

Matheus Soares Geraldi

**INFLUÊNCIA DO TAMANHO DE SÉRIES TEMPORAIS DE  
PRECIPITAÇÃO EM SIMULAÇÕES DE SISTEMAS DE  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM EDIFICAÇÕES**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
para a obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Civil  
Orientador: Prof. Eneid Ghisi, PhD.

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Geraldi, Matheus Soares

Influência do tamanho de séries temporais de precipitação em simulações de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações / Matheus Soares Geraldi ; orientador, Enedir Ghisi, 2017.

251 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Aproveitamento de águas pluviais. 3. Dimensionamento de reservatório de água pluvial. 4. Séries temporais de precipitação. 5. Simulação computacional.. I. Ghisi, Enedir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Matheus Soares Geraldi

**INFLUÊNCIA DO TAMANHO DE SÉRIES TEMPORAIS DE  
PRECIPITAÇÃO EM SIMULAÇÕES DE SISTEMAS DE  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM EDIFICAÇÕES**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Civil” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 15 de maio de 2017.

---

Prof. Glicério Trichês, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. EneDir Ghisi, PhD.  
Orientador – UFSC

---

Prof. Antônio Edésio Jungles, Dr.  
UFSC

---

Prof. Pedro Luiz Borges Chaffe, Dr.  
UFSC

---

Prof.<sup>a</sup> Rutineia Tassi, Dr.<sup>a</sup>  
UFSM







## AGRADECIMENTOS

À minha família, José Matheus, Elizete, Gabriela e Beatriz, pelo apoio incondicional, pelos exemplos de esforço, e por serem sempre meu porto seguro.

Ao professor e orientador Enedir Ghisi, pela disponibilidade, compreensão e por nortear a pesquisa científica de um modo sério e empenhado.

Aos professores Antônio Edésio Jungles, Rutineia Tassi e Pedro Luiz Borges Chaffe, por aceitarem avaliar este trabalho.

Ao Mateus Bavaresco, pelo apoio e incentivo, especialmente pela ajuda e presença nas horas difíceis.

Aos quatro, Natália Rosa, Raquel Cardoso e Mateus Bavaresco, pela conexão incrível.

Aos amigos que o mestrado trouxe, Mônica Martins Pinto, Natália Rosa, Raquel Cardoso, Raquel Sousa, Laís Klein, Adriano Dias, Gabriela Goedert, Kácia Henderson e Paulo Vitor Jaime.

À equipe da RainMap Sistemas Sustentáveis, Stephanie Thiesen (parceira, sócia e amiga), e Camile Kaestner, por todo o ânimo, entusiasmo dia a dia, e principalmente, pelo suporte e compreensão em todos os momentos.

Ao PET Engenharia Civil, por semear o espírito acadêmico, em especial ao professor Claudio Cesar Zimmermann, pelo exemplo de dedicação e amor ao que se faz, sempre com carinho e atenção.

Aos amigos de graduação, Narayana Massocco e Viviane Bicalho, por ajudarem a enxergar leveza em tudo.

Aos amigos Jorge Braun, Alvaro Schmitt, Karol Campos e Carolina Iris pelo exemplo de determinação, fé, e, principalmente, pelo incentivo em iniciar o mestrado, plantando em mim a coragem necessária no momento certo.

Aos amigos, de sempre e para sempre, Rafaelle de Oliveira, Ana Carolina Nunes, Caroline de Lima, Fernando Hoffmann, André Monteiro e Ricardo Melo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

Este trabalho avaliou a influência do uso de diferentes tamanhos de séries temporais de precipitação em simulações de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações. O objetivo principal foi verificar qual tamanho de série temporal consegue produzir resultados significativamente similares aos resultados obtidos com o uso de uma série histórica. O estudo foi feito para uma amostra de treze cidades localizadas em diferentes países. Foram utilizadas séries históricas de 30 anos de dados diários como referência e, a partir destas, foram criadas séries temporais curtas, ou seja, 30 séries de 1 ano, 29 séries de 2 anos, etc. Com as séries temporais curtas e as séries históricas, utilizou-se o programa computacional Netuno para realizar simulações e comparar os resultados. Foi definido um modelo de simulação com parâmetros fixos, como área de captação e número de moradores, e foram variados outros parâmetros, como o tamanho da série temporal e a demanda de água pluvial. Para comparar os resultados, realizou-se uma análise quantitativa a partir de três comparações: diferença entre os potenciais de economia gerados para os mesmos volumes de reservatório; volumes ideais de reservatório; e potencial de economia de água potável correspondente ao volume ideal de reservatório. A partir da contabilização da frequência dos resultados similares, foram determinados tamanhos de séries temporais representativos (quando pelo menos 90% dos resultados foram similares aos da série histórica) para cada cidade. Foi realizada a validação do tamanho de série representativo por meio de uma segunda etapa de simulação utilizando uma série de um período diferente do período utilizado na simulação inicial. Paralelamente, foi realizada uma análise qualitativa por meio da comparação de características pluviométricas das séries históricas com características pluviométricas das séries temporais curtas que geraram resultados similares aos da série histórica. Como resultados, foram obtidos diferentes tamanhos de séries temporais representativas dependendo da cidade. A menor série temporal representativa encontrada foi 6 anos, e a maior, 20 anos. Percebeu-se que para sete das treze cidades avaliadas, séries temporais de 15 anos foram suficientes para representar resultados similares aos da série histórica. Concluiu-se que o uso de séries temporais curtas no lugar de séries históricas para

simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial é válido e principalmente dependente da quantidade média anual de dias sem precipitação e sazonalidade, características pluviométricas da região. Em casos de cidades com características pluviométricas semelhantes às das cidades avaliadas neste estudo, podem ser utilizados tamanhos representativos conforme os determinados, porém, uma análise específica é necessária em casos de caracterização pluviométrica muito diferente. Além disso, a partir da análise qualitativa, concluiu-se que a quantidade média anual de dias sem precipitação foi a característica mais importante na avaliação da representatividade de séries temporais curtas no lugar de séries históricas para simulação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de águas pluviais; potencial de economia de água potável; dimensionamento de reservatório de água pluvial; séries temporais de precipitação; simulação computacional.

## ABSTRACT

This study assessed the use of different rainfall time series sizes in rainwater harvesting in buildings. The main objective was to determine which rainfall time series size could provide results equivalent to those obtained using a long-term time series size. The study was conducted in thirteen cities around the world. It was used 30-years series as long-term time series size (as a reference) and short-term time series based on the long-term time series, i.e., 30 1-year series, 29 2-years series, and so on. The Netuno computer programme was used to run the simulations for each time series size and a model with some fixed parameters, as roof area and a number of residents, and some variable parameters, as the rainfall time series size and rainwater demand. The simulations results were compared with the long-term time series results in three ways: difference of potential for potable water savings, using the same rainwater tank capacity; optimal rainwater tank capacity; and potential for potable water savings relative to the optimal tank. Then, for each city, a representative rainfall time series was taken as the one which has at least 90% of equivalent results to those obtained for the long-term time series. A validation was conducted using a time series of the same size as the representative one, but with different rainfall data. A qualitative analysis was also performed by comparing the features of long-term and short-term time series that generate equivalent results. It was obtained that different time series size can be used to provide equivalent results to those obtained for the long-term time series, depending on the city. The shortest time series size was 6 years, and the longest was 20 years. In seven cities, 15-years time series size would provide equivalent results to those obtained for the long-term time series. The conclusion was that the use of short-term time series size instead of long-term time series size for rainwater harvesting systems is valid and mostly dependent on the rainfall patterns. In cities with rainfall patterns similar to those used in this study, short-term time series size as found in this study can be used, but a specific analysis is needed in case of different rainfall patterns. Last, the qualitative analysis showed that the annual average of days with no rainfall is the most important feature on the evaluation of short-term instead of long-term time series size to assess rainwater harvesting in buildings.

**Keywords:** Rainwater harvesting system; Potential for potable water savings; Rainwater tank sizing; Rainfall time series; Computer simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do método proposto.....	57
Figura 2 – Localização das cidades em estudo no contexto global. .....	58
Figura 3 – Tamanho das séries temporais consideradas nas simulações (os períodos exemplificados são dos dados da cidade de Berlim). .....	62
Figura 4 – Curva típica do resultado de simulação para dois exemplos genéricos de simulações “A” e “B”. .....	66
Figura 5 – Médias mensais de precipitação das cidades analisadas. ....	75
Figura 6 – Resultados de caracterização pluviométrica da cidade de Alexandria, considerando as séries curtas (pontos), em comparação com a série histórica (linha tracejada). .....	80
Figura 7 – Resultados de caracterização pluviométrica da cidade de Nova Iorque, considerando as séries curtas (pontos), em comparação com a série histórica (linha tracejada). .....	81
Figura 8 – Resultados de caracterização pluviométrica da cidade de Encarnación, considerando as séries curtas (pontos), em comparação com a série histórica (linha tracejada). .....	82
Figura 9 – Resultados das simulações de Alexandria, para demanda de água pluvial de 20% da demanda de água potável. Linhas em cinza são as séries curtas e as linhas em preto representam a série histórica.....	83
Figura 10 – Resultados das simulações de Nova Iorque, para demanda de água pluvial de 20% da demanda de água potável. Linhas em cinza são as séries curtas e as linhas em preto representam a série histórica.....	84
Figura 11 – Resultados das simulações de Encarnación, para demanda de água pluvial de 20% da demanda de água potável. Linhas em cinza são as séries curtas e as linhas em preto representam a série histórica.....	85
Figura 12 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Alexandria, para as quatro demandas de água pluvial. ....	89
Figura 13 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Nova Iorque, para as quatro demandas de água pluvial.....	89

Figura 14 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Encarnación, para as quatro demandas de água pluvial. ....	90
Figura 15 – Frequência com a qual o volume ideal de reservatório de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Alexandria. ....	93
Figura 16 – Frequência com a qual o volume ideal de reservatório de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Nova lorque. ....	93
Figura 17 – Frequência com a qual o volume ideal de reservatório de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Encarnación. ....	94
Figura 18 – Frequência com a qual o potencial de economia ideal de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Alexandria. ....	99
Figura 19 – Frequência com a qual o potencial de economia ideal de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Nova lorque. ....	99
Figura 20 – Frequência com a qual o potencial de economia ideal de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Encarnación. ....	100
Figura 21 – Precipitação média anual das séries curtas que se assemelharam à série histórica. ....	115
Figura 22 – Índice de sazonalidade das séries curtas que se assemelharam à série histórica. ....	116
Figura 23 – Quantidade média anual de dias sem precipitação das séries curtas que se assemelharam à série histórica.....	117
Figura 24 – Precipitação média anual das séries curtas que se assemelharam à série histórica, em relação à precipitação média anual da série histórica, para as demandas de água pluvial em estudo.....	119
Figura 25 – Índices de sazonalidade das séries curtas que se assemelharam à série histórica, em relação aos índices de sazonalidade da série histórica, para as demandas de água pluvial em estudo.....	119
Figura 26 - Quantidade média anual de dias sem precipitação das séries curtas que se assemelharam à série histórica, em relação à quantidade média anual de dias sem precipitação da série histórica, para as demandas de água pluvial em estudo. ....	120

Figura 27 – Cruzamento entre precipitação média anual e tamanho da série temporal representativa das cidades. ....	122
Figura 28 - Cruzamento entre índice de sazonalidade e tamanho da série temporal representativa.....	123
Figura 29 - Cruzamento entre quantidade média anual de dias sem precipitação e tamanho da série temporal representativa.....	123
Figura 30 - Cruzamento entre índice de sazonalidade e tamanho da série temporal considerado adequado considerando apenas a análise quantitativa.....	124



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cidades e período histórico dos dados de precipitação. ....	58
Tabela 2 – Dados de entrada das simulações computacionais. ....	60
Tabela 3 – Dados de entrada das simulações computacionais (cont.).....	61
Tabela 4 – Resumo da quantidade de simulações para uma localidade. ....	65
Tabela 5 – Síntese das características pluviométricas das cidades analisadas. ....	77
Tabela 6 – Limites de agrupamento das cidades por índice de caracterização pluviométrica.....	78
Tabela 7 – Agrupamento das cidades por similaridade de índice de caracterização pluviométrica.....	78
Tabela 8 – Tamanho das séries temporais curtas consideradas adequadas a representar resultados similares aos da série histórica, com base na análise quantitativa. ....	92
Tabela 9 – Tamanho das séries temporais curtas consideradas adequadas a representar resultados similares aos da série histórica, com base na análise do volume ideal do reservatório.....	98
Tabela 10 – Tamanho das séries temporais curtas consideradas adequadas a representar resultados similares aos da série histórica, com base no potencial de economia ideal. ....	104
Tabela 11 – Tamanho representativo das séries temporais curtas por cidade.....	105
Tabela 12 – Informações das séries temporais utilizadas para validação do tamanho de série representativo. ....	106
Tabela 13 – Resumo dos resultados da validação para as séries temporais de validação. ....	107
Tabela 14 – Período das séries temporais curtas cujos resultados foram similares aos da série histórica.....	112



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ANA – Agência Nacional de Águas;

GHCN – do inglês: *Global Historical Climatology Network*, Rede Climatológica Histórica Mundial;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;

NBR – Norma Brasileira;

OMM – Organização Mundial de Meteorologia;

OMS – Organização Mundial da Saúde;

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo;

SC – Santa Catarina;

SI – Sistema Internacional de Unidades;

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina;

YAS – do inglês: *yield after spillage*, consumo depois do derramamento (precipitação);

YBS – do inglês: *yield before spillage*, consumo antes do derramamento (precipitação).



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>1.1. Considerações Iniciais .....</b>	<b>27</b>
<b>1.2. Objetivos .....</b>	<b>30</b>
1.2.1.    Objetivo geral .....	30
1.2.2.    Objetivos específicos.....	31
<b>1.3. Estrutura do trabalho .....</b>	<b>31</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>33</b>
<b>2.1. Aproveitamento de água pluvial em edificações .....</b>	<b>33</b>
2.1.1.    Estudos sobre aproveitamento de água pluvial em edificações.....	33
2.1.2.    Métodos de dimensionamento .....	40
2.1.3.    Programa Netuno .....	43
<b>2.2. Séries temporais de precipitação em simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial.....</b>	<b>46</b>
<b>2.3. Síntese da revisão de literatura.....</b>	<b>55</b>
<b>3. MÉTODO .....</b>	<b>57</b>
<b>3.1. Estrutura do método.....</b>	<b>57</b>
<b>3.2. Determinação do modelo de simulação.....</b>	<b>59</b>
<b>3.3. Obtenção e preparação das séries temporais.....</b>	<b>61</b>
<b>3.4. Caracterização das séries temporais .....</b>	<b>62</b>
<b>3.5. Simulações .....</b>	<b>64</b>
<b>3.6. Organização dos resultados das simulações .....</b>	<b>66</b>
<b>3.7. Análise quantitativa .....</b>	<b>67</b>
<b>3.8. Análise comparativa dos indicadores de dimensionamento.....</b>	<b>68</b>
3.8.1.    Volume ideal do reservatório.....	69
3.8.2.    Potencial de economia ideal .....	70
<b>3.9. Validação do tamanho de série temporal representativo .....</b>	<b>71</b>

3.10.	Análise qualitativa.....	73
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	75
4.1.	Caracterização das séries temporais .....	75
4.2.	Análise geral dos resultados das simulações.....	83
4.3.	Análise quantitativa .....	88
4.4.	Análise comparativa dos indicadores.....	92
4.4.1.	Volume ideal de reservatório .....	93
4.4.2.	Potencial de economia ideal .....	98
4.5.	Validação da série temporal representativa .....	104
4.6.	Análise qualitativa .....	110
4.7.	Discussão de resultados .....	125
5.	CONCLUSÕES .....	131
5.1.	Conclusões.....	131
5.2.	Limitações do trabalho .....	133
5.3.	Sugestões para trabalhos futuros .....	134
	REFERÊNCIAS.....	137
	APÊNDICES .....	145

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações Iniciais

A escassez de água potável é um motivo de preocupação mundial. A demanda por água potável cresce com o aumento da população e do número de novas edificações, acentuando cada vez mais a crise hídrica. Segundo o Fórum Mundial da Água, ocorrido no Japão, em 2003, nos 25 anos seguintes ao fórum, um em cada cinco países estaria sujeito a sofrer com falta de água. De acordo com o documento publicado naquele fórum, chamado de *Population Action International*, aproximadamente 439 milhões de pessoas viviam em situação crítica de falta de água em 1997, e este número tende a quintuplicar até 2050 (VILLIERS, 2002).

No ano de 2015, o estado de São Paulo e parte do Rio de Janeiro sofreram gravemente com escassez de água provocada pela estiagem na região. Em São Paulo, o abastecimento sofreu redução de aproximadamente 56% devido à falta de água do sistema Cantareira durante no período de crise em 2015 (SABESP, 2015).

As mudanças climáticas que vêm sendo registradas dificultam previsões e inibem alternativas de mitigação de problemas relacionados à escassez de água. Fenômenos como o El Niño e ciclones extratropicais modificam ainda mais o comportamento inconstante e de difícil caracterização do clima; e os fenômenos de precipitação passam a se diferenciar ainda mais dos padrões registrados durante os últimos anos. Para sanar as dificuldades advindas do sistema de abastecimento de água unificado, uma das soluções mais simples a ser estudada é a mudança da fonte de água, fazendo as edificações migrarem de um fornecimento totalmente dependente do abastecimento centralizado para um sistema híbrido, mais independente.

Quando a eficiência do uso de água aumenta, além da promoção da preservação do meio ambiente, é possível ainda liberar o fornecimento de água para outros usos, tais como estabelecimento de novas indústrias e produções agrícolas. Segundo May (2004), a disponibilidade de água será um dos parâmetros básicos para tomada de decisão para definir a locação de qualquer empreendimento no futuro próximo. Em termos de consumo médio mundial de água, a maior parcela percentual é

destinada à agricultura, com 70%, seguida da indústria, com 22%, sendo o consumo urbano representado por cerca de 8% (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2016).

A chuva é a forma mais acessível de encontrar água na natureza. Além de sua gratuidade e disposição próxima ao local de uso, a água pluvial pode ser usada tanto para fins não potáveis – como em descargas de vasos sanitários, limpeza, jardinagem – quanto para servir demandas potáveis, como cocção, banho e lavatório, se possuir tratamento adequado. Dessa forma, o uso de sistemas de aproveitamento de água pluvial é uma prática crescente e eficaz para proporcionar ou melhorar o acesso a este recurso fundamental.

Apesar dessa prática ser antiga, ainda é tratada como novidade e solução alternativa no mundo inteiro (LIAW; CHIANG, 2014). No Brasil, cerca de 1% das residências possuem abastecimento de água proveniente da precipitação, segundo o IBGE (2010), frente a cerca de 80% da água advinda de mananciais como rios e lagos, evidenciando assim o grande potencial de exploração da água pluvial.

O aproveitamento de água pluvial para uso doméstico em edificações proporciona diversos benefícios, sejam eles ambientais, econômicos ou sociais. Quando implantada em grandes escalas, a nível de planejamento urbano das cidades e comunidades, esta técnica pode apresentar impactos bastante significativos. Podem ser consideradas como vantagens ambientais: a redução de captação de águas dos mananciais hidráulicos para abastecimento das cidades; a menor intervenção no meio natural; e a preservação dos corpos hídricos e sua biota. Dentre os benefícios econômicos, citam-se: a diminuição do valor da fatura de água da população que faz uso desta técnica; e a redução da demanda do abastecimento centralizado, prolongando a vida útil do sistema de distribuição. Quanto aos benefícios sociais, pode-se citar a diminuição do escoamento superficial – água pluvial que escoia pelas ruas que, em excesso, pode causar alagamentos e transtornos urbanos. Além disso, a adesão da população a essa prática em edificações promove o aumento da consciência de preservação do meio ambiente, corroborando para disseminar a ideia de sustentabilidade no âmbito da construção civil (ZHANG *et al.*, 2009).

Para utilizar um sistema de aproveitamento de água pluvial é necessário o adequado dimensionamento dos componentes do

sistema, de forma a se obter a melhor relação entre custo e benefício. Para isso, podem-se utilizar dimensionamentos por meio de equações empíricas ou por métodos que utilizam simulações computacionais. Alguns programas computacionais estão disponíveis para realizar esse tipo de função. Nascimento e Moruzzi (2009) desenvolveram um programa computacional de suporte à decisão para cálculo do reservatório de armazenamento de água pluvial em áreas urbanas, denominado REZZ. A *Ajit Foundation* desenvolveu o SimTanka, com grande aplicação na Índia, e ainda há o RainCycle, uma ferramenta baseada em Excel e Visual Basic, que utiliza balanço de massa e análise de ciclo de vida. Dentre estes programas computacionais, o programa Netuno, desenvolvido por Ghisi e Cordova (2014), utiliza um banco de dados climáticos com base diária de precipitação e outras variáveis determinadas pelo usuário para realizar uma simulação e determinar não só o volume ideal do reservatório, como também relacioná-lo com o potencial de economia de água potável, o volume de água extravasado e o percentual de atendimento de água pluvial. É possível ainda realizar uma análise econômica a partir de informações sobre tarifa local de água, consumo de energia para bombeamento de água e custos médios da fatura de água.

Em qualquer situação de simulação de um sistema de aproveitamento de água pluvial deve ser utilizado um banco de dados a partir de registros de séries de precipitação. Esta variável possui grande influência no dimensionamento do reservatório. Um maior tamanho da série de precipitação confere maior confiabilidade no processo de simulação, melhor representação dos fenômenos de precipitação ao longo do tempo e, conseqüentemente, melhores resultados. Ward *et al.* (2010) determinam que um tamanho apropriado de série histórica é de no mínimo 25 anos de registros de dados, para qualquer simulação ou método utilizado. A OMM (Organização Mundial de Meteorologia) aponta um intervalo de, no mínimo, 30 anos de observações para compor um banco de dados de informações climáticas de forma representativa para uma determinada região, em aspectos gerais (OMM, 1989). Porém, é comum que muitas cidades não tenham um acervo de dados climáticos com este tamanho de série histórica para realizar o dimensionamento.

Alguns trabalhos têm trazido estudos acerca do uso de diferentes tamanhos de séries temporais. Ghisi *et al.* (2012)

estudaram a significância do tamanho da série temporal na simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial para a cidade de Santa Bárbara do Oeste, em São Paulo. Neste estudo, foram utilizadas séries curtas de diversos tamanhos e a série histórica de 30 anos para se comparar os tamanhos dos reservatórios e o potencial de economia ideal determinados. Como resultados, obteve-se que o uso de séries com 13 anos ou mais pode resultar em tamanhos de reservatórios iguais aos dimensionados com séries históricas. Além deste trabalho, outros estudos que utilizam diferentes tamanhos de séries de precipitação são encontrados na literatura. Ward *et al.* (2010) utilizaram séries temporais de 25 anos para analisar diferentes métodos de dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial. Basinger *et al.* (2010) também utilizaram 25 anos para analisar um modelo não-paramétrico de confiabilidade de dimensionamento de sistemas. Séries ainda menores foram utilizadas para a mesma finalidade, como Herrmann e Schmida (2000) que utilizaram séries de 10 anos para avaliação de sistemas de aproveitamento de água pluvial na Alemanha, e Villarreal e Dixon (2005) que utilizaram séries de três anos para dimensionar reservatórios na Suécia.

