período de 6 anos. O ano que apresentou o maior volume precipitado foi o de 2009 (2.468,8 mm), e o menor volume anual precipitado ocorreu no ano seguinte (2010), com apenas 873,8 mm precipitados. O ano de 2010 também apresentou o maior número de dias consecutivos sem chuva da série (20 dias) e a maior intensidade encontrada na série foi no ano de 2008, com 44 mm em uma hora.

Para Manaus, a série de precipitações considerada teve início no ano de 2001. Porém, vários anos (2002, 2003, 2004, 2005, 2008 e 2009) possuíram falhas maiores do que 30%, sendo estes desconsiderados em simulações futuras, com exceção apenas dos anos de 2002 e 2008, em que, apesar de extrapolar os 30%, (35,4 % e 37,2 %, respectivamente) as falhas ocorreram no período de seca, não interferindo nas demais características anuais. O ano em que ocorreu o maior volume precipitado, para Manaus foi o de 2011, com um total de 2.450,6 mm de chuva. Em contrapartida, o ano que apresentou o menor total anual de precipitação foi o de 2001, com 1.357,4 mm de chuva. A maior precipitação com uma hora de duração foi de 68,2 mm no ano de 2002 e o período máximo sem precipitação foi de 33 dias, no ano de 2015.

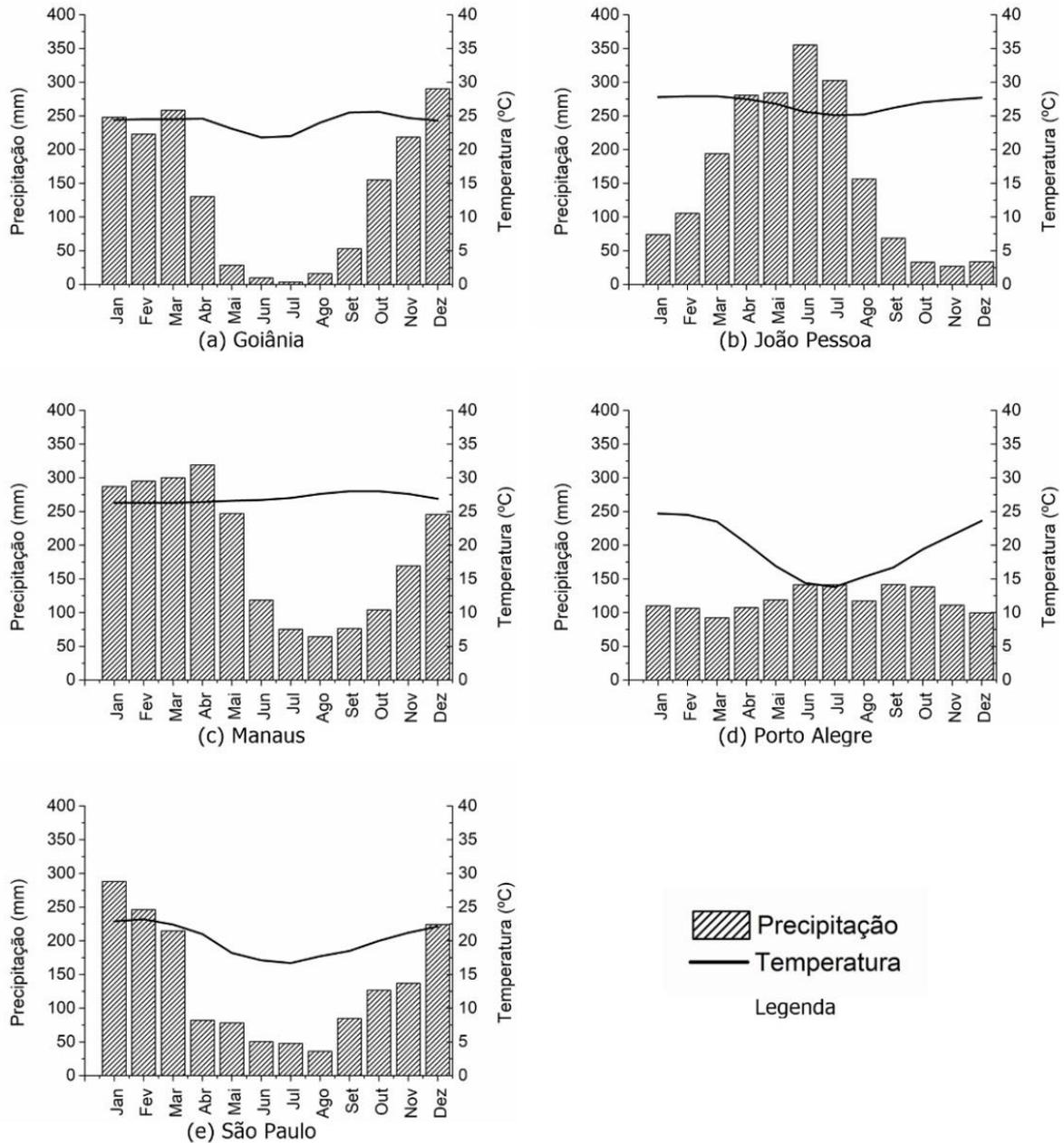
3.2. DEMANDAS DE IRRIGAÇÃO

A Figura 1 apresenta, a partir das Normais Climatológicas (1981-2010), as médias mensais de longo período de temperatura e precipitação, para as cinco cidades do estudo. Com isso é possível definir o padrão de irrigação, conforme descrito anteriormente. É possível distinguir diferentes padrões de precipitações para cada uma das cidades analisadas.