Apesar de muitos trabalhos utilizarem diferentes tamanhos de séries temporais para dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial, verifica-se um número reduzido de estudos sobre a influência do tamanho da série temporal na temático do uso racional de água em edificações. Diante deste cenário, esta pesquisa tem o intuito de verificar a validade de utilização de séries temporais menores que a série histórica para dimensionamentos de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é analisar a influência de séries temporais de precipitação em sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações, determinado um tamanho de série que consiga gerar resultados significativamente similares aos gerados com uma série histórica e qual as principais

características das séries que influenciam em simulações de aproveitamento de água pluvial em edificações.

### 1.2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos pretendidos são expostos a seguir:

- Avaliar a influência do tamanho das séries temporais, por meio da comparação dos diferentes potenciais de economia para o mesmo reservatório, simulados com diferentes tamanhos de séries temporais;
- Avaliar a influência do tamanho das séries temporais, por meio da comparação dos diferentes volumes ideais de reservatório e do respectivo potencial de economia de água potável correspondente ao volume ideal de reservatório, simulados com diferentes tamanhos de séries temporais;
- Avaliar a influência da demanda de água pluvial nas simulações com diferentes tamanhos das séries temporais de precipitação;
- Determinar um tamanho de série temporal representativo ao se dimensionar um sistema de aproveitamento de água pluvial para cada cidade em estudo;
- Determinar quais características das séries temporais curtas que produziram resultados similares aos da série histórica são parecidas com as características da série histórica.

### 1.3. Estrutura do trabalho

Este trabalho é dividido em cinco capítulos, estruturados da seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta a introdução ao assunto estudado. Neste capítulo é apresentado o contexto em que o assunto se insere, justificando a adoção do tema com o cenário global, relacionando a crise hídrica à problemática da pesquisa. São apresentados também o objetivo geral e os objetivos específicos que se pretendem alcançar.

O segundo capítulo traz a revisão de literatura, apresentando o estado da arte acerca do tema. Foram pesquisados trabalhos que abrangem os principais assuntos que envolvem a pesquisa. Este capítulo é dividido em três seções: aproveitamento de água pluvial em edificações; séries temporais de precipitação; e síntese da revisão. A primeira seção traz um enfoque nos estudos atuais acerca do tema em âmbito internacional, os métodos de dimensionamento existentes e o modelo de cálculo do programa computacional utilizado neste trabalho. A segunda seção traz a definição de alguns conceitos importantes sobre séries temporais, bem como trabalhos que estudaram a influência de séries temporais no contexto do estudo, e exemplos de trabalhos que utilizam diferentes tamanhos de séries temporais aplicadas a estudos científicos. Na última seção, é apresentada uma síntese com uma análise crítica à revisão realizada.

Na sequência, o terceiro capítulo apresenta o método proposto, que consiste em determinar o modelo básico a ser simulado; obter e preparar as séries temporais; proceder com as simulações no programa Netuno; organizar, tratar e pré-analisar os resultados das simulações; comparar os resultados das simulações das séries menores com a série histórica; a partir da comparação entre os resultados das simulações obter um tamanho de série temporal representativo; validar o tamanho representativo de série; e analisar qualitativamente as características das séries temporais curtas e séries históricas.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação do método proposto. É subdividido em caracterização das séries temporais; análise geral dos resultados das simulações, análise comparativa quantitativa; análise comparativa dos indicadores de dimensionamento; análise comparativa qualitativa; e discussão de resultados. Além da apresentação, os resultados são explanados, discutidos, e comparados com outros trabalhos relevantes sobre o tema.

O último capítulo traz as conclusões acerca do estudo, pontuando os resultados discutidos com os objetivos. Este capítulo traz também as limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros, a partir das limitações e dos pontos encontrados durante o desenvolvimento da pesquisa.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Aproveitamento de água pluvial em edificações

#### 2.1.1. Estudos sobre aproveitamento de água pluvial em edificações

Alguns trabalhos têm trazido como temática de estudo alternativas para reduzir o consumo ou alterar a fonte de água em edificações. Atualmente, incentivos de selos ambientais e certificações de construções verdes incluem o uso mais eficiente de água como indicador-chave de sustentabilidade, propagando um incentivo ao uso racional de água em edificações (ZHANG *et al.*, 2009).

De forma geral, os estudos existentes na literatura, que têm foco na redução ou otimização do consumo de água em edificações, apontam sempre para o uso de sistema de aproveitamento de água pluvial como alternativa viável, tanto como fomento à sustentabilidade na construção civil quanto na redução de custos durante a operação do edifício. Mais precisamente, a água pluvial é um recurso tradicional, porém ainda subutilizado, o que requer estudos mais específicos na área.

Diante de todo o contexto sobre o consumo de água em edificações, a utilização de água pluvial se mostra uma alternativa lógica, simples e de fácil implantação. Geralmente, utiliza-se um reservatório inferior para armazenar a água coletada e por uma superfície de coleta, e, a partir do reservatório inferior a água pode ser bombeada para um reservatório superior e utilizada para consumo. Dentre os usos mais comuns e principais, a água pluvial é utilizada em descargas de vasos sanitários e regas de jardim, de forma a preservar a água potável tratada advinda de um sistema público. A composição do sistema de aproveitamento de água pluvial integrada a um sistema de abastecimento público de água potável é a forma mais comumente encontrada e aplicada em edificações unifamiliares, multifamiliares e comerciais.

O trabalho de Cook *et al.* (2014) explorou opções para a substituição de água potável advinda da rede pública de abastecimento pelo uso de fontes alternativas de água não potável. A pesquisa foi realizada com base em um estudo de caso

feito pelo acompanhamento operacional de um edifício comercial em Brisbane, Austrália, que realiza a coleta de água pluvial para atender a demanda de água não potável. Os resultados demonstraram que o sistema atinge a confiabilidade no atendimento da demanda pré-determinada. A análise do estudo de caso destacou a necessidade de incluir a validação e monitoramento para garantir que o sistema implantado funcione de acordo com o projeto. A pesquisa também investigou o potencial de outras fontes de água não potáveis para edifícios comerciais. O artigo apresenta uma comparação entre as vantagens e desvantagens do uso de diferentes fontes de água alternativas à rede, e destaca a necessidade de realizar uma investigação específica *in situ* para identificar uma fonte de água alternativa adequada, que considere operação e manutenção e a capacidade de gestão das instalações.

Zhang *et al.* (2009) realizaram uma investigação sobre a viabilidade de utilização de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares, em quatro cidades australianas: Melbourne, Sydney, Perth e Darwin. Foram variados os padrões climáticos e níveis de gestão da demanda de água, de forma a determinar o volume do reservatório, a utilização anual de água do reservatório, a redução do fluxo de água pluvial captada e a demanda e o volume de água extravasado. O alto nível de gestão da demanda de água foi caracterizado como uma ferramenta eficaz para reduzir o abastecimento de água potável, especialmente em combinação com o uso de água pluvial. O estudo estimou também a viabilidade econômica do sistema de aproveitamento de água pluvial para Sydney, resultando em um período de retorno mais curto em comparação a outras cidades, que ficou entre 8,6 e 10,4 anos. Este resultado pode ser devido à precipitação mais elevada e mais constante em Sydney. Os autores apontam como um dos resultados do estudo uma classificação das cidades quanto ao aproveitamento de água pluvial, sendo a cidade mais adequada Sydney, seguida de Perth, Darwin e Melbourne. O objetivo do estudo foi o de preencher a lacuna na estimativa de viabilidade do uso de água pluvial, considerando a realidade das cidades australianas.

O trabalho de Ward *et al.* (2010) analisou o emprego de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações no Reino Unido, comparando o tipo de método para determinação do volume do reservatório, entre modelos de cálculos simples e

simulação computacional. No caso analisado, os sistemas foram projetados para atender entre 36% e 46% da demanda de água utilizada em descargas nos vasos sanitários. Foi realizado um estudo de caso em dois edifícios, um comercial e um residencial. O objetivo do trabalho foi avaliar os sistemas instalados, comparando os diferentes métodos de projeto encontrados na literatura. Foi avaliado também o impacto da utilização de diferentes padrões de medição dos dados de precipitação. Verificou-se que os métodos de projeto baseados em abordagens simples, como equações empíricas, resultam em volumes de reservatórios maiores do que os modelos de simulação. A comparação dos volumes de reservatórios determinados por métodos simplificados e modelos de simulação mostrou que os reservatórios calculados por métodos de projeto simplificados são muito grandes para a área de captação e nível de demanda associada. Os autores ainda demonstram a importância do tamanho da área de captação, um fator negligenciado nos métodos mais simples comumente usados na prática. A partir de uma análise financeira, o estudo revelou que os sistemas de aproveitamento de água pluvial inseridos em grandes edifícios comerciais podem ser mais financeiramente viáveis do que os sistemas regionais de menor dimensão. Por fim, os autores recomendaram que seja feita uma transição do uso de ferramentas simples para modelos de simulação mais robustos para determinação do volume do reservatório.

O estudo de Basinger *et al.* (2010) analisou o grau de confiabilidade com o qual a água pluvial pode ser utilizada para descargas de vasos sanitários, rega de hortas e sistemas de ar-condicionado, em edifícios multifamiliares residenciais, na cidade de Nova Iorque, EUA. O trabalho analisou as variáveis elencadas em diversos edifícios existentes e suas demandas de água. Um procedimento não-paramétrico foi utilizado para gerar modelos de precipitação, empregando uma cadeia de Markov, a partir de uma série de precipitação existente. As ocorrências de precipitação foram simuladas utilizando a probabilidade de transição, para cada dia do ano, a partir de um histórico que registra os dias com e sem precipitação. A quantidade de precipitação é determinada a partir de uma matriz de valores a partir do histórico, com uma amostra de dados de 15 dias. A confiabilidade do sistema de aproveitamento de água pluvial foi determinada para cada área de coleta especificada pelo usuário e volume do reservatório,

utilizando conjuntos de precipitação gerados pelo procedimento descrito. Os resultados do trabalho apresentaram a confiabilidade dos sistemas em atender as demandas dimensionadas, que para rega de jardim e sistemas de ar-condicionado, foi superior a 80% e 90%, respectivamente. Para o atendimento de vasos sanitários, a confiabilidade variou de 7% a 40%. As conclusões finais apontaram que quando as curvas de confiabilidade são utilizadas em conjunto com o dimensionamento dos volumes de reservatórios para edifícios multifamiliares, no Bronx (localidade avaliada no estudo de caso), e considerando uma média anual de precipitação, houve uma redução de 28% no coeficiente de escoamento superficial, e seu fluxo para o sistema de esgotamento sanitário e a demanda de água potável foi reduzido em torno de 53%.

Silva e Ghisi (2016) realizaram uma análise de sensibilidade dos parâmetros de projeto de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações, e uma análise de incerteza sobre a demanda diária de água potável na avaliação da eficiência destes tipos de sistemas. Como método, foram definidas cinco etapas: a definição do modelo de simulação e demonstração do experimento; definição dos dados de precipitação e variáveis independentes do experimento; detalhamento dos parâmetros de demanda diária de água potável; definição das variáveis dependentes; e tratamento estatístico dos resultados. O experimento foi realizado com base em oito cidades brasileiras, utilizando um banco de dados de precipitação com 42 anos, de 1961 a 2003, com registros diários. As variáveis de projeto mais influentes na avaliação do volume ideal do reservatório e do potencial de economia de água potável foram a demanda diária de água potável, a demanda de água da chuva e a área de telhado. A incerteza de se considerar a variação estatística (distribuição não-uniforme) na demanda de água potável foi relativamente baixa no potencial de economia de água potável, mas se mostrou importante no dimensionamento do volume ideal do reservatório. As maiores incertezas registradas variaram de 3,1 a 4,8% no potencial de economia de água potável, e 3,6 a 9,4% no volume ideal do reservatório, entre todas as cidades. Concluiu-se que o uso de valores médios para demanda diária de água potável, apesar de gerar incertezas, é uma alternativa prática e representativa, visto os pequenos valores de incerteza resultantes e a baixa probabilidade de ocorrência.

Embora os sistemas de aproveitamento de água pluvial sejam alternativas eficazes para suprir o abastecimento de água não-potável, a sua eficiência e período de retorno são de importante conhecimento para determinar a relação entre custo e benefícios. Além disso, há a incerteza associada à forte dependência do sistema com a precipitação, a qual é condicionada às características climáticas e temporais.

Uma vez que a precipitação é um processo aleatório e natural, este pode ser caracterizado com distribuições probabilísticas, e relacionado com o projeto de capacidade de armazenamento e com o coeficiente de não atendimento de água, que ocorre quando o abastecimento é menor do que a demanda de água pluvial. O trabalho de Su *et al.* (2009) apresenta um método para estabelecer uma relação probabilística entre a capacidade de armazenamento e o coeficiente de não atendimento de água. Um modelo de simulação foi construído para simular a precipitação de entrada e liberação de água no sistema. Um histórico de precipitação foi utilizado como dado de entrada do sistema e os resultados da simulação foram utilizados na análise probabilística para estabelecer as relações entre capacidade de armazenamento e não atendimento de água. O estudo foi realizado com base na cidade de Taipei. Como resultado, apresenta-se um conjunto de curvas que descrevem as relações contínuas entre a capacidade de armazenamento e coeficiente de não atendimento, sob diferentes distribuições probabilísticas, de acordo com o projeto de referência, demonstrando em uma das curvas do modelo a “curva do fracasso”, de forma que o engenheiro possa decidir frente ao gráfico modelado o volume do reservatório a partir de um coeficiente de não atendimento pré-definido.

O trabalho de Youn *et al.* (2012) também estuda a relação probabilística entre o volume do reservatório e o coeficiente de não atendimento de um sistema de aproveitamento de água pluvial, utilizando uma série histórica de precipitação que considera a sazonalidade dessa variável. Uma vez que o dimensionamento e desempenho de um sistema de aproveitamento de água pluvial é extremamente dependente das distribuições de precipitação, as alterações nos padrões de precipitação percebidas recentemente vêm levantando preocupações no que se refere a este parâmetro. O trabalho analisou o estudo de caso de uma edificação de quatro andares localizada em uma universidade no Canadá. A partir da

adequação da distribuição probabilística e dos modelos de melhor ajuste selecionados, foram obtidos os resultados, que são um conjunto de curvas que relacionam o volume do reservatório com o coeficiente de não atendimento do sistema. O estudo concluiu que o volume determinado pelo método de dimensionamento adotado pode ser reduzido devido ao aumento da precipitação média anual, considerando o impacto das alterações climáticas. Este estudo mostra a dependência que um sistema de aproveitamento de água pluvial possui com relação aos dados de precipitação, e a influência destes dados quando há alterações climáticas.

Fewkes (2012) realizou uma revisão de diversos trabalhos sobre o aproveitamento de água pluvial em edificações no Reino Unido. O foco do artigo foi levantar as informações de histórico de utilização, tecnologias, parâmetros de projeto e aplicações de sistemas de aproveitamento de água pluvial. O objetivo principal foi identificar áreas para prospectar novas pesquisas e desenvolvimento de esforços futuros. Uma análise de artigos de 1978 a 2010 foi realizada, buscando como parâmetros norteadores de pesquisa os benefícios com a implantação, classificação e componentes, capacidade de armazenamento, qualidade da água e fatores que influenciam este tipo de sistema. A análise sobre a capacidade de armazenamento traz os itens que este parâmetro influencia, tais como o volume de água retido, o volume de água extravasado, o tempo de retenção de água no reservatório, a qualidade da água e o custo do sistema. Uma revisão sobre as formas de se dimensionar o volume do reservatório apresenta tipos de métodos de dimensionamento existentes, sendo eles: o simplificado; o intermediário; e o detalhado. Os métodos simplificados e intermediário determinam o volume do reservatório por equações simples e a consideração da precipitação é feita de forma genérica e pouco representativa. O método detalhado utiliza modelos comportamentais, os quais se baseiam em simulações computacionais que estabelecem um balanço de massa por meio de um algoritmo, que considera a operação do sistema e as informações de precipitação. As informações de entrada da simulação podem ser em períodos diários, mensais ou anuais, dependendo da resolução e aplicabilidade da simulação. Por fim, o artigo apresenta um conjunto de conclusões acerca dos assuntos abordados, concluindo que o dimensionamento do volume do reservatório é

de grande importância, pois influencia tanto econômica quanto operacionalmente o sistema de aproveitamento de água pluvial.

Souza e Ghisi (2012) realizaram um estudo que avaliou o potencial de economia de água potável e o dimensionamento de reservatórios para sistemas de aproveitamento de água pluvial em treze cidades localizadas em diferentes países. Para realizar a análise foram variadas a área de captação, o número de pessoas residentes, a demanda de água potável e o percentual de substituição de água potável. As séries de precipitação utilizadas foram obtidas junto a GHCN (*Global Historical Climatology Network*), que é o órgão que classifica e armazena dados climáticos em base diária de diversas localidades do planeta. Foram utilizadas séries de 30 anos de precipitação para todas as localidades em estudo, porém com períodos de observação diferentes. Como resultados, o estudo apontou que os maiores potenciais de economia de água potável e reservatórios mais econômicos foram encontrados em localidades em que a precipitação é mais uniforme e constante, e não necessariamente com uma maior média anual de precipitação. Além disso, localidades com períodos de estiagem e alta precipitação bem definidos requereram uma capacidade de armazenamento maior.

Quanto à viabilidade econômica, Ghisi e Schondermark (2013) realizaram um estudo sobre a análise de viabilidade de investimento em sistema de aproveitamento de água pluvial para o setor residencial no Estado de Santa Catarina, sul do Brasil. Foram selecionadas cinco cidades como amostra, das quais foram extraídos dados diários de precipitação, do consumo médio de água, dos custos do reservatório de água pluvial, dos custos da motobomba e das tarifas de água, esgoto e eletricidade. Foram considerados valores variáveis para a área de telhado, número de pessoas residentes, demanda de água potável e demanda de água pluvial. Os volumes dos reservatórios foram estimados utilizando o programa de simulação computacional Netuno. A viabilidade do investimento foi calculada considerando o volume ideal do reservatório, bem como volumes maior e menor do que o ideal, obtidos de acordo com variações periódicas do período de retorno de seis meses. Os resultados do estudo apontam que, para demandas altas de água pluvial, o critério de volume ideal do reservatório pode resultar em valores menores. Em tais casos, uma análise de viabilidade de investimento deve ser realizada de modo a obter um volume de reservatório mais apropriado. A

principal conclusão é que o uso da água pluvial é economicamente viável para a maioria dos casos, e quanto maior a oferta de água pluvial, maior a viabilidade.

Para a implantação e bom desempenho de um sistema de aproveitamento de água pluvial, é necessário um dimensionamento adequado do reservatório. A seção 2.1.2 apresenta uma revisão dos métodos de dimensionamento.

### 2.1.2. Métodos de dimensionamento

Na literatura encontram-se diversos métodos de dimensionamento de reservatórios para sistemas de aproveitamento de água pluvial. Segundo McMahon e Mein (1978), os métodos de dimensionamento podem ser classificados em três categorias: método de Moran, período crítico e modelos comportamentais.

O Método de Moran é derivado de uma equação integral que relaciona os dados de entrada com o volume do reservatório, considerando o tempo, o volume de precipitação, a demanda de água e outras variáveis.

Os modelos baseados no método crítico, como o método de Rippl, utilizam sequências de fluxo de precipitação, sobre condição de demanda excedendo o fornecimento, para determinar o volume do reservatório, por meio de uma equação de balanço de massa.

Os modelos denominados comportamentais são aqueles que simulam a operação do reservatório de água pluvial no decorrer de uso, em função do tempo, considerando-se condições de operação e as variáveis de entrada e saída de água, a partir de um algoritmo que determina o funcionamento do sistema (MCMAHON; MEIN, 1978).

De acordo com Imteaz *et al.* (2011), os métodos de dimensionamento de reservatório baseados em médias anuais de precipitação, resultam em volumes que não representam a realidade, especialmente em reservatórios que demandem grandes volumes de armazenamento. Os dados em base diária representam melhor a caracterização climática, uma vez que contemplam os conceitos de sazonalidade, variabilidade interanual, período de seca, média e precipitação intensa. Estas

variações são suprimidas quando uma série de dados é transformada em uma média.

Nascimento e Moruzzi (1983) revisaram alguns dos métodos de dimensionamento preconizados pela NBR 15.527 (2007). Rocha (2009) também realizou uma breve revisão dos métodos encontrados na literatura específica. O método considerado mais adequado segundo os trabalhos citados é o método de Simulação Computacional.

A análise de simulação é um método baseado em modelos comportamentais, geralmente operado por programas computacionais. Este método leva em consideração um volume inicial pré-estabelecido e analisa a variação do volume disponível no reservatório a partir de um balanço de massa entre o volume de captação – precipitação – e o volume de demanda – consumo (ROCHA, 2009). A partir deste método é possível realizar avaliações mais específicas, como o número de dias em que o reservatório permanece vazio, o volume de água extravasado, o potencial de economia de água potável, o período de retorno financeiro, entre outros. Existem alguns programas que aplicam este método para dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial, e um programa muito utilizado é o programa Netuno.

Rupp, Munraim e Ghisi (2011) avaliaram os diferentes tipos de métodos de dimensionamento previsto pela NBR 15.527 (2007), comparando-os com o método do programa computacional Netuno. Dentre os resultados obtidos, pode-se compreender que alguns dos métodos analisados não são adequados para determinados comportamentos de precipitação, uma vez que resultam sempre em valores constantes de volume de reservatório, não importando os valores de demanda. Esta condição pode levar ao dimensionamento de reservatórios superdimensionados e subdimensionados. Em alguns casos, quando a demanda de água pluvial não supera o volume captado, não foi possível se proceder com o dimensionamento. Como critério de análise foram comparados os potenciais de economia de água potável resultantes dos volumes de reservatório, dimensionado a partir de cada método. Em comparação com os resultados obtidos pelo Netuno, os métodos de Rippl, Azevedo Neto e de simulação apresentam volumes de reservatórios superdimensionados, porém, com menor potencial de economia de água potável. O método prático Inglês, resulta em volumes de

reservatórios superdimensionados para regimes de precipitação alta e subdimensionados em regimes de precipitação baixa. O método prático Alemão apresenta volumes de reservatório subdimensionados em regimes de precipitação baixa. Como conclusão principal, o artigo trouxe que o apenas o método de simulação proposto pelo Netuno relaciona o potencial de economia de água potável e volume do reservatório, sendo o único a ajustar a relação de demanda de água pluvial e regime de precipitação, por levar em consideração um modelo comportamental no cálculo.

A simulação baseada em modelo comportamental é um balanço entre disponibilidade hídrica e demanda de água pluvial, considerando o volume de água pluvial remanescente no dia anterior. A simulação é realizada para cada dia do banco de dados de precipitação e pode prever qual o volume de água captado, consumido e extravasado, entre outras informações. É possível determinar o potencial de economia de água potável por meio da substituição da água potável por água pluvial, ou seja, a relação entre o volume total de água pluvial consumido e o volume de água potável requerido. Este potencial é determinado para o período considerado e é dado em percentual do consumo de água potável. Como a resolução do dado pluviométrico e de consumo é por dia, deve-se considerar pontualmente as ações de chuva e de consumo, ou seja, não se considera consumo e captação ao mesmo tempo. Jenkins *et al.* (1978) apresentaram duas considerações de cálculo de simulações considerando modelo comportamentais: YAS (*yield after spillage*) e YBS (*yield before spillage*). O YAS considera que o consumo é realizado após a coleta e armazenamento da água pluvial, e o YBS considera que o consumo é realizado antes da coleta e armazenamento da água pluvial. Ghisi e Cordova (2011) apresentaram uma comparação entre os métodos de simulações baseados em modelos comportamentais YAS, YBS e o método considerado pelo Netuno. Foram simulados três casos: pequena, média e alta demanda de água pluvial; e três regimes de precipitação diferentes: Florianópolis, Santana do Ipanema e Santos. A partir de cada simulação, foram determinados os volumes ideais de reservatório por meio de um critério de diferença entre potenciais de economia de água potável. Como conclusões, o método YAS estimou o menor potencial de economia em todos os casos analisados, em segundo o Netuno e em terceiro o YBS. A maior diferença dos

resultados do Netuno e do método YAS foi de 1,65%, e do Netuno e do método YBS foi de 1,35%. Além disso, a diferença entre os três métodos aumenta com o aumento da demanda de água pluvial. Contudo, na prática, o estudo aponta que os três métodos foram equivalentes.

### 2.1.3. Programa Netuno

O programa computacional Netuno foi desenvolvido para estimar o potencial de economia de água potável e o volume do reservatório, em sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações, baseado em modelos comportamentais (GHISI; CORDOVA, 2014a).

Os dados de entrada necessários para utilização do algoritmo são: os dados de precipitação para um período representativo (preferencialmente uma série histórica); o volume de descarte inicial de primeiras chuvas; área de captação; o número de habitantes da residência; a demanda diária de água per capita; o percentual de água potável a ser substituído por água pluvial; o coeficiente de escoamento superficial e; as informações sobre o dimensionamento do volume dos reservatórios superior e inferior.

O programa realiza as simulações em base diária, fazendo os cálculos do balanço de massa por dia, conforme o registro do banco de dados pluviométricos. Na simulação é descontada a perda por evaporação, por meio do coeficiente de aproveitamento do sistema, e o descarte do escoamento inicial. O volume de água remanescente, então, é conduzido ao reservatório. Como o volume inicial do reservatório é definido, realiza-se a análise entre consumo e demanda. Caso a demanda de água pluvial seja menor que o volume de captação, a demanda é atendida em sua totalidade, e o excedente de água é extravasado. Caso a demanda seja maior que o volume coletado, a demanda é atendida parcialmente e a água potável fornecida pela concessionária complementa o atendimento (GHISI; CORDOVA, 2014a).

A simulação determina uma relação entre potencial de economia de água potável e volume do reservatório, de acordo com o intervalo de volumes do reservatório inserido nos dados de entrada da simulação. Para este cálculo, o algoritmo do programa Netuno parte do primeiro dia de simulação com o reservatório

vazio e, dia a dia, simula a saída de água por meio do consumo *per capita* e a entrada de água por meio da captação da água pluvial, quando há precipitação, considerando o volume remanescente dos dias anteriores e o percentual de substituição de água potável por água pluvial. O volume de água pluvial que escoar pela superfície de captação é determinado por meio da Equação 1.

$$V_E = P^i * A_c * C \quad (1)$$

Onde:

$V_E$  é o volume que escoar pela área de coleta ( $m^3$ );

$P^i$  é o volume de precipitação no dia “i” simulado (mm);

$A_c$  é a área de coleta ( $m^2$ );

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial.

A partir do volume de água pluvial escoado pela superfície, determina-se o volume disponível no reservatório, no início do dia, ou seja, antes do consumo diário ser descontado, por meio da Equação 2.

$$V_R^i = \min \left\{ \begin{array}{l} V_R \\ V_R^{i-1} + V_E \end{array} \right. \quad (2)$$

Onde:

$V_R^i$  é o volume do reservatório no início do dia “i” ( $m^3$ );

$V_R$  é o volume do reservatório ( $m^3$ );

$V_R^{i-1}$  é o volume do reservatório no dia anterior a “i” ( $m^3$ );

$V_E$  é o volume que escoar pela área de coleta, determinado pela Equação 1 ( $m^3$ ).

O volume de água pluvial consumido em um dia, determinado pela Equação 3, é o valor a ser descontado do volume disponível no reservatório.

$$V_C^i = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{PC} * Pop \\ V_R^i \end{array} \right. \quad (3)$$

Onde:

$V_C^i$  é o volume consumido no dia “i” da simulação ( $m^3$ );

$C_{PC}$  é o consumo per capita, (l/hab.dia);

$Pop$  é a população na residência, dada pelo número de pessoas, (hab.);

$V_R^i$  é o volume do reservatório no início dia "i" ( $m^3$ ).

Então, dada uma situação em que há dois reservatórios (inferior e superior), o volume do reservatório inferior, que é o volume do reservatório de água pluvial, no dia "i", é determinado pela Equação 4.

$$V_F^i = \min \left\{ \begin{array}{l} V_R - V_C \\ V_R^i + V_C \end{array} \right. \quad (4)$$

Onde:

$V_F^i$  é o volume do reservatório ao final do dia "i" ( $m^3$ );

$V_R$  é o volume do reservatório ( $m^3$ );

$V_R^i$  é o volume do reservatório no início dia "i" ( $m^3$ );

$V_C^i$  é o volume consumido no dia "i" da simulação, determinado pela Equação 3 ( $m^3$ ).

Além disso, com os dados de entrada de demanda total de água e o percentual de substituição de água potável desejado, determina-se o potencial de economia de água potável por meio da substituição por água pluvial por meio da Equação 5.

$$E_{potencial} = 100 * \sum_{i=1}^N \frac{V_C}{D_{total}} \quad (5)$$

Onde:

$E_{potencial}$  é o potencial de economia de água potável (%);

$V_C$  é o volume de água potável, consumido em um dia (l);

$D_{total}$  é a demanda total de água no dia (l).

A partir do potencial de economia de água potável, é calculado, com a Equação 6, o percentual de utilização da água potável, pela razão entre o potencial de economia e o percentual de substituição definido inicialmente.

$$P_{pluvial} = \frac{E_{potencial}}{P_{subs}} \quad (6)$$

Onde:

$P_{pluvial}$  é o percentual de utilização de água pluvial (%);

$E_{potencial}$  é o potencial de economia de água potável (%);

$P_{subs}$  é o percentual de substituição de água potável por pluvial (%).

Este cálculo é feito para cada volume de reservatório, conforme intervalo definido nos dados de entrada da simulação. Ressalta-se que o volume do reservatório é uma variável discreta, ou seja, comporta-se em unidades distintas a partir de um intervalo de variação pré-determinado.

Além disso, é possível definir um critério para determinar o volume ideal do reservatório e o seu potencial de economia correspondente. O critério utilizado é a diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial, em porcentagens por metro cúbico, em razão do volume do reservatório.

## 2.2. Séries temporais de precipitação em simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial

Séries temporais de precipitação são observações contínuas de volumes de precipitação, em uma determinada localidade de referência. O SI (Sistema Internacional de unidades) denomina o termo de medida de precipitação como sendo pluviosidade, com sua unidade expressa em milímetros. Uma pluviosidade de um milímetro é equivalente ao acúmulo de um litro de precipitação em uma superfície de um metro quadrado (BRASIL, 2004).

Dentre as observações e estudos acerca de séries temporais de precipitação, encontram-se na literatura diversas pesquisas, com diferentes enfoques, dentre eles: meteorológico, drenagem urbana, previsão de alagamentos, entre outros. Porém, poucas pesquisas relacionam séries de precipitação com a construção civil e a coleta da água pluvial para uso em edificações. Nota-se, no entanto, que as pesquisas que tratam de séries temporais de precipitação recentemente vêm abordando as mudanças climáticas que afetam diretamente as características de precipitações e modificam os padrões e comportamentos deste

fenômeno. Além disso, em estudos que utilizam séries temporais de precipitação, tende-se a utilizar um grande banco de dados, de forma a expressar a sazonalidade dos eventos de precipitação. Esta sazonalidade pode ser observada em diferentes intervalos, seja em meses, estações do ano, anos ou períodos ainda maiores, sendo dependente de diversos fatores ambientais e de difícil predição a longo prazo.

A OMM (1989) e o INMET (1990) consideram um período representativo de dados como sendo, no mínimo, de 30 anos. Assim, um banco de dados com, no mínimo, 30 anos de registros de eventos de precipitação é denominado série histórica de precipitação.

Esta definição surgiu na tentativa de simplificar os dados climáticos, sintetizando as séries históricas em valores médios normais padronizados de forma a serem considerados úteis e representativos, uma vez que a predição da sazonalidade de uma variável climática é um estudo complexo e moroso (INMET, 1990).

Em 1872 realizou-se uma compilação dos valores médios climatológicos, denominados Normais Climatológicas Padronizadas (INMET, 1990). As Normais Climatológicas Padronizadas são definidas como a média dos valores de uma determinada variável climática, calculados a partir de um longo e uniforme período de medição, compreendido de, no mínimo, três décadas consecutivas. Caso não seja possível determinar a Normal Climatológica Padronizada, seja por um problema de operação da estação ou coleta de dados, é possível utilizar uma Normal Climatológica Provisória, baseada em um curto período de observações com, no mínimo, 10 anos de coleta de dados (OMM, 1989).

A OMM (1989) recomendou, por meio de uma nota técnica, em 1956, a atualização das Normais Climatológicas a cada 10 anos, quando se acumulam mais dados. Este processo vem sendo realizado por diversos países. No entanto, apenas em 1989 foram estabelecidos métodos estatísticos para o cálculo das Normais Climatológicas Padronizadas, de forma que se possa preencher as lacunas de dados e tratar os dados errados ou incompletos. Os métodos para o cálculo das Normais Climatológicas Padronizadas, bem como das Normais Climatológicas Provisórias, são encontrados no documento oficial da Organização Mundial de Meteorologia WMO-TD 341, do volume 10 do WCDP. No Brasil, o primeiro período em que foram determinadas as normais

climatológicas foi 1901-1930, seguindo os períodos sucessivos, em intervalos de 30 anos, 1931-1960, e, o mais atual, 1961-1990.

Porém, a coleta contínua de dados de precipitação também é uma questão a ser considerada, principalmente no Brasil. A falta de estações de medição pluviométrica e constantes problemas de continuidade de medição afetam a formação do banco de dados. A Agência Nacional de Águas (ANA) regulamenta, cataloga e disponibiliza os dados das estações meteorológicas do país. Segundo o inventário da agência, são 19.874 estações pluviométricas espalhadas pelo território nacional. Desse número, apenas 6.527 estações possuem uma série de registros de precipitação em base diária com mais de 30 anos, o que representa cerca de 33% do total de estações (ANA, 2016). Ou seja, a maior parte das localidades que possuem medição de pluviometria não possui uma série temporal de precipitação considerada adequada para o dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial. A média do período de registro é de aproximadamente 13 anos. Além disso, muitas estações saem de operação, enquanto outras são instaladas recentemente. Essa dinâmica prejudica a continuidade de medição e, conseqüentemente, a composição de uma série histórica, de acordo com o conceito da OMM.

Alguns trabalhos tratam especificamente da influência do uso de diferentes tamanhos de séries temporais no dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações.

Ghisi *et al.* (2012) analisaram a influência do tamanho da série histórica em simulações no programa computacional Netuno, para dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais, para a localidade de Santa Bárbara do Oeste, em São Paulo. O objetivo principal foi investigar a possibilidade de utilizar séries temporais curtas no lugar de séries históricas, para avaliar o potencial de economia de água potável e a determinação do volume ideal do reservatório, em sistemas de aproveitamento de água pluvial em residências. Utilizaram-se subdivisões da série histórica de 30 anos em intervalos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20 e 30 anos, variando também o percentual de substituição de água potável, de 10 a 100%, em intervalos de 10%. Outros parâmetros também foram variados, como área de captação e demanda de água per capita, resultando em quatro casos. Como ferramenta de análise, realizou-se a

comparação entre os resultados obtidos com os diferentes tamanhos de séries temporais, incluindo os resultados simulados com a série histórica. Como resultados, foi possível observar a viabilidade de utilizar séries de 13 anos ou mais para obter resultados semelhantes ao uso de séries históricas usuais, dependendo de outros fatores também variados, como área do telhado ou percentual de substituição de água potável. Porém, os resultados desse estudo aplicam-se apenas à cidade avaliada e para os casos em estudo.

Mitchel (2007) avaliou a importância da precisão das variáveis de dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações, a partir de métodos comportamentais. As variáveis que foram foco de análise foram a escala de tempo de simulação, o nível inicial do reservatório e o tamanho do período de simulação. Como modelos comportamentais baseiam-se em simulações contínuas que realizam um balanço de massa do reservatório, as simulações foram realizadas para cada intervalo de tempo do banco de dados pluviométrico, ou seja, o tamanho do período de simulação foi determinado pelo tamanho da série temporal de precipitação disponível. Neste trabalho, foi analisada a diferença de utilização de séries temporais de 1, 10 e 50 anos para o dimensionamento de reservatórios, além das demais análises. Como fonte de dados, utilizaram-se informações de Melbourne, Sydney e Brisbane, na Austrália. As séries de 10 anos e 1 ano foram derivadas da série de 50 anos e determinadas a partir de períodos que possuísem uma média e desvio padrão próximos, justificando uma representação estatística semelhante. Outras variáveis foram analisadas, como a escala de tempo e a condição inicial do reservatório. A escala de tempo refere-se à resolução temporal que a simulação adota, sendo analisada em quatro dimensões: 24 horas (precipitação diária); 3 horas; 30 minutos; e 6 minutos. O nível inicial do reservatório é uma informação binária, que define a condição do reservatório inicialmente vazio ou cheio. Foi definido um caso base que serviu como referência de comparação para os parâmetros de análise que foram variados. O caso base foi simulado com um intervalo de 50 anos de dados de precipitação, escala de tempo de 6 minutos e a condição de reservatório inicialmente vazio, compondo o cenário mais preciso possível dentro das possibilidades do estudo. A análise foi realizada pela comparação do desempenho do sistema entre os casos avaliados e o caso base, de forma que se

possa investigar a sensibilidade ao utilizar séries de menor duração no dimensionamento de reservatórios. Os resultados apontam que o uso de séries de 10 anos reduz em torno de 0 a 3% a precisão do dimensionamento do sistema, comparado com o caso base. A análise de sensibilidade demonstrou que os resultados das simulações com séries de 50 anos e das simulações com séries de 10 anos possuem o mesmo grau de precisão e podem ser considerados semelhantes, para escala de tempo de 24 horas. Porém, o uso de séries de 1 ano resultou em variações significativamente diferentes do caso base, isto é, séries de 1 ano não foram consideradas representativas e recomenda-se um banco de dados climáticos com mais registros e, conseqüentemente, um maior período de simulação. Concluiu-se que o uso de séries de 10 anos pode ser considerado representativo, caso a série possua os mesmos padrões estatísticos que uma série histórica, como a média e o desvio padrão semelhantes, porém, séries menores que 10 anos não são recomendadas por produzirem resultados discrepantes.

No entanto, encontra-se na literatura diferentes tamanhos de banco de dados de precipitação, utilizados para dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações.

O uso de séries longas é frequentemente encontrado. Nos trabalhos já citados em seções anteriores, Zhang *et al.* (2009) utilizaram séries de dados de 80 anos, enquanto o trabalho de Silva e Ghisi (2016) utilizaram 42 anos. Souza e Ghisi (2012) utilizaram 30 anos, Basinger *et al.* (2010) utilizaram o intervalo de 1978 a 2002 (24 anos), e Su *et al.* (2009) utilizaram o intervalo de 1953 a 2002 (49 anos). Para a cidade de São Paulo, Ghisi (2010) considerou como séries históricas séries com dados entre 58 e 64 anos. Ward *et al.* (2010) utilizaram séries de 25 anos para comparar diferentes métodos de dimensionamento de reservatórios.

Liaw e Chiang (2014) realizaram uma análise adimensional para projetar um sistema de aproveitamento de água pluvial, aplicando uma regionalização no caso de dados de precipitação incompletos, variáveis ou faltantes. A motivação deste estudo foi a dificuldade de disponibilidade de dados pluviométricos. Este método levou em consideração a demanda de água, o volume do reservatório, a área de captação e o histórico de precipitação registrados, reconhecendo-se que a disponibilidade de séries

maiores que 30 anos é necessária para caracterizar as particularidades climáticas de cada região. Neste estudo do Norte de Taiwan, o autor fez uma sub regionalização devido aos efeitos climáticos como massa de ar fria vinda da Sibéria. Realiza-se um estudo de caso aplicando a metodologia proposta para uma região no Norte de Taiwan, sendo utilizado um histórico pluviométrico de 50 anos de regiões próximas para caracterizar a localidade em estudo.

Porém, séries mais curtas também são encontradas. Ghisi e Ferreira (2007) utilizaram um período de 2001 a 2003 como dados de precipitação, para realizar simulações de sistemas de aproveitamento de água pluvial para a cidade de Florianópolis. A finalidade deste estudo foi avaliar o potencial de economia de água ao utilizar sistemas alternativos de água para suprir a demanda não potável de uma edificação residencial. Os sistemas alternativos avaliados foram o aproveitamento de água pluvial, o reuso de água cinza e uma composição dos dois sistemas juntos. Realizou-se também uma avaliação econômica e do custo efetivo, comparando os sistemas. Os resultados apontaram que o potencial de economia de água pode chegar a 17,7% quando utilizada apenas água pluvial como fonte alternativa, e até 34,8%, caso se utilize apenas reuso de água cinza. O sistema composto das duas alternativas pode chegar a 42,0% de potencial de economia. A principal conclusão foi que o período de retorno determinado foi menor que 8 anos para todas as alternativas.

Silva *et al.* (2015) avaliaram as questões técnicas e econômicas mais importantes inerentes ao projeto de sistemas de aproveitamento de água pluvial para uso doméstico, analisando a viabilidade técnica e econômica. As principais variáveis analisadas foram a precipitação e o uso final de água. Para realizar a avaliação, foram simulados dois cenários, um em Porto e outro em Almada, ambos em Portugal. Como parâmetro de análise, foi realizado o dimensionamento dos sistemas de aproveitamento de água pluvial e a determinação do período de retorno financeiro, com base nas tarifas da água e custo de implantação dos sistemas. O dimensionamento dos sistemas foi feito a partir do balanço diário entre a disponibilidade hídrica (precipitação, área de coleta e perdas de água por limpeza ou evaporação) e as demandas de consumo. Foram utilizadas séries de 10 anos de registros (2001 a 2010), em base diária, como dados de precipitação, para as duas localidades em estudo. Segundo os

autores, o IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) realizou um estudo que analisou os padrões de precipitação entre 1932 e 2011 (79 anos), e apontou que as médias de precipitação para o período entre 2001 e 2010 não são estatisticamente diferentes do intervalo histórico analisado, para as regiões em estudo. Por isso, foi utilizado o período entre 2001 e 2010 para simulação e dimensionamento dos sistemas. Os resultados apresentam o potencial de economia de água e o período de retorno estimados, relacionados com o volume do reservatório simulado. Concluiu-se que, apesar da diferença entre as médias anuais de precipitação, o dimensionamento do volume do reservatório foi semelhante para as duas cidades, resultando em um período de retorno próximo do ponto de vista da variável climática. Atribuiu-se este resultado ao padrão da distribuição de precipitação ser semelhante, composto por períodos bem definidos de seca e precipitação intensa. Além disso, foi realizada uma análise de sensibilidade que demonstrou que a tarifa de água tem maior influência sobre a viabilidade econômica do sistema, quando comparada com as mudanças no padrão de consumo.

Santos e Pinto (2013) propuseram seis diferentes critérios de dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial, utilizando métodos diferentes. O objetivo principal do trabalho foi avaliar o melhor critério dentre os propostos. Dois estudos de caso foram realizados, o primeiro em uma habitação residencial e o segundo em edifício público. As análises foram realizadas com foco no desempenho do sistema e na viabilidade econômica. Os critérios propostos foram: (a) método simplificado baseado no volume mínimo de seca e valor médio anual de precipitação; (b) método simplificado baseado em demanda anual não potável e valor médio anual de precipitação; (c) método 100% de eficiência, baseado em simulações diárias; (d) método 80% de eficiência, baseado em simulações diárias; (e) método de Rippl; e (f) método de “uso máximo da água pluvial”. Os métodos (a) e (b) são modelos simplificados e baseados em um valor médio anual de precipitação. Os métodos (c), (d), (e) e (f) são modelos comportamentais, baseados em simulações com base diária e considera o volume diário de precipitação a partir do histórico de registros. O estudo recomenda que as simulações sejam realizadas com base diária, e considerem uma série temporal de precipitação de registro contínuo e com duração de 3 a 10 anos, no mínimo. Porém, no trabalho em questão foram utilizados

intervalos de 10 anos, 1997 a 2007, como fonte de dados para o estudo de caso da habitação residencial (cidade de Oporto, Portugal), e 5 anos, 2005 a 2009, como fonte para o estudo de caso do edifício público (na ilha de São Miguel, pertencente ao arquipélago dos Açores, Portugal). Os dados foram utilizados conforme a disponibilidade encontrada pelos autores. Como resultados, foi apresentada uma análise de cada critério proposto, classificando os métodos em função do volume do reservatório e período de retorno. Concluiu-se que os métodos que utilizam modelos comportamentais são mais coerentes, pois consideram a variabilidade da série de precipitação ao longo do tempo e períodos de seca e que este fator implica em volumes de reservatórios mais otimizados.

Mrowiec (2008), em seu estudo do potencial de uso de água pluvial e reuso de água na Polônia, utilizou dados de precipitação de apenas dois anos, de 2006 a 2007, justificando que a distribuição de precipitação na região da Polônia segue um padrão pouco variável, considerando os valores médios anuais e as diferenças entre estações do ano.

Coombes e Barry (2007) avaliaram a influência do uso de diferentes intervalos de tempo no dimensionamento de sistemas de água pluvial. Para esta análise, foi realizado o dimensionamento por meio de simulação computacional em duas diferentes escalas de tempo, em base diária e uma escala mais curta, de 6 minutos. As simulações foram feitas a partir do balanço entre disponibilidade hídrica e a demanda de água. Também foi comparada a utilização de valores médios para cálculo da demanda de água, com a utilização de valores de demanda dependentes do clima. As simulações foram realizadas para as cidades australianas de Adelaide, Brisbane, Cairns, Darwin, Hobart, Melbourne, Perth e Sydney, com os bancos de dados de precipitação de, respectivamente, 74, 83, 57, 46, 40, 76, 55 e 86 anos. Foram comparados os resultados entre dimensionamentos utilizando as duas diferentes escalas de tempo. Como resultados, os autores apontaram que o uso de dados diários no dimensionamento de reservatórios pode produzir resultados subestimados para volumes menores, comparado com o uso de dados mais precisos, de 6 minutos. Concluiu-se que o dimensionamento e o desempenho de sistemas de aproveitamento de água pluvial são intimamente dependentes de

variáveis pouco detalhadas, como a demanda de água e a escala de tempo de dimensionamento.