Com relação à precipitação, percebe-se que apenas a cidade de Porto Alegre possui uma boa distribuição dos volumes de chuva ao longo do ano, com baixa influência sazonal e médias mensais variando de 100 mm até 150 mm. As demais cidades apresentam forte componente sazonal nos volumes mensais de chuva, o que interfere diretamente no dimensionamento dos reservatórios de aproveitamento de água de chuva.

A temperatura, utilizada para determinar as demandas de irrigação, mantém-se sempre acima dos 20° C nas cidades de Goiânia, João Pessoa e Manaus. Portanto, nessas cidades a irrigação foi realizada durante todo o ano, a cada dois dias, caso não ocorresse volumes precipitados nos dois dias antecedentes. No caso de Porto Alegre e São Paulo, tem-se a temperatura abaixo dos 20° C entre os meses de abril e outubro. Assim, para essas cidades foram adotados dois regimes de irrigação de jardins: de abril a outubro, irrigou-se a cada sete dias e nos demais meses a irrigação foi realizada a cada dois dias, sendo que, em ambos os casos, a irrigação só era realizada caso não tivesse nenhum volume precipitado nos dias antecedentes.

Figura 1 – Médias mensais de temperaturas e precipitações das cidades analisadas



Fonte: Autores.

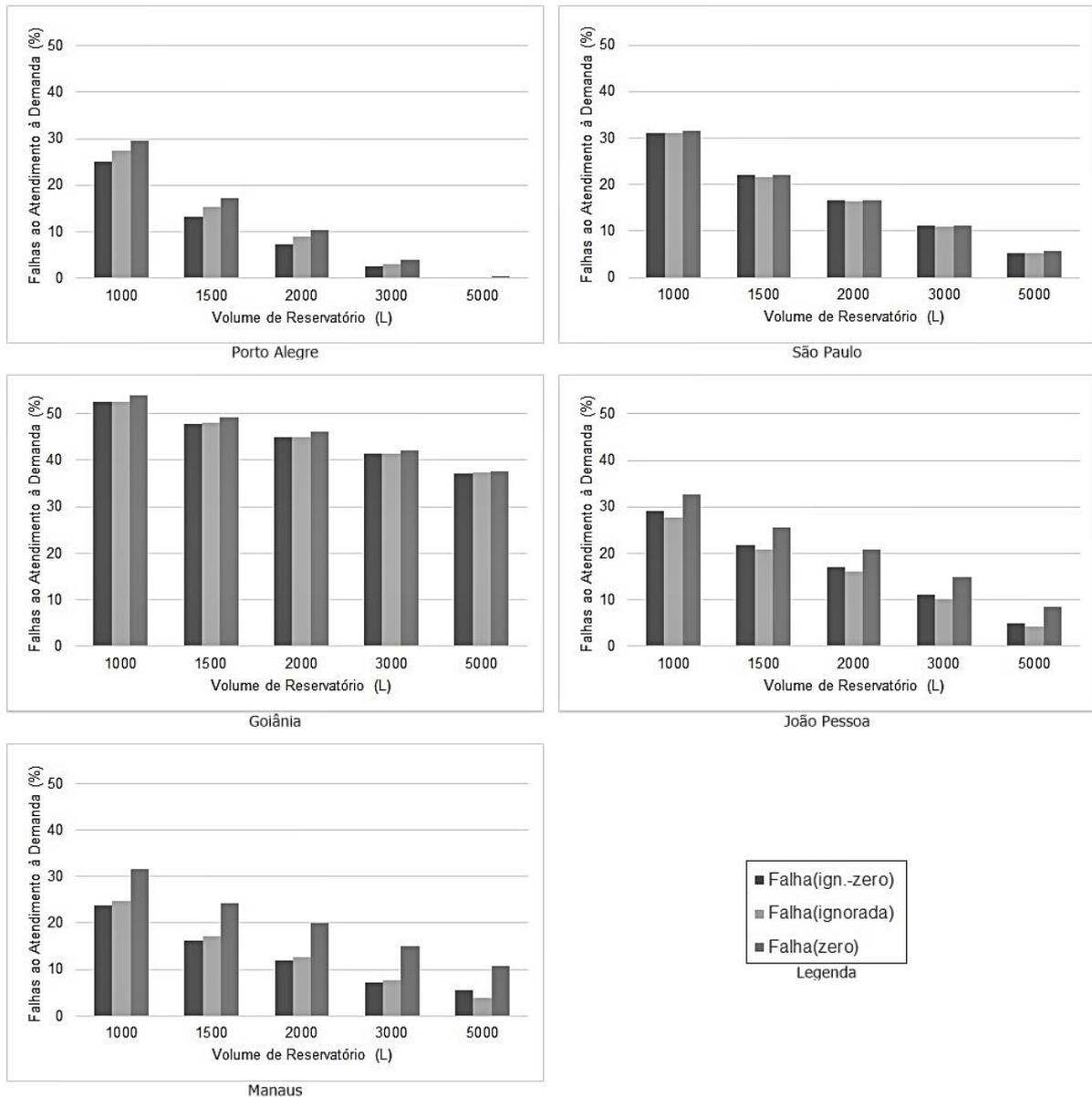
3.3 INFLUÊNCIA DO MANEJO DE FALHAS NOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Conforme descrito no item 3.1, as cidades de João Pessoa e Manaus tiveram alguns anos de suas séries de precipitações descartados pelo fato destes apresentarem falhas superiores a 30% do tempo. Para o tratamento das demais falhas, isto é, as falhas dos anos que apresentaram percentuais menores que 30% do tempo, foram testadas três diferentes formas de preenchimento, verificando de que forma impactariam a simulação do reservatório de aproveitamento de água de chuva.