Outros tipos de estudos analisaram aspectos diferenciados de pluviometria. Ben-Zvi (2009) analisou a relação entre intensidade, duração e frequência de séries temporais curtas de precipitação, derivadas de séries temporais mais longas. Neste estudo é demonstrado que a distribuição estatística característica das séries curtas é a de Pareto, com bons ajustes de acordo com o teste de Anderson-Darling. A distribuição é selecionada pelo melhor ajuste para prever as intensidades associadas com a duração, dado um número de intervalos de recorrência. No trabalho de Dotto *et al.* (2008) foram utilizadas séries de dados menores para determinar o modelo estatístico característico de precipitação anual. Nesse caso, utilizaram-se séries de 2003 a 2006 para analisar a incerteza na previsão do fluxo e qualidade de água pluvial, na cidade de Victoria, Austrália.

Formas alternativas de utilização de dados climáticas para simulação envolvendo precipitação foram estudados. Oliveira *et al.* (2005) elaboraram um modelo de geração de séries sintéticas de precipitação, produzindo também um programa computacional (ClimaBR) para esta finalidade. O modelo utiliza como base uma série temporal existente e se baseia no modelo da cadeia de Markov para determinar probabilidades de ocorrências para gerar uma série futura. As probabilidades obtidas são: os valores mensais da probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido o anterior também chuvoso; a probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido o dia anterior seco; o número de dias chuvosos; e a intensidade de precipitação total diária. As séries sintéticas foram testadas e comparadas com as séries observadas, mostrando um bom desempenho do gerador de séries sintéticas. O modelo utilizou dados de 11 estações pluviométricas no Rio de Janeiro, com séries temporais de 20 a 80 anos.

O trabalho de Zanetti *et al.* (2006) validou o modelo desenvolvido por Oliveira *et al.* (2005), para o ClimaBR, por meio da aplicação o modelo para outras doze localidades, com diferentes realidades climáticas, de forma distribuída no Brasil. Foram utilizadas séries de 19 a 43 anos como base para gerar séries sintéticas de 100 anos, comparando-se os indicadores estatísticos de aderência, como regressão linear simples, o teste “t” para validação de hipóteses e calculados o erro-padrão de estimativa (EPE) e o índice de concordância (d), de forma a

verificar o grau de concordância entre os valores observados e os valores estimados. O estudo concluiu que o modelo do ClimaBR possui bom desempenho na geração de séries sintéticas para as localidades testadas.

### 2.3. Síntese da revisão de literatura

A crescente demanda por água potável é uma preocupação mundial. O uso racional de água, em todas as instâncias da sociedade, tem sido enfoque em diversos debates e estudos sobre recursos hídricos (SHIKLOMANOV, 1998).

No setor residencial, a maior parcela do consumo pode ser reduzida pela substituição do uso de água potável por fontes alternativas em finalidades que não demandam necessariamente água potável. Uma das medidas mais estudadas é o aproveitamento da água pluvial, que não utiliza rede de distribuição, é gratuita e ainda pode ser tratada para tornar seu uso potável.

Trabalhos que avaliam o aproveitamento de água pluvial em edificações comprovam que esta é uma medida eficiente para reduzir a demanda de água potável, contribuindo para a minimização de problemas relacionados à disponibilidade dos recursos hídricos. Trabalhos como o de Ghisi e Schondermark (2013), Ward *et al.* (2010), e Zhang *et al.* (2009) demonstram casos sobre a viabilidade econômica do sistema. Entretanto, a viabilidade é intimamente dependente do dimensionamento do reservatório deste tipo de sistema. Existem diversos métodos de dimensionamento de reservatórios de um sistema de aproveitamento de água pluvial. A partir dos modelos classificados por McMahon e Mein (1978), verifica-se que existem métodos empíricos, estatísticos e modelos comportamentais. Métodos empíricos, na maioria das vezes, são inadequados porque generalizam uma série de grandezas de elevada variabilidade, como a precipitação pluviométrica e as demandas de água potável e pluvial. Trabalhos realizados em diversas localidades, como no Reino Unido (WARD *et al.*, 2010), na Austrália (ZHANG *et al.*, 2009; COOK *et al.*, 2014) e no Brasil (GHISI *et al.*, 2007) demonstram que a melhor prática a ser considerada é a adoção de modelos comportamentais, por meio de simulação computacional. O programa computacional Netuno vem sendo

utilizado em análises de simulações de diversos tipos, como demonstram os estudos de Ghisi *et al.* (2013), Ghisi *et al.* (2012), Ghisi *et al.* (2010), Rocha (2009), Ghisi *et al.* (2007) e Souza e Ghisi (2012).

A principal informação para dimensionamento e simulação de um sistema de aproveitamento de água pluvial é o banco de dados sobre a pluviometria da localidade, o qual influencia diretamente no período de retorno do investimento e operação do sistema (FEWKES, 2012).

No que se refere a estudos sobre séries temporais de precipitação voltadas ao dimensionamento de um sistema de aproveitamento de água pluvial, encontram-se na literatura trabalhos com diferentes enfoques e utilizando variadas formas de bancos de dados, evidenciando que não existe um padrão ou uma regra a ser adotada.

No âmbito mundial, a OMM (1989) define uma série histórica como sendo um banco de dados com registros contínuos de um período mínimo de 30 anos. Porém, observa-se na literatura que o tipo de série de dados adotada depende do método de simulação utilizado e da disponibilidade encontrada pelos pesquisadores, o que é muito variável de acordo com a localidade.

Alguns trabalhos trouxeram a discussão da influência do tamanho da série temporal em dimensionamentos de sistemas de aproveitamento de água pluvial. Ghisi *et al.* (2012) analisaram esta influência para a cidade de Santa Bárbara do Oeste, São Paulo, chegando à conclusão que séries de 13 anos ou mais podem representar séries históricas. Mitchel (2007) também realizou esta análise, avaliando a sensibilidade de resultados de simulações com séries de 50, 10 e 1 ano de duração, concluindo que séries de 50 e 10 anos resultam em valores semelhantes e representativos, e séries de um ano resultam em valores discrepantes.

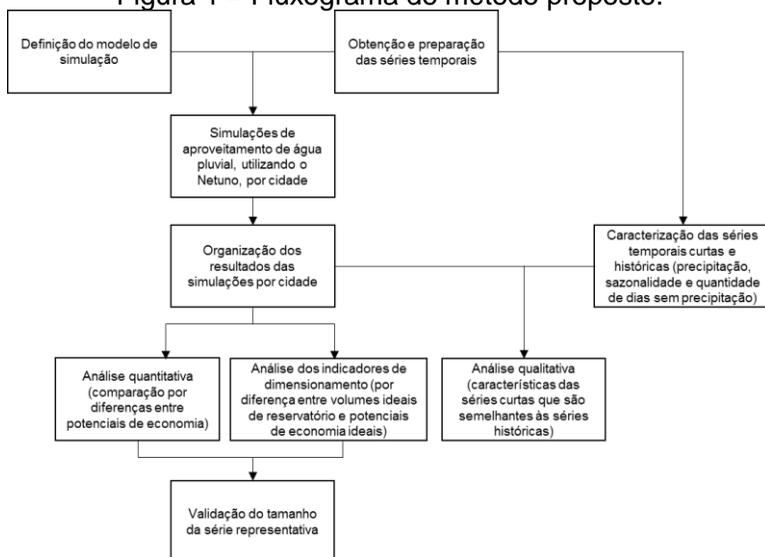
No entanto, apesar destes trabalhos, é possível perceber que existem poucos trabalhos na literatura que estudam a representatividade do tamanho da série temporal. Então, a partir da revisão de literatura, motivou-se o estudo da influência do tamanho da série temporal em resultados de simulações de sistemas aproveitamento de água pluvial em edificações.

### 3. MÉTODO

#### 3.1. Estrutura do método

O método proposto é fundamentado em trabalhos da literatura que realizaram análises com objetivos semelhantes, como o de Ghisi *et al.* (2012). O método baseia-se nos seguintes passos: determinação do modelo de simulação; obtenção e preparação de séries temporais; caracterização das séries temporais; simulações com séries curtas e séries históricas; organização dos resultados das simulações; análise comparativa quantitativa entre os resultados das simulações geradas com séries temporais curtas e séries históricas; análise comparativa dos indicadores de dimensionamento de simulação (volume ideal de reservatório e potencial de economia de água potável correspondente ao volume ideal de reservatório); obtenção de um tamanho de série temporal representativo e validação; e, por fim, é feita uma análise comparativa qualitativa das características das séries temporais curtas que se assemelharam à série histórica. O processo é feito para uma amostra de treze cidades. A Figura 1 representa o fluxograma do processo.

Figura 1 – Fluxograma do método proposto.



Foram utilizados dados de séries temporais de diferentes partes do globo, de forma a abranger um número significativo de realidades climáticas. Espera-se que os resultados sejam diferentes para cada cidade, devido às diferenças climáticas e regionais inerentes da diferença de posição geográfica. Por isso, foi considerada uma situação de amostragem. A intenção é que as simulações realizadas representem uma grande e considerável variabilidade. Os dados foram obtidos junto ao trabalho de Souza e Ghisi (2012), que teve como fonte primária o GHCN (*Global Historical Climatology Network*), e analisaram o potencial de economia nas localidades relacionadas. A Figura 2 apresenta, como marcador, a localização das cidades em estudo no contexto global, e a Tabela 1 apresenta a relação das cidades com suas respectivas coordenadas geográficas e período de série de dados.

Figura 2 – Localização das cidades em estudo no contexto global.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2017).

Tabela 1 – Cidades e período histórico dos dados de precipitação.

Cidade	País	Latitude	Longitude	Período de dados (anos)	Código no mapa
Alexandria	Egito	31,2001° N	29,9187° E	1966-1995	A
Barcelona	Espanha	41,3851° N	2,1734° E	1968-1998	B

Tabela 1 – Cidades e período histórico dos dados de precipitação (cont.).

<b>Cidade</b>	<b>País</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Período de dados (anos)</b>	<b>Código no mapa</b>
Berlim	Alemanha	52,5200° N	13,4050° E	1972-2001	C
Dar-El-Beida	Argélia	36,7060° N	3,2282° E	1969-1998	D
Darwin	Austrália	12,4634° S	130,8456° E	1971-2000	E
Encarnación	Paraguai	27,2523° S	55,9136° W	1970-1999	F
Moscou	Rússia	55,7558° N	37,6173° E	1970-1999	G
Nova Iorque	EUA	40,7128° N	74,0059° W	1980-2009	H
Paris	França	46,8139° N	71,2080° W	1971-2000	I
Quebec	Canadá	48,8566° N	2,3522° E	1965-1995	J
Santarém	Brasil	2,4506° S	54,7009° W	1969-1998	K
Santo Amaro	Brasil	27,6857° S	48,7818° W	1969-1998	L
Shanwei	China	22,7862° N	115,3752° E	1968-1997	M

### 3.2. Determinação do modelo de simulação

Nesta etapa foram estabelecidos os parâmetros que compõem o modelo de simulação. Foram determinados valores a fim de que o modelo fosse representativo para todas as cidades em estudo. Determinaram-se os parâmetros que foram mantidos constantes, denominados parâmetros fixos, enquanto foram alterados os parâmetros que foram analisados, denominados parâmetros variáveis. Os parâmetros fixos que influenciam a simulação são: a área de captação; o descarte de escoamento inicial, o número de moradores, o consumo de água potável por habitante, o coeficiente de escoamento superficial e as informações iniciais de volumes dos reservatórios superior e inferior. Os parâmetros variáveis são: as séries de precipitação; e

o percentual de substituição de água potável por água pluvial, que resultará na demanda de água pluvial.

A área de captação (100 m<sup>2</sup>) e o número de moradores (quatro habitantes) foram definidos para representar uma residência de arquitetura simples e padrão médio, unifamiliar, habitada por uma família de quatro pessoas. O consumo por habitante (150 L/hab.dia) foi adotado de forma a representar um valor comportamental mediano para todas as cidades em estudo (SOUZA; GHISI, 2012). Foi considerado um descarte de escoamento inicial de precipitação de 2mm, com base no valor recomendado pela NBR 15.527. Para o reservatório superior, adotou-se volume igual à demanda diária média de água pluvial. Para o reservatório inferior, foram simulados diversos volumes, variando de 1.000 litros a 70.000 litros, em intervalos de 1.000 litros.

Como parâmetros variáveis têm-se: as séries de precipitação, que variam de acordo com a cidade e com o tamanho da série; e a demanda de água pluvial, dada por percentual de substituição de água potável por água de pluvial na demanda total, cujo intervalo de variação adotado é a faixa entre 20% e 50% do consumo total da edificação variando em intervalos de 10%, representando a parcela de demandas não potáveis, como descarga de vaso sanitário, rega de jardim e de plantas e limpeza. A faixa de variação da demanda de água pluvial é embasada em trabalhos da literatura, como Fewkes (2012), que aponta que o uso de água não potável em edificações residenciais representa cerca de 30% da demanda diária no Reino Unido. Souza e Ghisi (2012) utilizaram a faixa de 40% a 60%, com a justificativa de que é a parcela representativa do consumo diário de água não potável no Brasil. Coombes e Barry (2007) também utilizaram um intervalo semelhante em seu estudo, na Austrália. A Tabela 2 apresenta um resumo dos dados para o modelo.

Tabela 2 – Dados de entrada das simulações computacionais.

Parâmetro	Dado de entrada	Unidade
Área de captação	100	m <sup>2</sup>
Consumo <i>per capita</i> de água potável	150	L/hab .dia

Tabela 3 – Dados de entrada das simulações computacionais (cont.).

Parâmetro	Dado de entrada	Unidade
Número de moradores	4	hab.
Coeficiente de escoamento superficial	80	%
Descarte inicial (Primeira chuva)	2	mm
Demanda de água pluvial (percentual da demanda <i>per capita</i> total)	20 – 50	%
Reservatório superior	Volume igual à demanda diária média de água pluvial	L
Reservatório inferior	Varição de 1.000 – 70.000	L

### 3.3. Obtenção e preparação das séries temporais

Cada cidade possui uma série histórica com 30 anos de dados de precipitação. A partir da série histórica de determinada cidade, foram preparadas as séries temporais menores, com 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20 e 30 anos, de tamanho crescente e sobrepondo-se os anos, até o tamanho total disponível, de forma a cobrir toda a disponibilidade dos dados e possibilidade de combinações possível. Foi considerado como uma série histórica um registro contínuo e diário de 30 anos de dados de precipitação (OMM, 1989).

As séries de um ano são divisões de 1º de janeiro a 31 de dezembro de cada ano, dos 30 anos da série temporal, ou seja, 30 séries. As séries de dois anos são sobreposições dos anos subseqüentes e resultaram em 29 séries, assim como as séries de três anos, que resultaram em 28 séries, e assim por diante, até a série temporal de 30 anos. A Figura 3 ilustra o processo de divisão das séries temporais. Neste caso, é ilustrado como exemplo a divisão da série temporal da cidade de Berlim, de 1972 a 2001.

Figura 3 – Tamanho das séries temporais consideradas nas simulações (os períodos exemplificados são dos dados da cidade de Berlim).

1 ano	2 anos	3 anos	4 anos	...	10 anos	15 anos	20 anos	30 anos
1972	1972-1973	1972-1974	1972-1975	...	1972-1981	1972-1986	1972-1991	1972-2001
1973	1973-1974	1973-1975	1973-1976		1973-1982	1973-1987	1973-1992	
1974	1974-1975	1974-1976	1974-1977		1974-1983	1974-1988	1974-1993	
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	
2000	1999-2000	1998-2000	1997-2000		1991-2000	1986-2000	1981-2000	
2001	2000-2001	1999-2001	1998-2001		1992-2001	1987-2001	1982-2001	

### 3.4. Caracterização das séries temporais

Além disso, com o intuito de entender os fenômenos que envolvem as séries temporais inerentes de cada região estudada, foi realizada uma caracterização do regime de precipitação pluviométrica de cada cidade. Esta caracterização teve como base a série histórica, e determinou-se o gráfico de variabilidade da série ao longo do tempo e o histograma de precipitação mensal.

O regime de precipitação pluviométrica pode ser caracterizado por diversas medidas. Jennings *et al.* (2010) apontam algumas, como: intensidade média anual, amplitude média anual, sazonalidade, duração do evento de precipitação, intervalo entre eventos de precipitação, quantidade média anual de dias sem precipitação, entre outras. Estes índices mensuram a ordem de grandeza, o comportamento, a variabilidade, entre outras características do regime de precipitação. Neste trabalho, optou-se por abordar os seguintes índices pluviométricos que caracterizam a série temporal de cada cidade:

- Precipitação média anual: média do volume total anual de precipitação ocorridos em cada ano da série temporal;
- Quantidade média anual de dias sem precipitação: Média da quantidade de dias no ano em que não houve fenômeno de precipitação (menor que 1mm), em cada ano da série temporal;

- Índice de sazonalidade: determinado pela Equação 7, conforme Summer (1998) *apud* Jenkins (2007).

$$\text{Índice}_{SAZ.} = \frac{1}{P} * \sum_{i=1}^{12} \left| Pm_i - \frac{P}{12} \right| \quad (7)$$

Onde:

$\text{Índice}_{SAZ.}$  é o índice de sazonalidade;

$P$  é a precipitação média anual, dada em milímetros por ano;

$P_i$  é a precipitação média mensal, dada em milímetros por mês.

Os índices de caracterização pluviométricos foram determinados para cada série temporal curta e para a série histórica. Ou seja, para a cidade “A”, tem-se 30 séries de 1 ano, cada uma com diferentes valores de precipitação média anual, índice de sazonalidade e quantidade média anual de dias sem precipitação, e assim por diante, para cada tamanho de série e para cada cidade. Dessa forma, foi gerado um gráfico de cada índice de caracterização pluviométrica com a dispersão dos valores das medidas em função dos tamanhos das séries temporais, de todas as cidades e demandas de água pluvial estudados.

Além disso, foi realizado um agrupamento, que objetivou classificar as cidades em três grupos (baixa, média e alta) de acordo com a grandeza de cada índice. Estabeleceu-se, para as três classes, um limite inferior e um superior. Por exemplo, para a “precipitação média anual”, o limite inferior do grupo de “baixa precipitação média anual” foi o menor valor observado dentre as cidades. O limite superior deste grupo foi o limite inferior acrescido da diferença entre o maior valor e o menor valor, dividido por três (visto que são três categorias), e coincide com o limite inferior do grupo de “média precipitação média anual”. O limite superior de média precipitação média anual é o limite inferior acrescido da diferença entre o maior valor e o menor valor, dividido por três, que coincide com o limite inferior do grupo “alta precipitação média anual”, cujo limite superior é o maior valor observado de precipitação média anual dentre as cidades. Este processo foi aplicado para os demais índices de caracterização pluviométrica adotados.

### 3.5. Simulações

Com os dados de entrada definidos e as séries temporais preparadas, foram realizadas as simulações no programa computacional Netuno (GHISI; CORDOVA, 2014b). Este procedimento teve como resultado uma curva relacionando um potencial de economia de água potável para cada valor de volume de reservatório dentro do intervalo de simulação.

Além do resultado geral da simulação – relação entre potencial de economia de água potável e volume de reservatório – foram considerados dois indicadores de dimensionamento, para fins de comparação entre as simulações, sendo estes: o volume ideal do reservatório; e o potencial de economia de água potável correspondente ao volume ideal do reservatório. O indicador “volume ideal do reservatório”, apesar de seu resultado ser um número, não pode assumir um número infinito de valores, apenas intervalos de valores pré-determinados. Estatisticamente seu nível de mensuração é quantitativa discreta. O indicador “potencial de economia de água potável correspondente ao volume ideal do reservatório” é considerado uma variável quantitativa contínua, pois pode assumir infinitos valores. A partir daqui, o “potencial de economia de água potável correspondente ao volume ideal de reservatório” será denominado apenas como “potencial de economia ideal”, de forma que se diferencie do “potencial de economia de água potável”, o qual se refere ao potencial de economia assumido por um volume de reservatório qualquer dentro do intervalo de simulação.

O processo de simulação ocorre conforme descrito na seção 2.1.3 deste trabalho, que descreve as equações, o processo e os cálculos realizados pelo programa. É descrita também a forma como o programa determina o volume ideal do reservatório e o potencial de economia ideal associado a este volume. A diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial, utilizado como critério para determinação do volume ideal do reservatório foi de 5% por metro cúbico.

Para cada localidade foram realizadas simulações de forma a cobrir todas as combinações possíveis das séries temporais, de todos os tamanhos analisados, com quatro intervalos de

demandas de água pluvial, variando de 20% a 50%, em incrementos de 10%. Por exemplo, para analisar as séries de um ano da cidade “A”, são realizadas 120 simulações, para as séries de dois anos, 116 simulações, para as séries de três anos, 112 simulações, e assim por diante. O número total de simulações para uma cidade é 1.132. Esse processo foi repetido para as 13 cidades em estudo, totalizando 14.716 casos simulados. A Tabela 4 apresenta um resumo da quantidade de simulações e dos casos simulados.

Tabela 4 – Resumo da quantidade de simulações para uma localidade.

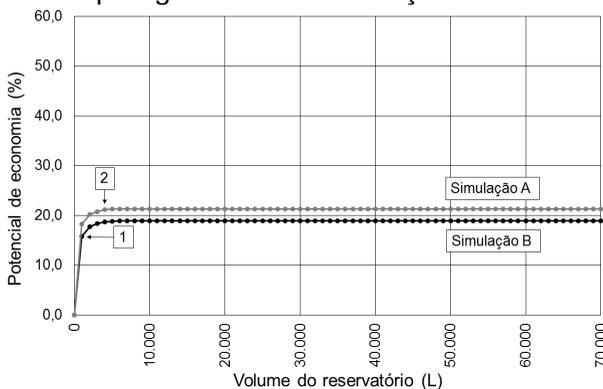
Denominação da Série (S <sub>N</sub> )	Tamanho da série temporal (anos)	Quant. de combinações de séries temporais	Quant. de demandas de água pluvial (20, 30, 40 e 50% da demanda total)	Quant. de Simulações
S <sub>1</sub>	1	30	4	120
S <sub>2</sub>	2	29	4	116
S <sub>3</sub>	3	28	4	112
S <sub>4</sub>	4	27	4	108
S <sub>5</sub>	5	26	4	104
S <sub>6</sub>	6	25	4	100
S <sub>7</sub>	7	24	4	96
S <sub>8</sub>	8	23	4	92
S <sub>9</sub>	9	22	4	88
S <sub>10</sub>	10	21	4	84
S <sub>15</sub>	15	16	4	64
S <sub>20</sub>	20	11	4	44
Série Histórica	30	1	4	4
<b>SUBTOTAL</b>				<b>1.132</b>
Cidades em estudo:				13
<b>TOTAL</b>				<b>14.716</b>

### 3.6. Organização dos resultados das simulações

Após realizadas as simulações, os resultados foram organizados e tabulados. O resultado de uma simulação é uma relação entre potencial de economia de água potável por volume de reservatório, o que resulta em uma curva típica, conforme apresentado na Figura 4, para duas situações genéricas, denominadas “Simulação A” e “Simulação B”.

Apesar do comportamento dos resultados variar de caso para caso, um resultado típico de simulação é composto basicamente pelos trechos: de 0 ao ponto 1, que compreende um trecho de crescente ascensão, onde a cada volume de reservatório maior do que o anterior, há um ganho expressivo no potencial de economia; o primeiro ponto de inflexão (ponto 1), o trecho entre inflexões, onde o aumento do potencial de economia com o aumento do volume de reservatório é peculiar em cada caso; o segundo ponto de inflexão (ponto 2); e, após este, a tendência de estabilização da relação entre potencial de economia e aumento do volume do reservatório, ou seja, o potencial de economia passa a aumentar muito pouco ou nada com o aumento do volume do reservatório. Em casos em que há captação de água pluvial suficiente, o gráfico atinge a demanda de água pluvial (dada pelo percentual de substituição de água potável por água pluvial) desejado para a simulação.

Figura 4 – Curva típica do resultado de simulação para dois exemplos genéricos de simulações “A” e “B”.



As curvas de simulação foram plotadas por tamanho de série temporal em um mesmo gráfico, ou seja, por exemplo, todas as curvas de simulação da série temporal de 1 ano foram plotadas no mesmo gráfico. Adicionalmente, foram inseridas nos gráficos as curvas das simulações com série histórica, para fins de comparação visual e verificação da ordem de grandeza. Em uma análise visual, foram avaliados os quesitos: dispersão do potencial de economia em relação ao mesmo volume de reservatório; comportamento da curva; posição dos pontos de inflexão; se chega à demanda de água pluvial desejada ou não; e o que acontece com a dispersão e resultados à medida que a demanda de água pluvial cresce.

Após a organização dos resultados e análise do aspecto geral das curvas de simulação, foi realizada uma comparação entre os resultados das simulações com série temporal curta e os resultados da série histórica. Essa comparação foi feita de três formas: a perspectiva quantitativa, que objetivou verificar a quantidade de resultados gerados com as séries curtas que foram semelhantes aos resultados com a série histórica; a análise de indicadores de dimensionamento; e a perspectiva qualitativa, a qual objetivou identificar as características das séries curtas que geraram resultados semelhantes à série histórica, e verificar o que essas séries têm em comum com a série histórica.

### 3.7. Análise quantitativa

Na perspectiva quantitativa, objetivou-se analisar qual o tamanho da série curta que gerou resultados semelhantes aos da série histórica. Dessa forma, foram quantificados os resultados de simulações com séries curtas considerados similares aos resultados gerados com a série histórica, para cada tamanho de série temporal avaliado. A verificação de similaridade foi feita por meio da diferença entre os potenciais de economia de água potável gerados com a série temporal curta e o potencial de economia de água potável da simulação gerada com a série histórica, para o mesmo volume de reservatório. O somatório dessas diferenças foi dividido pela quantidade de volumes de reservatório no intervalo de simulação, criando um índice de similaridade. Ou seja, foi comparada a distância entre a curva gerada pela série temporal curta com a curva gerada com a série

histórica. A comparação pode ser expressa matematicamente pela Equação 8.

$$\text{Índice}_{SIM.} = \frac{\sum(Pot_{SH}^i - Pot_{SC}^i)}{Q} \quad (8)$$

Onde:

$\text{Índice}_{SIM}$  é o índice de similaridade entre o resultado da série temporal curta e da série histórica;

$Pot_{SH}$  é o potencial de economia de água potável de um determinado volume de reservatório  $i$ , gerado pela simulação com a série histórica;

$Pot_{SC}$  é o potencial de economia de água potável de um determinado volume de reservatório  $i$ , gerado pela simulação com a série temporal curta;

$i$  é o volume de reservatório simulado, dentro do intervalo de simulação;

$Q$  é a quantidade total de volumes de reservatórios simulados, dentro do intervalo de simulação.

Uma série temporal curta foi considerada adequada a representar resultados similares aos de uma série histórica quando o índice de similaridade foi menor que 5%. O critério de comparação foi baseado em trabalhos anteriores (Ghisi *et al.*, 2012). No entanto, foram feitas simulações com diversas séries curtas de cada tamanho. Dessa forma, um tamanho de série temporal foi considerado adequado para representar resultados similares aos de uma série histórica, quando pelo menos 90% das séries daquele tamanho foram consideradas adequadas.

Os resultados das diferenças entre resultados de simulações com séries curtas e resultados das simulações com séries históricas são apresentados por diagrama de caixas, para cada tamanho de série temporal, demanda de água pluvial e para cada cidade em estudo.

### 3.8. Análise comparativa dos indicadores de dimensionamento

Visando avaliar as diferenças das simulações a partir do critério de dimensionamento, foram realizadas duas comparações

feitas por meio dos indicadores de dimensionamento. É importante avaliar a perspectiva do dimensionamento uma vez que é o resultado efetivo da simulação, ou seja, é o produto principal que o simulador deseja obter com a simulação. Cada simulação resulta em um valor de volume ideal de reservatório e um valor de potencial de economia ideal, e estes foram comparados com os valores de volume ideal de reservatório e potencial de economia ideal, gerados com a série histórica.

Quando uma série temporal curta apresentou pelo menos 90% dos resultados significativamente similares aos gerados com a série histórica, considerou-se que a série é representativa para o indicador avaliado. Este fenômeno foi denominado convergência, isto é, a quantidade de resultados similares é tão grande que todos os resultados simulados com séries maiores que aquele tamanho de série temporal serão semelhantes ou iguais aos da série histórica, convergindo para este resultado.

Inicialmente havia sido adotado um critério de 95% dos resultados similares. Porém, notou-se que este intervalo não condizia com o tamanho da amostra adotado, resultado em tamanhos de séries temporais curtas muito longas. Percebeu-se, ainda, que os resultados não faziam sentido se comparados com a análise visual das curvas de simulação. Por exemplo, notou-se que para a cidade de Paris, apenas séries de 20 anos seriam o suficiente para convergência. Porém, pela análise quantitativa, nota-se uma grande sobreposição com o uso de séries de 5 anos. Notou-se, então, que pela quantidade de séries avaliadas ser variável ao passo que se aumenta o tamanho das séries temporais, quando pelo menos uma série de vinte anos, não apresentava um resultado similar, esta série já apresentava 91% de não-similaridade (razão entre 1 e 11, sendo 11 o número de séries avaliadas com 20 anos). Dessa forma, adotou-se uma margem de erro maior, admitindo-se pelo menos 90% de similaridade. Isto é, o valor esperado de frequência de resultados diferentes, tem no máximo, 10% de probabilidade.

### 3.8.1. VOLUME IDEAL DO RESERVATÓRIO

Para cada tamanho de série temporal curta, foram contabilizadas quantas vezes o volume ideal de reservatório foi diferente do volume ideal de reservatório da série histórica.

Utilizou-se o método binário para quantificar esta comparação, contabilizando-se as não-similaridades. Quando o resultado foi igual ao da série histórica, registrou-se zero, e quando foi diferente, registrou-se uma unidade de diferença (não-similaridade). Como este indicador representa uma variável discreta, os resultados são sumarizados por meio da frequência de não-similaridades.

Um tamanho de série temporal curta foi considerado adequado quando pelo menos 90% dos resultados com a série curta foram iguais ao da série histórica, isto é, no máximo 10% de não-similaridades, satisfazendo a Equação 9. Este teste foi realizado para cada demanda de água pluvial considerada neste estudo.

$$S_{Volume}^i = 100 * \sum \frac{m^i}{n^i}; \text{ quando } S_{Volume}^i \leq 10\% \text{ então } S_{Volume}^i = S_{Volume}^R \quad (9)$$

Onde:

$S_{Volume}^i$  é a série temporal curta de tamanho  $i$ ;

$m$  é o número de vezes que o volume ideal de reservatório obtido com a série curta foi diferente do obtido com a série histórica;

$n$  é o número de simulações de tamanho  $i$ ; e

$S_{Volume}^R$  é o tamanho de série temporal considerado adequado para o indicador volume ideal de reservatório.

Então, foi obtido o tamanho de série temporal curta que tem pelo menos 90% de resultados de volume ideal de reservatório iguais aos da série histórica, para cada cidade em estudo.

### 3.8.2. Potencial de economia ideal

A avaliação do potencial de economia ideal também foi realizada pela comparação do resultado de cada série temporal curta com o resultado obtido com a série histórica, contabilizando-se as não-similaridades. O critério utilizado para determinar qual resultado de série temporal curta é similar ao resultado da série histórica foi a diferença relativa entre os resultados de potencial de economia ideal. Quando a diferença relativa foi menor que 5%, o resultado foi considerado similar e não foi contabilizado. Quando a diferença foi maior que 5%, foi considerado como não-similar e

foi contabilizada uma unidade de diferença. Esta avaliação foi aplicada para cada tamanho de série temporal em estudo. O critério foi definido uma vez que é muito improvável que uma série temporal curta resulte em um valor exatamente igual ao resultado obtido com a série histórica. No entanto, uma pequena diferença pode expressar similaridade entre os valores. Dessa forma, foi avaliada a frequência de não-similaridades.

Um tamanho de série temporal curta é considerado adequado quando pelo menos 90% dos resultados com a série curta foram iguais ao da série histórica, isto é, no máximo 10% de não-similaridades, satisfazendo a Equação 10. Este teste foi realizado para cada demanda de água pluvial considerada neste estudo.

$$S_{Potencial}^i = 100 * \frac{\sum o^i}{n^i}; \text{ quando } S_{Potencial}^i \leq 10\% \text{ então } S_{Potencial}^i = S_{Potencial}^R \quad (10)$$

Onde:

$S_{Potencial}^i$  é a série temporal curta de tamanho  $i$ ;

$o$  é o número de vezes que o volume ideal de reservatório obtido com a série curta foi diferente do obtido com a série histórica;

$n$  é o número de simulações de tamanho  $i$ ; e

$S_{Potencial}^R$  é o tamanho de série temporal considerado adequado para o indicador potencial de economia ideal.

Então, foi obtido o tamanho de série temporal curta que tem pelo menos 90% de resultados de potencial de economia ideal iguais aos da série histórica, para cada cidade em estudo.

### 3.9. Validação do tamanho de série temporal representativo

Considerou-se um tamanho de série temporal representativo o maior tamanho de série temporal dentre as consideradas adequadas nos testes das seções 3.7, 3.8.1 e 3.8.2. Considerou-se o tamanho de série temporal representativa como resultado da investigação de qual o tamanho de série temporal necessário para reproduzir resultados significativamente similares aos resultados da série histórica em simulações de sistemas de aproveitamento de água pluvial. A determinação do tamanho de

série temporal representativa foi realizada para cada cidade em estudo, e é expressa pela Equação 11.

$$S_R = \text{máx} \begin{cases} S_{Economia}^R \\ S_{Volume}^R \\ S_{Potencial\ ideal}^R \end{cases} \quad (11)$$

Onde:

$S_R$  é o tamanho da série temporal representativa;

$S_{Economia}^R$  é a série temporal considerada adequada pela análise quantitativa (seção 3.7).

$S_{Volume}^R$  é a série temporal considerada adequada pelo indicador volume ideal do reservatório (seção 3.8.1);

$S_{Potencial\ Ideal}^R$  é a série temporal considerada adequada pelo indicador potencial de economia ideal (seção 3.8.2).

Foi realizada uma validação da análise quantitativa de forma a testar os resultados do experimento. Foi utilizado o mesmo modelo conforme apresentado na Tabela 2 (seção 3.2), para as simulações de validação. O modelo foi simulado novamente utilizando uma série do mesmo tamanho da série temporal representativa encontrada, porém, com um período diferente do utilizado pelo experimento para determinação deste tamanho de série representativa. Foi verificada similaridade entre os resultados da simulação de validação e os da série histórica.

O critério de comparação entre os resultados da simulação de validação e os resultados da série histórica foi o mesmo avaliado para a análise comparativa dos indicadores de dimensionamento: volume ideal de reservatório (item 3.8.1); e potencial de economia ideal (item 3.8.2), uma vez que foram os critérios que resultaram em tamanhos de séries mais conservadores dentre os três testes.

O experimento foi considerado válido quando os resultados das simulações de validação foram iguais aos resultados das simulações com a série histórica. Dessa forma, considera-se que, para a cidade avaliada (ou com características climáticas semelhantes), pode-se utilizar uma série do tamanho da série representativa para se realizar simulações de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

### 3.10. Análise qualitativa

Na perspectiva qualitativa, identificaram-se quais simulações geradas com séries curtas foram semelhantes à simulação gerada com série histórica por meio da comparação dos potenciais de economia. Ou seja, o intuito foi verificar as curvas que se sobrepuseram à curva gerada com a série histórica. Se utilizada como exemplo a Figura 4, procurou-se a série da “Simulação A” que se sobrepôs ou ficou muito próxima à curva da “Simulação B”. Uma vez que, se a curva da série histórica é considerada uma simulação representativa, a série temporal curta que resultou em uma curva sobreposta a essa pode ser utilizada para reproduzir resultados semelhantes.

Dessa forma, avaliaram-se os resultados das simulações das curvas que se sobrepuseram. A análise para descobrir quais curvas se sobrepuseram foi feita pela diferença pontual dos valores de cada potencial de economia para cada volume de reservatório da simulação, conforme item 3.7. A menor diferença apontou a curva mais sobreposta, ou seja, adotou-se como série mais similar, aquela que apresentou o menor índice de similaridade proposto na seção 3.7. Foram investigadas as curvas que se sobrepuseram, para cada cidade e cada demanda de água pluvial, para os tamanhos de 1, 5 e 10 anos, uma vez que durante a análise e tratamento dos dados quantitativos, já se notou tendências similares nestes intervalos, que visualmente possibilitariam as análises nesses tamanhos de séries temporais. Ainda, uma vez que foram avaliadas as características das séries temporais curtas que se assemelharam à série histórica, o tamanho da série curta não possui grande influência. Dessa forma, optou-se por avaliar esses três diferentes tamanhos que seguem uma progressão uniforme.

Após identificados os resultados das simulações que se sobrepuseram aos resultados gerados com a série histórica, foram verificadas as características das séries temporais que geraram esses resultados. A avaliação foi realizada para os três índices de caracterização pluviométrica elencados: precipitação média anual, índice de sazonalidade e quantidade média anual de dias sem precipitação.

Foi realizada uma análise gráfica, comparando os índices de caracterização pluviométrica das séries históricas com os índices

das séries temporais curtas, em um gráfico de barras. Quanto mais próximas as barras ficarem das linhas, mais o índice de caracterização tem influência. Foi possível apontar, visualmente, qual é o índice de maior importância na semelhança dos resultados entre séries curtas e séries históricas.

Além disso, foram relacionados os valores de precipitação, sazonalidade e quantidade de dias sem precipitação da série histórica, em função dos valores de precipitação, sazonalidade e quantidade de dias sem precipitação das séries curtas. A partir desta relação, foi gerado um gráfico que indicou que, quanto mais próximo a dispersão de pontos ficar da bissetriz, mais o índice de caracterização pluviométrica avaliado se assemelha ao da série histórica. Foram determinados tanto a linha de tendência dos pontos observados quanto o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Dessa forma, pode-se obter, numericamente, qual índice de caracterização pluviométrica é mais importante ao se utilizar séries temporais curtas para predição de resultados significativamente semelhantes aos gerados com a série histórica.

Por fim, uma última análise foi feita por meio do cruzamento entre os tamanhos de séries temporais curtas considerados representativos, em ordem crescente, e os índices de caracterização pluviométricas de cada cidade. Objetivou-se buscar uma relação entre a ordem de grandeza do índice de caracterização pluviométrica e o tamanho da série temporal curta representativa.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Caracterização das séries temporais

Os dados de precipitação pluviométrica foram analisados para se compreender o comportamento do clima em cada cidade em estudo. Com base na série histórica de 30 anos, foram determinados os histogramas de médias mensais de precipitação das cidades em estudo, apresentados pela Figura 5. Os demais resultados da caracterização climática, sendo eles: o gráfico da precipitação diária; os histogramas de precipitação médias mensais e os gráficos índices de caracterização pluviométrica das séries temporais curtas e históricas, são apresentados no Apêndice A.

Figura 5 – Médias mensais de precipitação das cidades analisadas.

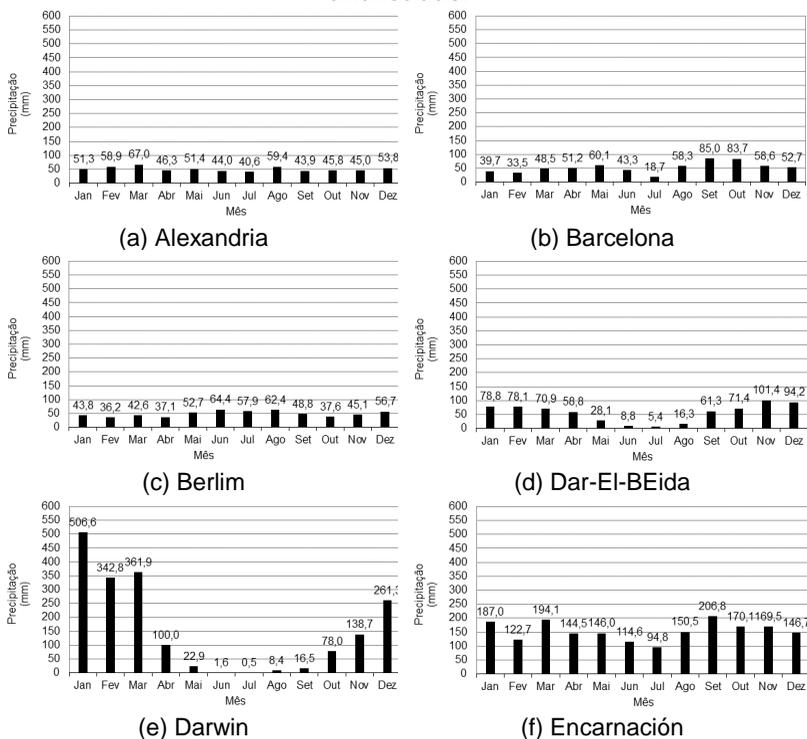
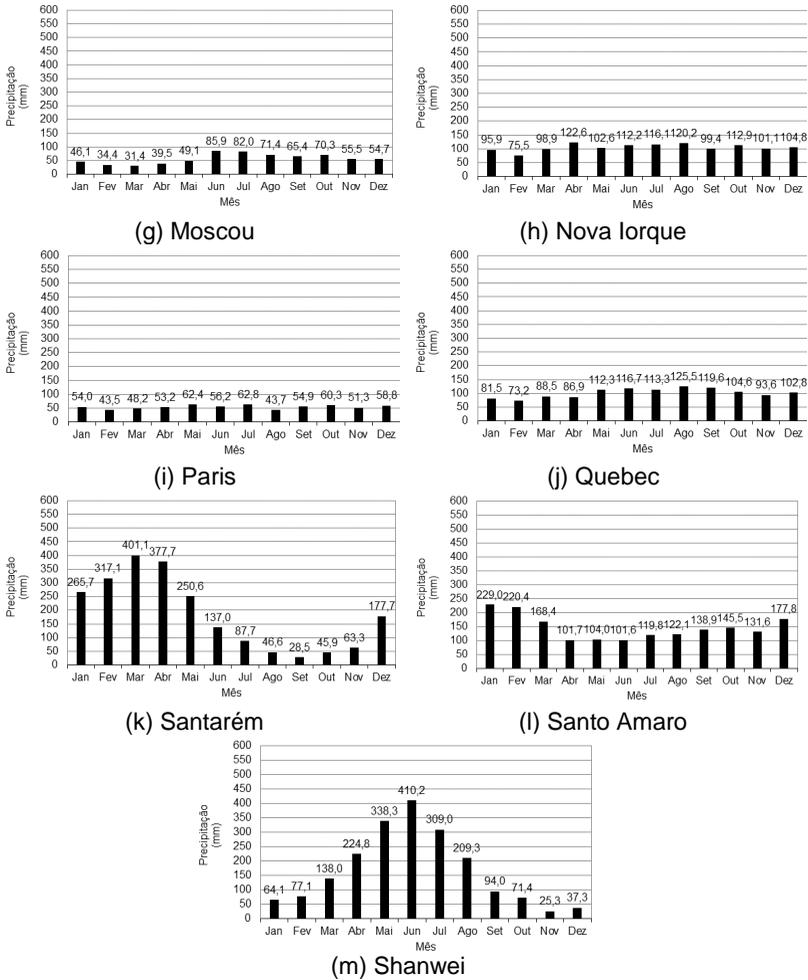


Figura 5 – Médias mensais de precipitação das cidades analisadas (cont.).



Por meio da Figura 5 é possível perceber tanto a grandeza quanto as diferenças do comportamento dos regimes pluviométricos em cada localidade. Nota-se que as cidades de Darwin, Dar-El-Beida e Shanwei possuem uma sazonalidade de precipitação clara e marcante, aliada a uma alta precipitação. Encarnación, Santarém, Santo Amaro possuem uma sazonalidade menos acentuada. As demais cidades não apresentam uma

sazonalidade tão bem definida, e a precipitação média anual varia. Alexandria, Barcelona, Berlim, Paris e Moscou apresentam baixa precipitação, enquanto Quebec e Nova Iorque possuem uma precipitação mais alta. Estas características mostram as diferenças das realidades climáticas dentre as cidades em estudo.

A Tabela 5 apresenta um resumo dos índices de caracterização pluviométrica do regime de precipitação das cidades em estudo, a partir dos dados da série histórica. A precipitação média anual é a média do volume total precipitado dos anos da série, o índice de sazonalidade indica a periodicidade característica do regime pluviométrico durante os anos da série, e a quantidade média anual de dias sem precipitação é a média do total de dias sem precipitação dos anos da série.

Tabela 5 – Síntese das características pluviométricas das cidades analisadas.

<b>Cidade</b>	<b>Precipitação média anual (mm)</b>	<b>Índice de sazonalidade (adimensional)</b>	<b>Quantidade média anual de dias sem precipitação (dias)</b>
Alexandria	606,9	0,13	307
Barcelona	633,2	0,26	301
Berlim	584,9	0,17	189
Dar-El-Beida	673,0	0,49	285
Darwin	1.837,9	0,94	266
Encarnación	1.821,8	0,17	263
Moscou	683,4	0,26	191
Nova Iorque	1.261,8	0,09	244
Paris	649,3	0,09	199
Quebec	1.217,9	0,14	186
Santarém	2.197,7	0,63	221
Santo Amaro	1.759,7	0,24	210
Shanwei	1.997,8	0,66	233

Analisando os índices de caracterização pluviométrica, foi possível verificar o comportamento do regime de precipitação

pluviométrica de cada cidade. Foi realizado, então, um agrupamento das cidades por índice de caracterização pluviométrica, de forma que se pudesse verificar o comportamento para cada índice. A Tabela 6 apresenta os limites utilizados para este agrupamento e a Tabela 7 apresenta a indicação das cidades por grupo, para cada índice de caracterização pluviométrica.