Na Figura 2 é possível observar o resultado das simulações para os três tratamentos empregados, para as cinco cidades avaliadas, considerando-se 5 diferentes volumes de

reservatório e área de captação de 200 m². Nota-se que a pior situação, ou seja, aquela que apresenta a maior falha ao atendimento à demanda, para todas as simulações, é aquela em que todas as falhas foram consideradas iguais a zero.

Figura 2 – Falhas no abastecimento de água da chuva, considerando a série de precipitação com diferentes tratamentos das falhas para a área de 200 m²



Fonte: Autores.

Observando cada cidade isoladamente, percebe-se que João Pessoa e Manaus apresentam as maiores diferenças entre tratamentos, para o mesmo volume. Possivelmente, isso se deve ao fato dessas duas cidades apresentarem uma grande variação sazonal e as falhas nas séries de precipitação coincidirem com o período de maiores totais precipitados dessas séries. Portanto, nas cidades que possuem uma alta sazonalidade na precipitação, deve-se ter um maior cuidado no tratamento das falhas, visto que esse fator pode interferir fortemente no sistema de aproveitamento de água da chuva.

Os municípios de São Paulo e Goiânia, praticamente não apresentaram variações entre os tratamentos utilizados, apesar das duas cidades também possuírem uma notória variação sazonal na série de precipitações. Isso ocorre, porque, no decorrer de toda a série de precipitações o percentual de dados falhados é muito pequeno, chegando ao máximo de 2,3% de falha, no caso de São Paulo, e de 9,5% em Goiânia (Tabela 5.1), não gerando, portanto, grandes variações nos tratamentos das falhas.