Os limites inferiores foram definidos pelos menores índices de caracterização pluviométrica identificados dentre as cidades, os limites superiores pelos maiores, e os intermediários foram determinados pelo acréscimo de um fator, que é a diferença entre o menor e maior valor do índice de caracterização dividido por três (quantidade de categorias).

Tabela 6 – Limites de agrupamento das cidades por índice de caracterização pluviométrica.

Categoria	Precipitação média anual (mm)		Índice de sazonalidade (adimensional)		Quantidade média anual de dias sem precipitação (dias)	
	Limite inferior	Limite Superior	Limite inferior	Limite Superior	Limite inferior	Limite Superior
Baixa	584,9	1.122,5	0,09	0,37	185,5	225,9
Média	1.122,5	1.660,1	0,37	0,65	225,9	266,3
Alta	1.660,1	2.197,7	0,65	0,94	266,3	306,8

Tabela 7 – Agrupamento das cidades por similaridade de índice de caracterização pluviométrica.

Cidade	Precipitação média anual (mm)	Índice de sazonalidade (adimensional)	Quantidade média anual de dias sem precipitação (dias)
Alexandria	Baixa	Baixa	Alta
Barcelona	Baixa	Baixa	Alta
Berlim	Baixa	Baixa	Baixa

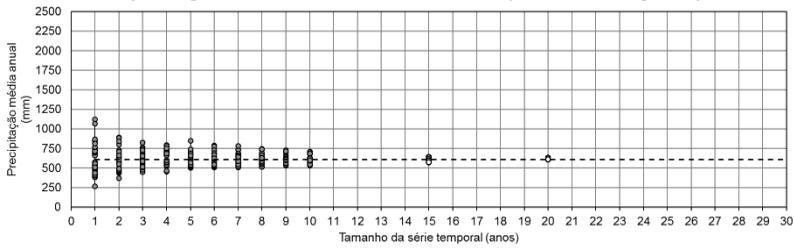
Tabela 6 – Agrupamento das cidades por similaridade de índice de caracterização pluviométrica (cont.).

<b>Cidade</b>	<b>Precipitação média anual (mm)</b>	<b>Índice de sazonalidade (adimensional)</b>	<b>Quantidade média anual de dias sem precipitação (dias)</b>
Dar-El-Beida	Baixa	Média	Alta
Darwin	Alta	Alta	Alta
Encarnación	Alta	Baixa	Média
Moscou	Baixa	Baixa	Baixa
Nova Iorque	Média	Baixa	Média
Paris	Baixa	Baixa	Baixa
Quebec	Média	Baixa	Baixa
Santarém	Alta	Média	Baixa
Santo Amaro	Alta	Baixa	Baixa
Shanwei	Alta	Alta	Média

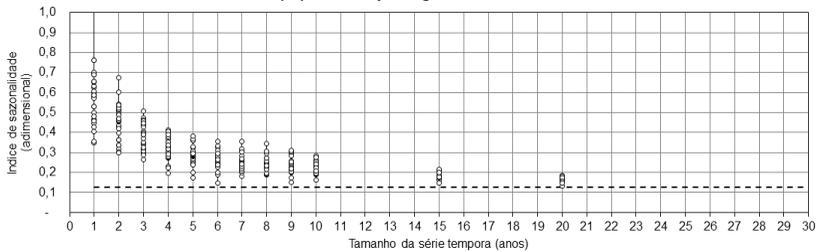
Além disso, como as séries históricas foram divididas em séries menores, analisaram-se também as características das séries menores. Uma vez que quando uma série menor gerar resultados similares aos da série histórica, é importante saber quais características dessa série temporal curta se assemelham à série histórica. A comparação entre características das séries curtas e séries históricas foi feita por meio de uma análise gráfica dos índices de caracterização pluviométrica de cada série. Os gráficos dessa análise também são apresentados no Apêndice A.

Para exemplificar, serão apresentados aqui e nas seções subsequentes, os resultados de três cidades selecionadas de acordo com a precipitação média anual, de modo que representem os grupos com baixa, média e alta precipitação média anual. A Figura 6 apresenta os resultados para a cidade de Alexandria (baixa precipitação média anual), a Figura 7 apresenta os resultados para a cidade de Nova Iorque (média precipitação média anual) e a Figura 8 para a cidade de Encarnación (alta precipitação média anual).

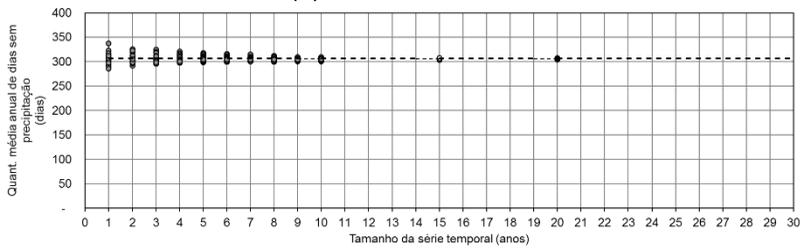
Figura 6 – Resultados de caracterização pluviométrica da cidade de Alexandria, considerando as séries curtas (pontos), em comparação com a série histórica (linha tracejada).



(a) Precipitação média anual.

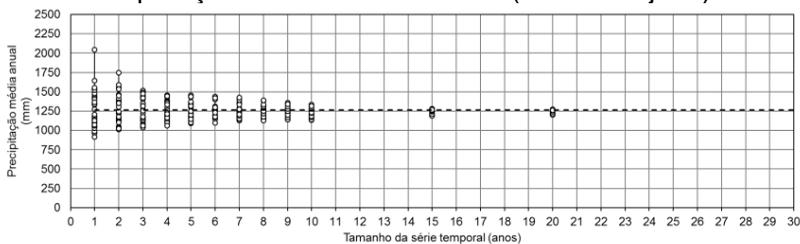


(b) Índice de sazonalidade.

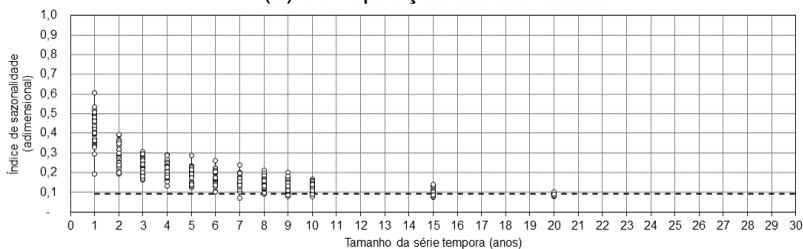


(c) Quantidade média anual de dias sem precipitação.

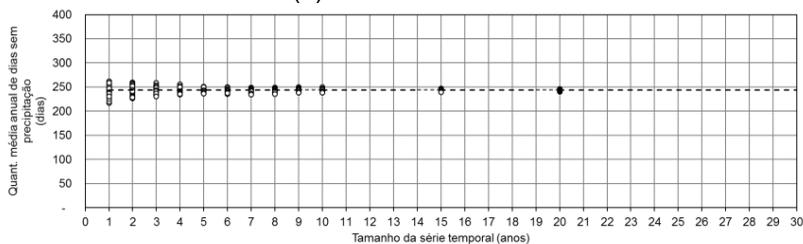
Figura 7 – Resultados de caracterização pluviométrica da cidade de Nova Iorque, considerando as séries curtas (pontos), em comparação com a série histórica (linha tracejada).



(a) Precipitação média anual.

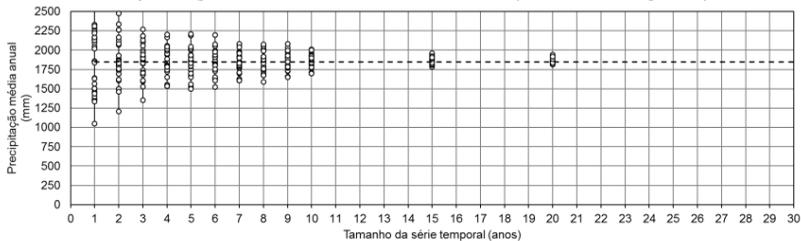


(b) Índice de sazonalidade.

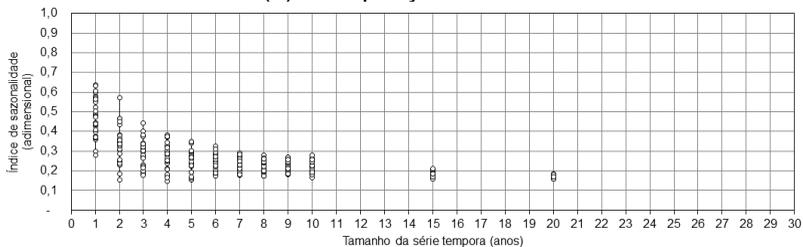


(c) Quantidade média anual de dias sem precipitação.

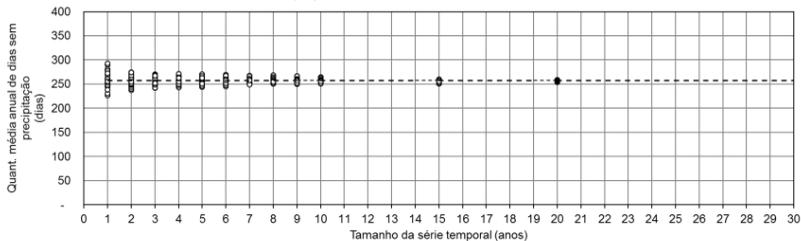
Figura 8 – Resultados de caracterização pluviométrica da cidade de Encarnación, considerando as séries curtas (pontos), em comparação com a série histórica (linha tracejada).



(a) Precipitação média anual.



(b) Índice de sazonalidade.



(c) Quantidade média anual de dias sem precipitação.

Percebe-se que tanto para as três cidades apresentadas nas Figuras 6, 7 e 8, quanto para as demais apresentadas no Apêndice A, ocorre uma maior dispersão dos resultados em séries mais curtas e, conforme o tamanho da série aumenta, os valores convergem para o valor da série histórica. Isto ocorre, pois, à medida que séries temporais menores aumentam de tamanho, mais dados são agregados e mais características de precipitação pluviométrica vão sendo incorporadas à série, resultando em uma média de características cada vez mais semelhantes a da série histórica.

## 4.2. Análise geral dos resultados das simulações

As simulações apresentam como resultados o potencial de economia de água potável para cada volume de reservatório do intervalo de simulação. São apresentados no Apêndice B os gráficos que indicam essa relação para séries de 1, 5, 10, 15, 20 e 30 anos. Para todos os gráficos, foram plotadas curvas dos diferentes tamanhos de séries temporais curtas simuladas (em cinza) e a série histórica (em preto), para fins de comparação. Este resultado é apresentado para as quatro demandas de água pluvial analisadas. Para exemplificar estes resultados, são apresentados na Figura 9 à Figura 11 os gráficos das cidades de Alexandria, Nova Iorque e Encarnación, para demanda de água pluvial de 20% da demanda de água potável.

Figura 9 – Resultados das simulações de Alexandria, para demanda de água pluvial de 20% da demanda de água potável. Linhas em cinza são as séries curtas e as linhas em preto representam a série histórica.

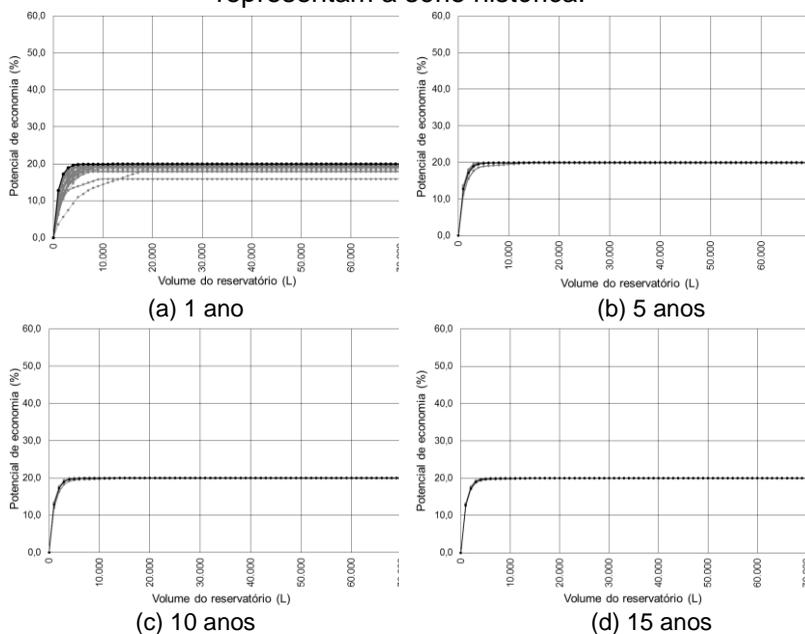


Figura 9 – Resultados das simulações de Alexandria, para demanda de água pluvial de 20% da demanda de água potável. Linhas em cinza são as séries curtas e as linhas em preto representam a série histórica (cont.).

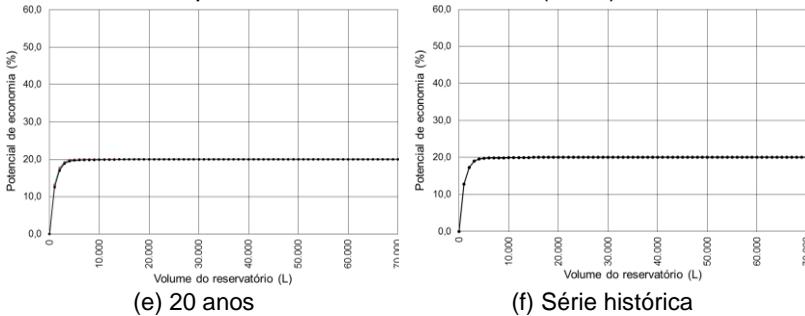


Figura 10 – Resultados das simulações de Nova Iorque, para demanda de água pluvial de 20% da demanda de água potável. Linhas em cinza são as séries curtas e as linhas em preto representam a série histórica.

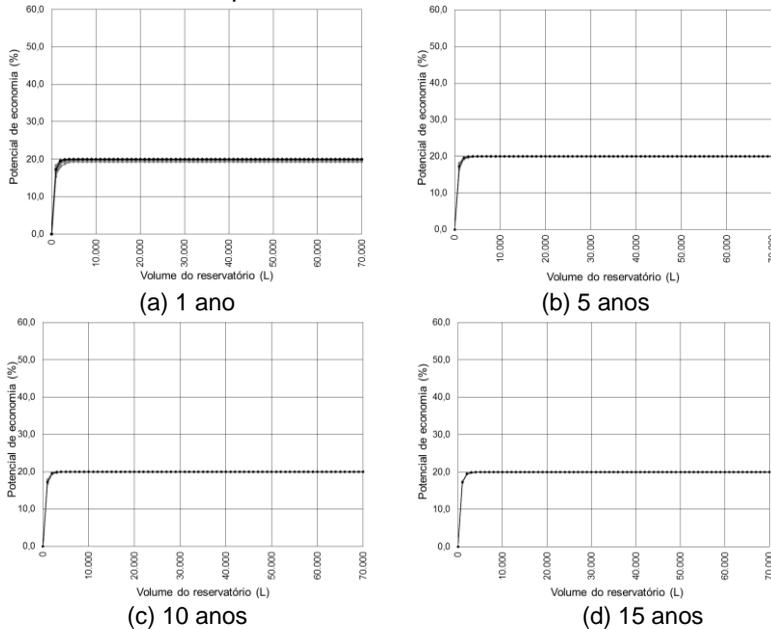


Figura 10 – Resultados das simulações de Nova lorque, para demanda de água pluvial de 20% da demanda de água potável. Linhas em cinza são as séries curtas e as linhas em preto representam a série histórica (cont.).

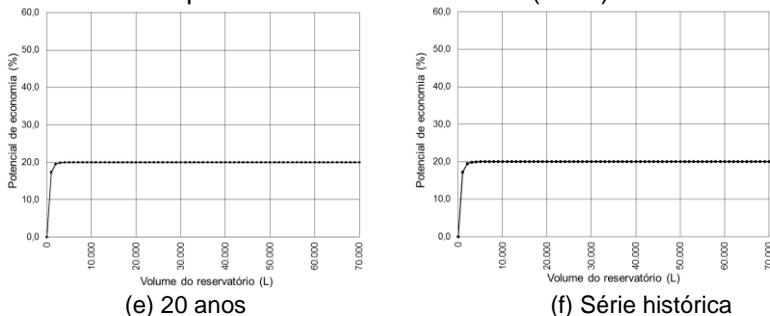


Figura 11 – Resultados das simulações de Encarnación, para demanda de água pluvial de 20% da demanda de água potável. Linhas em cinza são as séries curtas e as linhas em preto representam a série histórica.

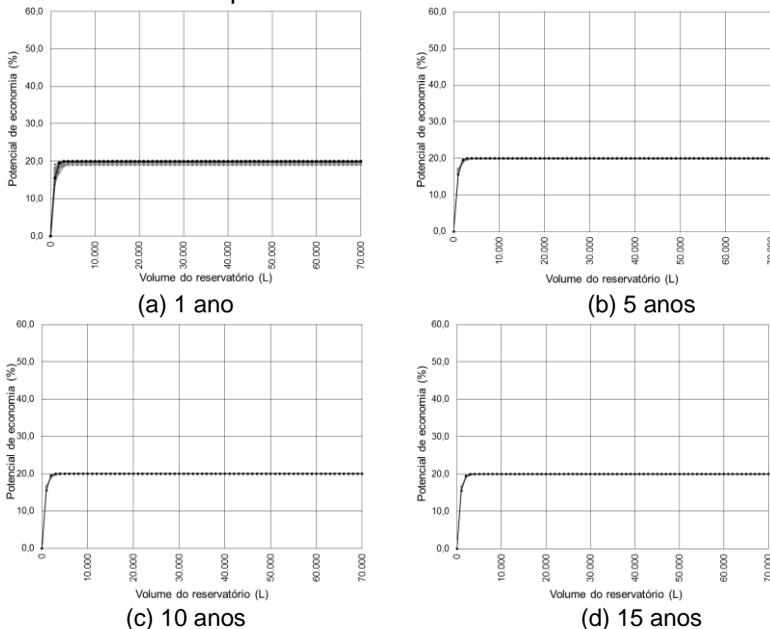
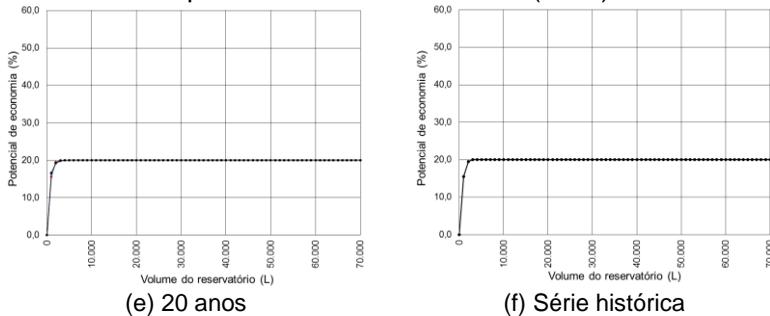


Figura 11 – Resultados das simulações de Encarnación, para demanda de água pluvial de 20% da demanda de água potável. Linhas em cinza são as séries curtas e as linhas em preto representam a série histórica (cont.).



Em todas as linhas obtidas, tanto para as cidades demonstradas aqui quanto nas apresentadas no Apêndice B, observou-se um comportamento semelhante. Inicialmente, há um crescimento uniforme e quase retilíneo do potencial de economia até o primeiro ponto de inflexão, onde a curva passa a ter um comportamento semelhante a uma parábola até o próximo ponto de inflexão. Neste segundo ponto, a curva diminui o seu coeficiente angular, isto é, fica mais próxima de uma linha horizontal, e tende a se estabilizar com esta curvatura. Em alguns casos, conforme a capacidade do reservatório aumenta, o potencial de economia alcança a demanda de água pluvial desejada na simulação. Isso significa que haverá disponibilidade hídrica suficiente (precipitação e área de coleta suficientes) para suprir toda a necessidade de água pluvial da edificação, a partir de um certo volume de reservatório adotado.

As séries menores também se comportam desta maneira, tendo mais ou menos variações. Nota-se maiores variações em séries temporais de 1 ano, e, conforme o aumento do tamanho da série temporal, diminuiu-se variações do resultado em comparação com a série histórica. Este comportamento é esperado, visto que as séries menores derivam da série histórica.

Notou-se comportamento semelhante para as cidades Alexandria, Barcelona, Encarnación, Moscou, Nova Iorque, Paris, Quebec e Santo Amaro. Observa-se visualmente pouca variabilidade das curvas de potencial de economia de água potável em relação à curva da série histórica para séries de 1 e 5

anos. A partir do uso de séries maiores que 5 anos, os resultados convergem para próximos aos da série histórica. Observou-se também o aumento da variabilidade conforme o aumento da demanda de água pluvial. Nota-se que estas cidades foram identificadas com baixa sazonalidade na caracterização dos índices pluviométricos.

Analisando-se pontualmente cada localidade, conforme apresentado no Apêndice B, a cidade de Alexandria apresentou os resultados da simulação de 1 ano com variação de até 2% e observou-se duas curvas com expressiva diferença de comportamento. Há convergência visual nos resultados das séries de 5 anos.

Para Barcelona, a variação ocorre em até 2%, e até séries de 5 anos, havendo convergência para os resultados da série histórica a partir daí. Em Encarnación, Moscou, Nova Iorque, Paris e Quebec e Santo Amaro, nota-se variação menor que 1% já nas séries de 1 ano, e considerou-se convergência para resultados da série histórica com séries deste tamanho. Em Paris, Quebec e Santo Amaro, há o caso de uma série de 1 ano que resulta em uma curva expressivamente diferente das demais, e resultados discrepantes. Este resultado pode ser atribuído devido ao ano ter características muito diferentes dos demais anos, ou seja, um ano atípico.

Nas demais cidades analisadas, Berlim, Dar-El-Beida, Darwin, Santarém e Shanwei, observou-se alta variabilidade do potencial de economia de água potável em relação à série histórica, principalmente nos resultados das simulações com 1 até 5 anos. Porém, notou-se convergência para os resultados da série histórica nos resultados das séries maiores ou iguais a 5 anos. Percebe-se também um aumento da variabilidade conforme a demanda de água pluvial aumenta. Para Berlim, os resultados da simulação de 1 ano variam até 5% e só convergem após 10 anos. Para Dar-El-Beida e Darwin, observa-se uma grande variação entre os dois pontos de inflexão da curva. Nos resultados das séries de 1 ano, nota-se variação de até 5%, e de até 2% nas de 5 anos, para ambas as localidades. Nota-se convergência nos resultados de séries de 10 anos ou mais. Para Santarém, observa-se variação de até 2% nos resultados das séries de 1 e 5 anos, e há presença de duas curvas com expressiva diferença de comportamento. Observa-se convergência após séries de 10 anos. Para Shanwei, nota-se variação de aproximadamente 2%

nas curvas de 1 ano, e convergência após séries de 5 anos. Nota-se aumento do espectro de variação conforme aumenta-se a demanda de água pluvial, principalmente no primeiro trecho da curva, antes da primeira inflexão.

Dessa forma, pode-se perceber que, conforme aumenta-se o tamanho da série temporal, os resultados tendem a ser mais parecidos. Ou seja, quando utilizada uma determinada série temporal curta, de 1 ou 5 anos por exemplo, há uma grande probabilidade de o resultado da simulação ser diferente ao se utilizar uma série de mesmo tamanho, mas de outro período. Quando se aumenta o tamanho da série temporal, os resultados tendem a ser mais próximos, independente do período utilizado. Percebeu-se ainda maior variabilidade de resultados em cidades com maior sazonalidade, e cidades com baixa sazonalidade convergiram para os resultados das séries históricas com séries menores. Percebeu-se ainda que, para as cidades Darwin e Dar-El-Beida, a variabilidade nos resultados foi elevada, e evidenciada entre os dois pontos de inflexão da curva de potencial de economia. Este comportamento pode ser relacionado com a alta sazonalidade que os dados de precipitação característicos dessas cidades mostram.

#### 4.3. Análise quantitativa

A análise quantitativa foi realizada para verificar quantos resultados de simulações geradas com séries temporais curtas foram considerados adequados para representar uma simulação com série histórica. O resultado gráfico desta comparação, cidade por cidade, é apresentado no Apêndice C, por meio da apresentação dos diagramas de blocos da diferença entre séries curtas e séries históricas. No diagrama de blocos (ou de caixas), a simbologia representa as medidas estatísticas dos resultados. O bloco é representado pelo quartil inferior (barra inferior do bloco), quartil superior (barra superior do bloco), mediana (barra intermediária do bloco), média (ponto "x"), limites de valores espúrios (barras verticais), valores espúrios (pontos além das barras verticais). Para exemplificar, as Figuras 12, 13 e 14 apresentam os resultados para as cidades de Alexandria, Nova Iorque e Encarnación.

Figura 12 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Alexandria, para as quatro demandas de água pluvial.

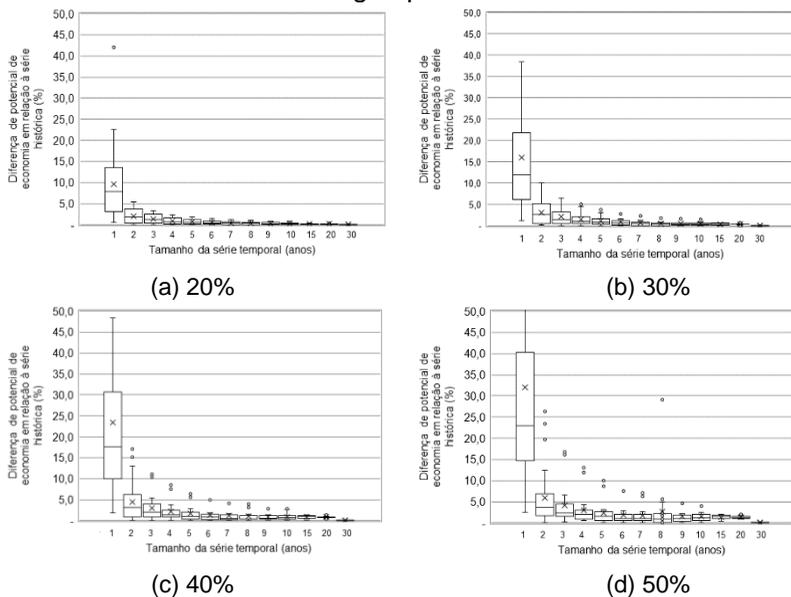


Figura 13 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Nova Iorque, para as quatro demandas de água pluvial.

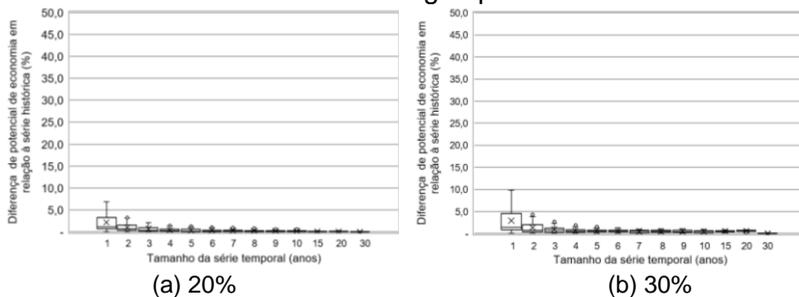


Figura 13 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Nova Iorque, para as quatro demandas de água pluvial (cont.).

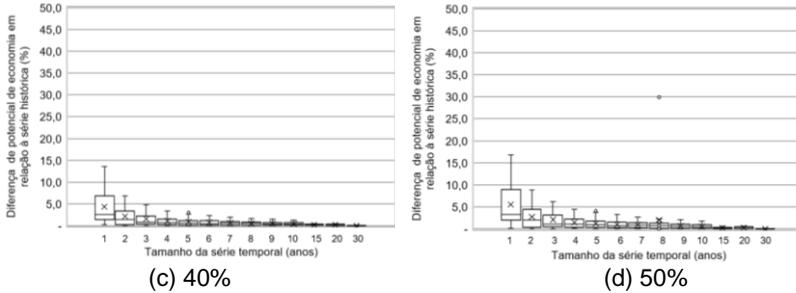
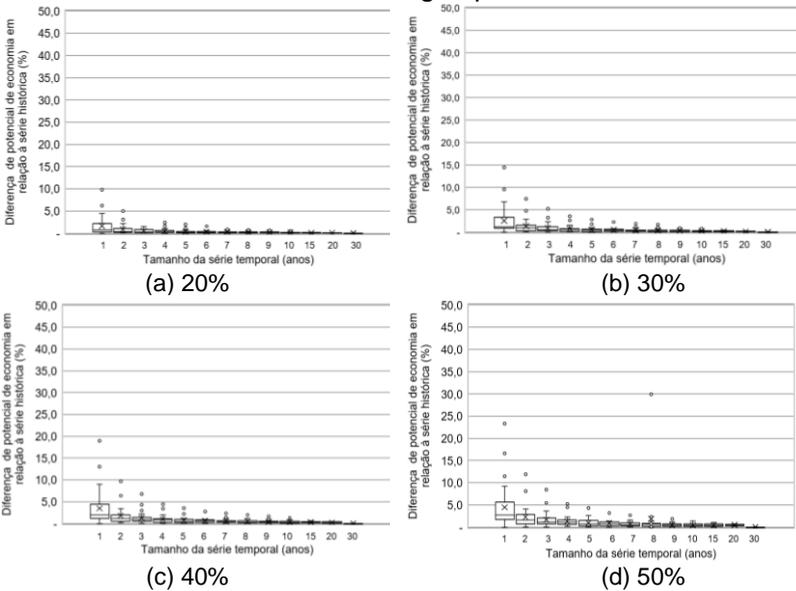


Figura 14 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Encarnación, para as quatro demandas de água pluvial.



Analisando-se as diferenças entre as curvas de potencial de economia geradas com séries curtas e séries históricas, notou-se que as diferenças são menores que 20% a partir do uso de séries

de 2 anos para todos os casos. Salvo em casos isolados, como percebido em Alexandria, as séries de 1 ano também reproduzem resultados com diferença média menor que 10,0%. Em todos os casos observados, as diferenças são menores que 5,0% em séries maiores ou iguais a 10 anos. Este resultado indica que o uso de séries de 10 anos ou mais pode representar valores semelhantes aos da série histórica para este resultado em específico (potencial de economia de água), ou seja, abrangem características pluviométricas suficientes para se assemelhem à série histórica. Este resultado é coerente, visto que a OMM (1989) determina o uso de séries de 10 anos para o cálculo das Normais Climatológicas Provisórias, indicando que uma série desse tamanho pode contemplar características pluviométricas médias significativas.

Além disso, nota-se que a diferença entre potenciais de economia aumenta conforme se aumenta a demanda de água pluvial. Percebe-se, portanto, que a demanda de água pluvial é determinante para a reprodução de resultados de potencial de economia similares aos da série histórica. Isso faz sentido, uma vez que conforme se aumenta a demanda de água pluvial, maior é a curvatura da relação potencial de economia de água potável *versus* volume do reservatório. Ou seja, para a mesma série de precipitação, mesmo volume de reservatório, e duas demandas de água pluvial diferentes (uma maior e uma menor, por exemplo), o potencial de economia será menor para a maior demanda, uma vez que o volume captado e armazenado supre uma parcela menor da demanda de água pluvial.

A Tabela 8 apresenta o resumo destes resultados, indicando os tamanhos de séries temporais que foram considerados adequados conforme a análise quantitativa de diferença entre potenciais de economia.

Tabela 8 – Tamanho das séries temporais curtas consideradas adequadas a representar resultados similares aos da série histórica, com base na análise quantitativa.

Cidade	Tamanho da série temporal (anos)			
	Demanda de água pluvial (% da demanda total)			
	20	30	40	50
Alexandria	2	4	4	4
Barcelona	2	3	5	5
Berlim	9	9	9	9
Dar-El-Beida	2	3	4	5
Darwin	1	3	5	9
Encarnación	2	2	2	3
Moscou	1	1	1	1
Nova Iorque	2	2	2	2
Paris	2	2	2	2
Quebec	2	2	2	3
Santarém	2	4	6	9
Santo Amaro	1	1	1	1
Shanwei	3	5	5	7

#### 4.4. Análise comparativa dos indicadores

A partir da perspectiva de dimensionamento do sistema de aproveitamento de água pluvial, a simulação resulta em dois indicadores de dimensionamento: volume ideal de reservatório; e potencial de economia ideal.

Foram comparados os valores destes indicadores determinados pelas simulações com séries curtas com os indicadores da série histórica, de forma a se avaliar a similaridade entre os resultados das simulações.

#### 4.4.1. Volume ideal de reservatório

Os resultados dos volumes ideais dos reservatórios de todos os casos estudados são apresentados, por cidade, no Apêndice D deste trabalho. São apresentados, também no Apêndice D, gráficos que expressam a similaridade entre os resultados de séries curtas com séries históricas. Para exemplificar estes resultados, as Figuras 15, 16 e 17 apresentam os resultados para as cidades de Alexandria, Nova Iorque e Encarnación.

Figura 15 – Frequência com a qual o volume ideal de reservatório de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Alexandria.

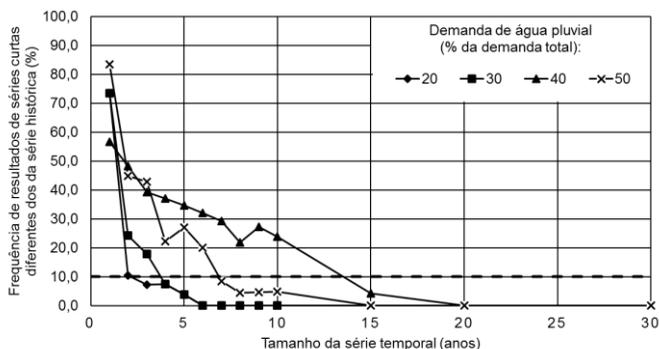


Figura 16 – Frequência com a qual o volume ideal de reservatório de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Nova Iorque.

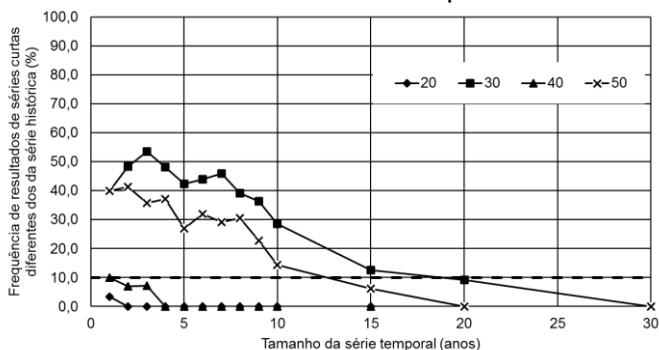
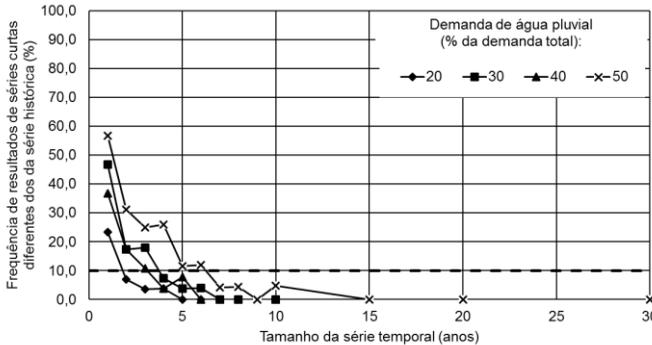


Figura 17 – Frequência com a qual o volume ideal de reservatório de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Encarnación.



Os resultados da cidade de Alexandria apresentaram grande variação nas séries de 1 ano, e uma relativa diminuição de variação nas séries de 2 até 6 anos. Para demandas de água pluvial de 20% e 30% da demanda total, notou-se convergência para o resultado da série histórica a partir de 5 anos (frequência de 3,8% de resultados diferentes). Para demanda de água pluvial de 40%, notou-se convergência do resultado apenas com séries de 15 anos (4,3% dos resultados diferentes). Para demanda de água pluvial de 50%, notou-se convergência do resultado apenas com séries de 7 anos (8,3% dos resultados diferentes).

Para a cidade de Nova Iorque, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total, séries de 1 ano mostram-se suficientes para representar séries históricas, uma vez que apenas 3,3% dos resultados foram diferentes. Para a demanda de água pluvial de 30% da demanda total, 20 anos se mostraram suficientes (com 9,1% dos resultados diferentes). Para demanda de água pluvial de 40%, 2 anos foi o tamanho de série de convergência (com 6,9% dos resultados diferentes), e para demanda de água pluvial de 50% da demanda total, 15 anos, com 6,3% dos resultados diferentes.

Nas simulações na cidade de Encarnación, notou-se pouca variabilidade logo nas séries mais curtas. Para demanda de água pluvial de 20% da demanda total, a convergência deu-se em séries de 2 anos (6,9% de resultados diferentes dos da série histórica), 4

anos para demandas de água pluvial de 30 e 40% (7,4% e 3,7% de resultados diferentes dos da série histórica), 7 anos para demanda de água pluvial de 50% da demanda total (4,2% dos resultados diferentes).

Os resultados das demais cidades apresentadas no Apêndice D, para a cidade de Barcelona, notou-se grande variação nos resultados até séries de 15 anos. Para demanda de água pluvial de 20% do consumo total, notou-se convergência em séries de 20 anos (0,0% dos resultados diferentes). Para demandas de água pluvial de 30% e 50% do consumo total, observou-se convergência em séries de 15 anos (respectivamente 6,3% e nenhum dos resultados diferentes, respectivamente). Para demanda de água pluvial de 40% do consumo total, notou-se convergência do resultado apenas com séries de 10 anos (9,5% dos resultados diferentes).

Nas simulações de Berlim, para demanda de água pluvial de 20% do consumo total, notou-se convergência em séries de 10 anos, com 4,8% dos resultados diferentes. Para 30% do consumo total, notou-se convergência com o uso de séries de 3 anos, com 7,1% de resultados diferentes aos da série histórica. Para demanda de água pluvial de 40% do consumo total, notou-se convergência com o uso de séries de 9 anos, com 9,1% de resultados diferentes, e para demanda de água pluvial de 50% do consumo total, notou-se convergência de 0,0% de diferença em 5 anos.

Para a cidade de Dar-El-Beida, nota-se grande variabilidade dos resultados, em todas as demandas de água pluvial avaliadas, com convergência em resultados de séries de 20 anos, para demanda de água pluvial de 20% e 50% do consumo total (com, respectivamente, 0,0 e 9,1% dos resultados iguais), e 15 anos, para demanda de água pluvial de 30% e 40% do consumo total (com 0,0% dos resultados iguais).

Para Darwin, para as demandas de água pluvial de 20%, 30%, 40% e 50% do consumo total, houve convergência nos resultados em simulações de séries com 20 anos, com 9,1% dos resultados diferentes, para 20% e 40%, e 0,0% dos resultados diferentes para 30% e 50%.

Para Moscou, para a demanda de água pluvial de 20% do consumo total, houve convergência dos resultados em simulações com séries de 8 anos (com 8,7% de resultados diferentes), para demanda de água pluvial de 30% do consumo total, 4 anos (com

7,4%), para demanda de água pluvial de 40% do consumo total, 15 anos (com 6,3%) e para demanda de água pluvial de 50% do consumo total, 6 anos (com 0,0% de diferença).

Para Paris, para demanda de água pluvial de 20%, 40% e 50% do consumo total, a convergência se deu em resultados de simulações de 15 anos, com, respectivamente, 9,1%, 0,0% e 0,0% dos resultados diferentes. Para demanda de água pluvial de 30% do consumo total, a convergência se deu com o uso de séries de 8 anos, com 8,7% dos resultados diferentes.

Para a cidade de Quebec, as simulações com demanda de água pluvial de 20% do consumo total convergiram com séries de 9 anos (0,0% de valores diferentes dos da série histórica). Para 30% de demanda de água pluvial, a convergência se deu com séries de 1 ano (com 0,0% dos resultados diferentes), para 40%, 15 anos (com 6,3% dos resultados diferentes) e para 50%, 4 anos (com 7,4% dos resultados diferentes).

Nas simulações de Santarém e 20% de demanda de água pluvial, o tamanho da série de convergência foi de 15 anos (com 6,3% dos resultados diferentes dos da série histórica). Para as simulações com 30% de demanda de água pluvial, 8,0% dos resultados foram diferentes dos da série histórica com séries de 6 anos. Para 40% e 50% de demanda de água pluvial, foram registrados 4,5% e 8,7% de resultados diferentes com séries de 8 anos.

Para a cidade de Santo Amaro, as simulações com demanda de água pluvial de 20% da demanda total convergiram a partir do uso de séries de 2 anos, apresentando 6,9% dos resultados diferentes dos da série histórica. As simulações com demanda de água pluvial de 30% da demanda total convergiram a partir de séries de 6 anos, também com 8,0% dos resultados diferentes. Para demandas de água pluvial de 40% e 50% do consumo total, houve convergência com séries de 3 anos, ambos com 3,6% dos resultados diferentes.

Por fim, para Shanwei, as simulações com demanda de água pluvial de 20% do consumo total convergiram a partir do uso de séries de 4 anos, com 0,0% dos resultados diferentes dos da série histórica. Demandas de água pluvial de 30% e 50% do consumo total convergiram a partir do uso de séries com 15 anos, com 4,5% dos resultados diferentes. Para simulações com demanda de água pluvial de 40% do consumo total, houve

convergência a partir do uso de séries com 8 anos, apresentando 5,6% dos resultados diferentes.

Então, é possível perceber que há uma grande variabilidade dos tamanhos de séries temporais que alcançaram a convergência de similaridade com a série histórica, dependendo da cidade.

Em alguns casos, observa-se que a similaridade de resultados aumenta conforme a demanda de água pluvial aumenta. Porém, em outros casos, a similaridade diminui com o aumento da demanda de água pluvial, e, em outros casos ainda, há uma variabilidade disforme com a mudança da demanda de água pluvial, como é o caso de Nova Iorque (com convergência em 1, 20, 2 e 15 anos), Quebec (com convergência em 9, 1, 15 e 4 anos) e Shanwei (com convergência em 4, 15, 8 e 15 anos). Percebe-se, portanto, que apesar da demanda de água pluvial ser determinante para a reprodução de resultados de potencial de economia similares aos da série histórica (seção 4.3), quando se trata do dimensionamento do volume ideal de reservatório, esta demanda não tem uma influência clara. Esta variabilidade é dependente da demanda de água pluvial e pode ser explicada devido ao critério de definição do volume ideal do reservatório. Neste estudo foi adotado como critério uma diferença entre potenciais de economia de água potável de dois reservatórios subsequentes. Quando a diferença entre potenciais de economia for menor ou igual a 5,0% em relação ao volume anterior, adota-se o volume de reservatório em questão. Como este critério é um critério fixo, pode causar esta variação nos resultados. Imteaz *et al.* (2011) analisaram a otimização de dimensionamento de reservatórios de água pluvial e concluíram que é importante que o critério de dimensionamento varie conforme a demanda de água pluvial. Portanto, esta relação deve ser estudada mais profundamente.

A Tabela 9 apresenta um resumo dos tamanhos de série temporal curtas que foram considerados representativos, ou seja, que convergiram para o mesmo resultado da série histórica, na avaliação indicador volume ideal de reservatório.

Tabela 9 – Tamanho das séries temporais curtas consideradas adequadas a representar resultados similares aos da série histórica, com base na análise do volume ideal do reservatório.

Cidade	Tamanho da série temporal (anos)			
	Demanda de água pluvial (% da demanda total)			
	20	30	40	50
Alexandria	5	5	15	7
Barcelona	20	15	10	15
Berlim	10	3	9	5
Dar-El-Beida	20	15	15	20
Darwin	20	20	20	20
Encarnación	2	4	4	7
Moscou	8	4	15	6
Nova Iorque	1	20	2	15
Paris	15	8	15	15
Quebec	9	1	15	4
Santarém	15	6	8	8
Santo Amaro	2	6	3	3
Shanwei	4	15	8	15

#### 4.4.2. Potencial de economia ideal

Os resultados de potencial de economia ideal de água potável são apresentados, por cidade, no Apêndice D deste trabalho. Também são apresentados no Apêndice D gráficos que expressam a similaridade entre os resultados de séries curtas com séries históricas. As Figuras 18, 19 e 20 apresentam os resultados para as cidades de Alexandria, Nova Iorque e Encarnación, que exemplificam os resultados obtidos.

Figura 18 – Frequência com a qual o potencial de economia ideal de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Alexandria.

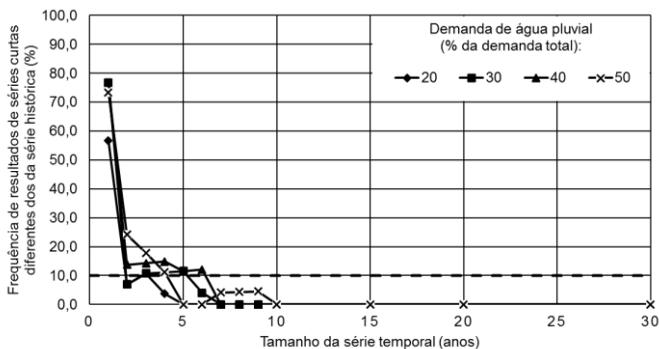


Figura 19 – Frequência com a qual o potencial de economia ideal de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Nova Iorque.