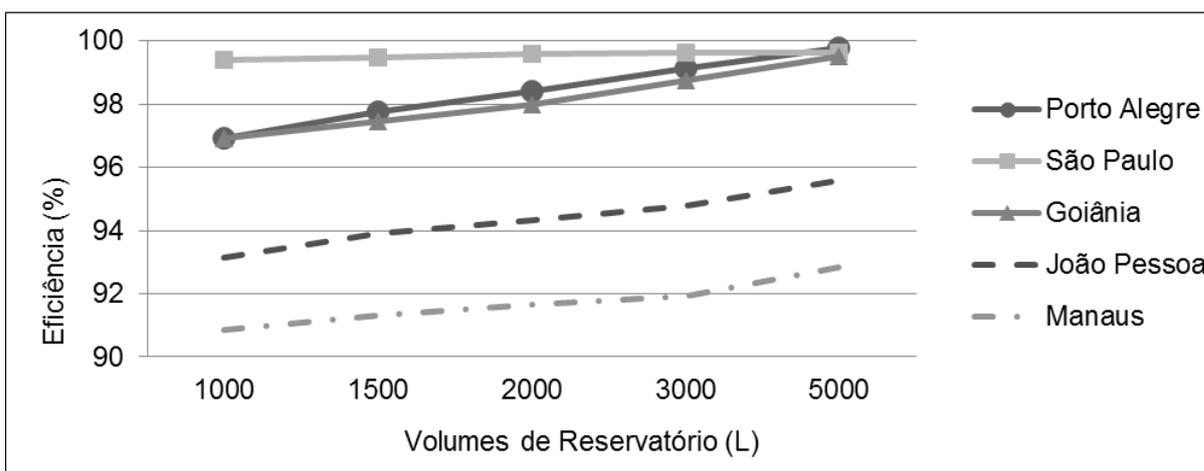
No caso de Porto Alegre, apesar de possuir falhas consideravelmente altas (15,2%), a diferença entre os tratamentos não é tão expressiva, em virtude de que esta série de precipitações não apresenta alta sazonalidade, ou seja, os volumes precipitados ao longo do ano são pouco variáveis.

A Figura 3 apresenta a eficiência do reservatório dimensionado considerando todas as falhas zeradas, comparativamente ao reservatório em que foram adotadas as falhas como ignoradas, ou seja, a eficiência do tratamento I, comparado ao tratamento II (Ef I – II). Visto que o Tratamento I (com todas as falhas zeradas) é o tratamento mais conservador, ou seja, aquele que gerou os maiores percentuais de falhas e o Tratamento II (com as falhas ignoradas) é o tratamento que gerou os menores percentuais de falhas.

A partir das curvas de eficiência obtidas para cada cidade, reforça-se o que já foi discutido anteriormente. As cidades de São Paulo, Goiânia e Porto Alegre apresentam as maiores eficiências, em virtude de o número total de falhas ser reduzido. Já as cidades de João Pessoa e Manaus, que apresentam os maiores percentuais de falhas, apresentam também os menores valores de eficiência.

Porém, é possível perceber que em todos os casos a eficiência aumenta com o aumento do volume de reservação. Isso mostra que, quanto maior o volume de reservatório adotado, menor a interferência das falhas existentes nas séries de precipitações.

Figura 3 – Eficiência de reservação do Tratamento I, comparativamente ao Tratamento II



Fonte: Autores

4 CONCLUSÃO

As cinco cidades escolhidas para as simulações apresentaram diferenças quanto à sazonalidade das precipitações, temperaturas e, por consequência, das demandas. Porto Alegre possui as precipitações constantes ao longo do tempo, São Paulo apresenta um menor volume precipitado durante os meses de abril até setembro. Goiânia, João Pessoa e Manaus apresentam diferentes padrões de precipitação. Goiânia tem o período de estiagem bem marcado nos meses de maio a setembro. Manaus possui um padrão bem parecido, porém

menos marcado, com os menores volumes precipitados nos meses de junho a setembro. Já João Pessoa, possui o período de estiagem nos meses de outubro a janeiro.

Quanto ao preenchimento das falhas nas séries de precipitação, o tratamento que considerou todas as falhas das séries de precipitações como zeradas apresentou as maiores falhas no atendimento à demanda, sendo que a maior diferença entre as configurações adotadas foi para a cidade de Manaus, com aproximadamente 10% de diminuição na eficiência do reservatório.

Conforme ocorre o aumento dos volumes de reservação, diminui a influência dos tipos de preenchimento das falhas, portanto, deve-se aumentar o cuidado com o preenchimento de falhas conforme se diminui o volume do reservatório.

Por fim, recomenda-se considerar todas as falhas como zeradas, em vistas que esse tratamento é o que produziu o maior percentual de falhas, indo assim de encontro com a segurança do dimensionamento.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527: Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2007, 8p.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidrotelemetria.** Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/>> Acesso em: 01 agosto de 2019.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação.** TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia: Ciência e Aplicação. cap.5, editora UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 2013. 943p.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. **Regional scale analysis for the design of storage tanks for domestic rainwater harvesting systems.** Water Science and Technology. London, v. 66, n. 1, p. 1–8, 2012.

HENTGES, S. C. **Efeito de Reservatório de Aproveitamento de Água de Chuva sobre Redes de Drenagem Pluvial.** Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações Automáticas.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acesso em: 01 agosto de 2019 a.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> Acesso em: 04 agosto de 2019 b.

PERIUS, C. F. **Variáveis de projeto e sua influência no desempenho e dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água da chuva.** Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

WARD, S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. **Rainwater harvesting: model-based design evaluation.** Water Science & Technology, v.61, n.1, p. 85–96, 2010.