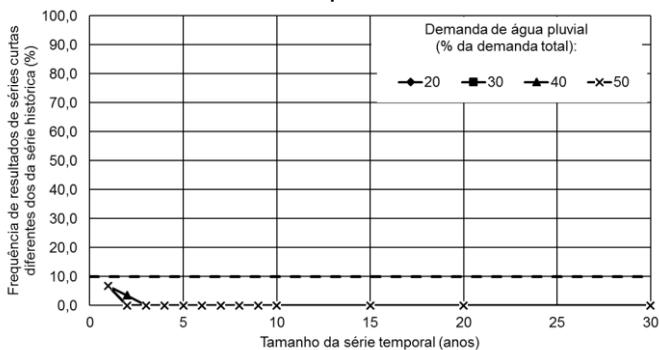
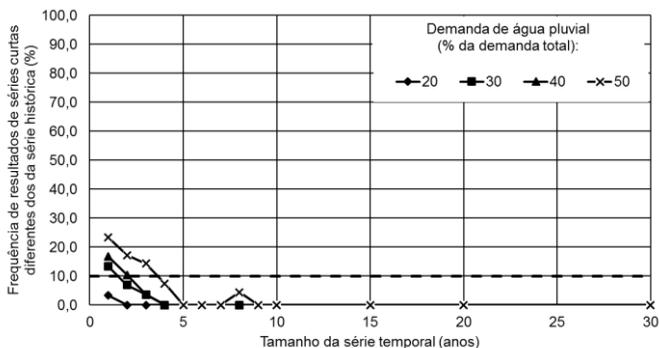


Figura 20 – Frequência com a qual o potencial de economia ideal de séries temporais curtas é igual ao da série histórica em Encarnación.



A partir das diferenças entre resultados da série temporais curtas com a série histórica, tanto apresentados no Apêndice D quanto pelos gráficos demonstrados, é possível avaliar o que ocorre em cada cidade analisada, e quando há convergência.

Os resultados da cidade de Alexandria apresentaram grande variação nas séries de 1 ano, e uma grande diminuição de variação nas séries de 2 anos em diante. Para demanda de água pluvial de 20% da demanda total, notou-se convergência do resultado para o resultado semelhante ao da série histórica a partir de 4 anos, com diferença média de resultados de 3,7% dos resultados diferentes. Para demanda de água pluvial de 30% da demanda total, 6 anos, com 4,0% de resultados diferentes. Para demanda de água pluvial de 40% da demanda de água potável, notou-se convergência do resultado apenas com séries de 7 anos, com 0,0% de diferença, e para demanda de água pluvial de 50% da demanda total, 5 anos, também com 0,0% de resultados diferentes.

Para a cidade de Nova Iorque, em todas as demandas de água pluvial avaliadas, séries de 1 ano apresentaram resultados de potencial de economia ideal significativamente semelhantes aos da série histórica, todos com 6,7% dos resultados diferentes.

Nas simulações de Encarnación, notou-se pouca variabilidade já nas séries mais curtas. Para demanda de água pluvial de 20% da demanda total, a convergência deu-se em séries de 1 ano (com 3,3% dos resultados diferentes) e para demanda

de água pluvial de 30% da demanda total, 2 anos (com 6,9% de resultados diferentes). Para demanda de água pluvial de 40% da demanda total, 3 anos foi o suficiente (com 3,6% dos resultados diferentes), e 50% de demanda de água pluvial, 4 anos (com 7,4% dos resultados diferentes).

Para os resultados das demais cidades, apresentadas no Apêndice D também notou-se variabilidade de cidade a cidade.

Para a cidade de Barcelona, notou-se convergência em séries de 3 anos (demanda de água pluvial de 20% da demanda total, 7,1% de resultados diferentes), 5 anos (demanda de água pluvial de 30% da demanda total, 3,8%), e 8 anos (demandas de água pluvial de 40% e 50% da demanda total, com 8,7% de resultados diferentes para ambos).

Nas simulações de Berlim, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total notou-se convergência apenas em séries de 8 anos, com, respectivamente 8,7% dos resultados diferentes, e para demanda de água pluvial de 40% da demanda total, 9 anos, com 4,5% de resultados diferentes. Para demandas de água pluvial de 30% e 50% da demanda total, notou-se convergência em 7 anos, com, respectivamente, 8,3% e 4,2% de resultados diferentes em relação aos da série histórica.

Para a cidade de Dar-El-Beida, nota-se grande variabilidade dos resultados, em todas as demandas de água pluvial de avaliadas, com convergência em resultados de séries de 5 anos, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total (com 7,7% de resultados diferentes), 7 anos para 30% (com 4,2%), 7 anos para 40% (9,5%) e 30 anos para 50% (sem convergência).

Para Darwin, para as demandas de água pluvial de 20% e 40% da demanda total, não houve convergência nos resultados, pois em simulações de séries com 20 anos, ainda havia mais de 10% de resultados diferentes. Para a demanda de água pluvial de 30% e 50% da demanda total observou-se convergência em séries de 20 anos, com 0,0% dos resultados diferentes.

Para Moscou, para as demandas de água pluvial de 20%, 30% e 50% da demanda total, séries de 1 ano apresentaram resultados de potencial de economia ideal significativamente semelhantes aos da série histórica, com, respectivamente, 3,3%, 3,3% e 6,7 dos resultados diferentes. Para demanda de água pluvial de 40% da demanda total, a convergência notou-se com o uso de séries de 4 anos, com 7,1% dos resultados diferentes.

Para Paris, as simulações com 1 ano apresentaram resultados semelhantes para demanda de água pluvial de 20% e 40% da demanda total, ambos com 3,3% dos resultados diferentes. Para 30 e 50% de demanda de água pluvial, 4 anos foi o suficiente, com diferença média de 7,4% e 3,7%, respectivamente.

Para a cidade de Quebec, em todas as demandas de água pluvial de avaliados, séries de 1 ano apresentaram resultados de potencial economia ideal significativamente semelhantes aos da série histórica. A frequência de resultados diferentes foi de 3,3% (20% de demanda de água pluvial), 3,3% (30% de demanda de água pluvial), 0,0% (40% de demanda de água pluvial) e 10,0% (50% de demanda de água pluvial).

Para Santarém, as simulações com demanda de água pluvial de 20% da demanda total convergiram com séries de 15 anos, com frequência de 0,0% dos resultados diferentes. As simulações de 30% e 40%, convergiram com séries de 8 anos, com 4,5% e 8,7% de resultados diferentes. As simulações de 50% convergiram com 9 anos, com 4,5% dos resultados diferentes.

Para a cidade de Santo Amaro em todas as demandas de água pluvial avaliadas, séries de 1 ano apresentaram resultados de potencial economia ideal significativamente semelhantes aos da série histórica. A frequência de resultados diferentes foi de 0,0% (20% de demanda de água pluvial), 3,3% (30% de demanda de água pluvial), 10,0% (40% de demanda de água pluvial) e 3,3% (50% de demanda de água pluvial).

Para Shanwei, as simulações com demanda de água pluvial de 20% da demanda total convergiram com séries de 7 anos, com 7,7% dos resultados diferentes. As simulações de 30% convergiram com o uso de séries de 10 anos, com 0,0% de resultados diferentes. Para demanda de água pluvial de 40% da demanda total, houve convergência com 8 anos, com 4,3% dos resultados diferentes, e para 50% de demanda de água pluvial, 15 anos, com 0,0% de resultados diferentes.

Discussões semelhantes às obtidas para volume ideal de reservatório podem ser feitas para potencial de economia ideal, uma vez que são resultados interdependentes. Entretanto, percebe-se que os tamanhos de séries temporais curtas capazes de reproduzir resultados de potencial de economia ideal similares aos da série histórica foram menores que os tamanhos necessários para reproduzir resultados de volume ideal de

reservatório. Isso significa que séries curtas geram potencial de economia ideal similares aos da série histórica, independente se o volume ideal do reservatório da série curta é igual ou não ao volume ideal de reservatório da série histórica. Portanto, este resultado indica que os tamanhos representativos de séries encontrados para o indicador potencial de economia ideal não devem ser considerados isoladamente, pois fornecem resultados muito baixos em relação aos demais indicadores.

Disparidades nos resultados foram percebidas para Dar-El-Beida e Darwin. A cidade de Dar-El-Beida teve um resultado discrepante para a demanda de água pluvial de 50% da demanda total, não apresentando similaridade suficiente entre os resultados de séries temporais curtas e séries históricas. A cidade de Darwin teve convergência apenas com o uso de séries de 20 anos, para demanda de água pluvial de 30% e 50% da demanda total, e não convergiu para demandas de água pluvial de 20% e 40%. Estes resultados podem ser explicados pelo comportamento particular do clima nessas duas cidades. Percebeu-se que tanto Dar-El-Beida quanto Darwin, além de possuírem alta quantidade média anual de dias sem precipitação, apresentam um grande período com baixa ou quase nula precipitação, conforme demonstrado pela Figura 5 (seção 4.1). Portanto, caracteristicamente nessas regiões, há um elevado número consecutivo de dias sem chuva. Alguns trabalhos, como Oliveira *et al.* (2005) e Jennings *et al.* (2010) apontam o número consecutivo de dias sem chuva como importante para caracterização da série temporal de precipitação. Para aproveitamento de água pluvial em edificações, percebe-se especial importância desse fator, uma vez que o volume do reservatório é justamente dimensionado para armazenar água para suprir demandas em dias sem chuva. Um elevado número de dias sem chuva tem como consequência um elevado volume de reservatório.

Além disso, notou-se também que os tamanhos de séries temporais adequados para volume ideal de reservatório (seção 4.4.1) e diferença entre potenciais de economia (seção 4.3), para estas duas cidades em questão, foram muito elevados em comparação com as demais cidades.

Analisando os resultados de todas as cidades, percebe-se também que não há um padrão de variabilidade com o aumento da demanda de água pluvial. Esta ocorrência também pode ser atribuída ao critério de dimensionamento do volume ideal, uma vez

que o potencial de economia ideal é associado ao volume ideal de reservatório. Ressalta-se que esta relação deve ser investigada em trabalhos futuros. A Tabela 10 apresenta um resumo dos tamanhos de séries temporais curtas considerados representativos com relação ao indicador potencial de economia ideal.

Tabela 10 – Tamanho das séries temporais curtas consideradas adequadas a representar resultados similares aos da série histórica, com base no potencial de economia ideal.

Cidade	Tamanho da série temporal (anos)			
	Demanda de água pluvial (% da demanda total)			
	20	30	40	50
Alexandria	4	6	7	5
Barcelona	3	5	8	8
Berlim	8	7	9	7
Dar-El-Beida	5	7	6	30
Darwin	30	20	30	20
Encarnación	1	2	3	4
Moscou	1	1	4	1
Nova Iorque	1	1	1	1
Paris	1	1	4	4
Quebec	1	1	1	1
Santarém	15	8	8	9
Santo Amaro	1	1	1	1
Shanwei	7	10	8	15

#### 4.5. Validação da série temporal representativa

Para a validação do tamanho da série temporal representativa obtida nas análises anteriores, um processo de validação foi executado.

O tamanho de série temporal representativa foi obtido pela comparação entre os tamanhos de séries temporais adequados a representar resultados da série histórica das três análises realizadas (análise quantitativa, análise do volume ideal de

reservatório e análise do potencial de economia ideal). A partir da comparação dos resultados dessas análises, tomou-se o maior valor, buscando-se um tamanho de série temporal que possa ser suficiente para reproduzir os resultados das três análises. Ressalta-se aqui que se buscou um tamanho de série representativo, e não um período representativo, ou seja, foi avaliado um período temporal que agrega características pluviométricas capazes de reproduzir resultados equivalentes as de um período considerado como série histórica. O tamanho de série temporal representativa para cada cidade é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Tamanho representativo das séries temporais curtas por cidade.

Cidade	Tamanho da série temporal (anos)				Tamanho representativo (anos)
	Demanda de água pluvial (% da demanda total)				
	20	30	40	50	
Alexandria	5	6	15	7	15
Barcelona	20	15	10	15	20
Berlim	10	7	9	7	10
Dar-El-Beida	20	15	15	30	30*
Darwin	30	20	30	20	30*
Encarnación	2	4	4	7	7
Moscou	8	4	15	6	15
Nova Iorque	1	20	2	15	15
Paris	15	8	15	15	15
Quebec	9	1	15	4	15
Santarém	15	8	8	9	15
Santo Amaro	2	6	3	3	6
Shanwei	7	15	8	15	15

\* tamanho de série temporal que não convergiu.

Para a validação, buscou-se uma série temporal com tamanho igual ao da série representativa, mas que contemple um período diferente do utilizado no experimento, denominando-se esta série como “série temporal de validação”.

A Tabela 12 apresenta as informações das séries temporais de validação, com a fonte e o período de dados utilizados.

Tabela 12 – Informações das séries temporais utilizadas para validação do tamanho de série representativo.

<b>Cidade</b>	<b>Fonte</b>	<b>Período (anos)</b>
Alexandria	GHCN	1997 - 2012
Barcelona	GHCN	1992 - 2012
Berlim	GHCN	1997 - 2007
Encarnación	GHCN	1940 - 1970
Moscou	GHCN	1997 - 2012
Nova Iorque	GHCN	1992 - 2012
Paris	GHCN	1997 - 2012
Quebec	GHCN	1990 - 2005
Santarém	ANA	2001 - 2016
Santo Amaro	ANA	2009 - 2015
Shanwei	GHCN	1997 - 2012

Ressalta-se que para as cidades de Dar-El-Beida e Darwin, não houve série temporal curta capaz de reproduzir resultados similares em alguns casos. Dessa forma, não foi realizada a validação para estas cidades.

Após a simulação com as séries temporais de validação, os resultados foram comparados com os resultados gerados com a série histórica. Os resultados da validação são apresentados na Tabela 13 para volume ideal de reservatório e para potencial de economia ideal.

Tabela 13 – Resumo dos resultados da validação para as séries temporais de validação.

Cidade	Demanda de água pluvial (% da demanda total)	Volume ideal do reservatório (L)			Potencial de economia ideal (%)		
		Série Histórica	Série temporal de validação	Diferença	Série Histórica	Série temporal de validação	Diferença absoluta
Alexandria	20	4000	4000	0	19,57	19,89	-1,64
	30	4000	4000	0	28,87	28,96	-0,31
	40	5000	5000	0	37,94	38,27	-0,87
	50	6000	5000	1000	45,36	45,89	-1,17
Barcelona	20	5000	5000	0	18,98	19,07	-0,47
	30	5000	6000	-1000	27,66	27,51	0,54
	40	6000	7000	-1000	36,16	35,64	1,44
	50	7000	7000	0	42,84	41,9	2,19
Berlim	20	4000	4000	0	19,82	19,89	-0,35
	30	4000	4000	0	28,81	28,96	-0,52
	40	5000	5000	0	38,09	38,11	-0,05
	50	6000	6000	0	45,91	47,60	-3,68
Encarnación	20	4000	4000	0	20,00	19,63	1,85
	30	5000	5000	0	30,00	28,89	3,70
	40	5000	5000	0	39,96	37,75	5,53
	50	6000	6000	0	45,77	44,85	2,01

Tabela 13 – Resumo dos resultados da validação para as séries temporais de validação (cont.).

Cidade	Demanda de água pluvial (% da demanda total)	Volume ideal do reservatório (L)			Potencial de economia ideal (%)		
		Série Histórica	Série temporal de validação	Diferença	Série Histórica	Série temporal de validação	Diferença absoluta
Moscou	20	4000	4000	0	19,67	19,37	1,53
	30	4000	4000	0	28,23	27,73	1,77
	40	5000	5000	0	37,79	36,59	3,18
	50	5000	5000	0	47,24	43,89	7,09
Nova Iorque	20	3000	3000	0	19,87	19,84	0,15
	30	3000	3000	0	29,26	29,22	0,14
	40	4000	4000	0	39,02	38,96	0,15
	50	4000	4000	0	47,67	47,66	0,02
Paris	20	4000	4000	0	19,84	19,64	1,01
	30	4000	4000	0	28,97	28,57	1,38
	40	5000	5000	0	38,82	37,74	2,78
	50	5000	5000	0	46,19	45,34	1,84
Quebec	20	3000	3000	0	19,95	19,87	0,40
	30	3000	3000	0	29,73	29,38	1,18
	40	3000	4000	-1000	39,07	39,18	-0,28
	50	4000	4000	0	42,06	48,08	-14,31
Santarém	20	4000	4000	0	18,87	19,44	-3,02
	30	4000	4000	0	27,07	27,99	-3,40
	40	4000	4000	0	34,49	35,66	-3,39
	50	4000	4000	0	41,42	42,82	-3,38

Tabela 13 – Resumo dos resultados da validação para as séries temporais de validação (cont.).

Cidade	Demanda de água pluvial (% da demanda total)	Volume ideal do reservatório (L)			Potencial de economia ideal (%)		
		Série Histórica	Série temporal de validação	Diferença	Série Histórica	Série temporal de validação	Diferença absoluta
Santo Amaro	20	3000	3000	0	19,92	19,03	4,47
	30	4000	4000	0	29,35	28,22	3,85
	40	4000	4000	0	37,14	36,49	1,75
	50	4000	4000	0	44,91	44,18	1,63
Shanwei	20	4000	4000	0	17,38	17,36	0,12
	30	5000	5000	0	25,89	25,26	2,43
	40	5000	5000	0	33,20	31,72	4,46
	50	5000	5000	0	39,69	37,55	2,95

A partir de uma perspectiva global, pode-se dizer que os resultados das simulações de validação foram similares aos resultados das séries históricas.

Algumas disparidades foram observadas. Para o indicador volume ideal de reservatório, observou-se diferença nas cidades de Alexandria (para demanda de água pluvial de 50% da demanda total), Barcelona (para demanda de água pluvial de 30% e 40% da demanda total), e Quebec (para demanda de água pluvial de água de 40% da demanda total). Essa diferença pode ser atribuída à margem de erro esperada no método proposto, inerente da variabilidade das variáveis climáticas, adotada como 10% para representação de resultados similares.

Para o indicador potencial de economia ideal também foram percebidas disparidades. Como se trata de uma variável contínua, a diferença relativa em relação ao potencial de economia ideal da série histórica revelou a grandeza das disparidades. A maior diferença relativa observada foi de 5,5% para Encarnación, para a demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Essa diferença também foi atribuída à margem de erro esperada pelo método aplicado. Salvo essa exceção, todos os resultados apresentaram diferença relativa menor que 5%. Este fato indica que o comportamento das curvas geradas com a série de validação foi muito similar ao comportamento da curva da série histórica. Isto é, para o mesmo volume de reservatório simulado, o potencial de economia ideal foi similar, e o incremento do potencial de economia a partir do próximo volume de reservatório simulado também foi similar.

Apesar das disparidades observadas, o processo de validação indica que para cidades com as características pluviométricas semelhantes às das cidades em estudo, os tamanhos de séries temporais considerados como representativos são suficientes para representar séries históricas em simulações de dimensionamento de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

#### 4.6. Análise qualitativa

Foram avaliados os resultados das simulações gerados de cada série curta, em comparação com o resultado gerado com a série histórica. Verificaram-se quais resultados mais se

assemelharam aos resultados gerados com a série histórica, registrando-se o período da série que gerou resultados similares. A partir do período, verificaram-se as características das séries temporais curtas que geraram resultados similares aos da série histórica, e comparou-se com as características da série histórica, analisando quais características essas séries têm em comum. Mais de um resultado se aproximou do resultado da série histórica, porém, foi selecionado o caso que mais se aproximou (maior índice de similaridade), para cada cidade, para séries com 1, 5 e 10 anos, e cada demanda de água pluvial. A Tabela 14 apresenta este resultado.

Tabela 14 – Período das séries temporais curtas cujos resultados foram similares aos da série histórica.

Cidade	Tamanho da série curta (anos)	Demanda de água pluvial (% da demanda total)			
		20	30	40	50
Alexandria	1	1989	1989	1989	1989
	5	1979 - 1983	1980 - 1984	1980 - 1984	1980 - 1984
	10	1977 - 1986	1970 - 1979	1972 - 1981	1986 - 1995
Barcelona	1	1988	1969	1979	1991
	5	1988 - 1992	1979 - 1983	1970 - 1974	1970 - 1974
	10	1979 - 1988	1984 - 1993	1984 - 1993	1984 - 1993
Berlim	1	1986	1983	1983	1989
	5	1984 - 1988	1980 - 1984	1980 - 1984	1980 - 1984
	10	1975 - 1984	1989 - 1998	1984 - 1993	1984 - 1993
Dar-El-Beida	1	1975	1975	1979	1979
	5	1975 - 1979	1989 - 1993	1970 - 1974	1970 - 1974
	10	1975 - 1984	1989 - 1998	1970 - 1979	1989 - 1998
Darwin	1	1979	1979	1979	1979
	5	1983 - 1987	1983 - 1987	1983 - 1987	1983 - 1987
	10	1971 - 1980	1971 - 1980	1971 - 1980	1971 - 1980
Encarnación	1	1970	1970	1970	1970
	5	1978 - 1982	1978 - 1982	1978 - 1982	1978 - 1982
	10	1990 - 1999	1975 - 1984	1975 - 1984	1975 - 1984
Moscou	1	1988	1988	1988	1988
	5	1985 - 1989	1979 - 1983	1976 - 1980	1986 - 1990
	10	1980 - 1989	1978 - 1987	1979 - 1988	1979 - 1988

Tabela 14 – Período das séries temporais curtas cujos resultados foram similares aos da série histórica (cont.).

Cidade	Tamanho da série curta (anos)	Demanda de água pluvial (% da demanda total)			
		20	30	40	50
Nova Iorque	1	1999	1998	1998	1998
	5	1992 - 1996	1999 - 2003	1993 - 1997	1993 - 1997
	10	1992 - 2001	1985 - 1994	1993 - 2002	1985 - 1994
Paris	1	1974	1980	1972	1985
	5	1989 - 1993	1972 - 1976	1972 - 1976	1972 - 1976
	10	1974 - 1983	1982 - 1991	1982 - 1991	1982 - 1991
Quebec	1	1979	1987	1987	1991
	5	1981 - 1985	1968 - 1972	1981 - 1985	1979 - 1983
	10	1972 - 1981	1984 - 1993	1984 - 1993	1984 - 1993
Santarém	1	1987	1986	1982	1982
	5	1986 - 1990	1979 - 1983	1979 - 1983	1979 - 1983
	10	1974 - 1983	1972 - 1981	1972 - 1981	1974 - 1983
Santo Amaro	1	1986	1987	1985	1985
	5	1990 - 1994	1984 - 1988	1983 - 1987	1990 - 1994
	10	1970 - 1979	1970 - 1979	1984 - 1993	1984 - 1993
Shanwei	1	1983	1986	1972	1986
	5	1969 - 1973	1984 - 1988	1970 - 1974	1968 - 1972
	10	1983 - 1992	1978 - 1987	1979 - 1988	1983 - 1992

A partir disso, foram analisadas as características das séries curtas com resultados semelhantes aos da série histórica, e verificado o que essas curvas tem em comum com a série histórica. A análise foi feita por meio da comparação entre os índices de caracterização pluviométrica adotados neste trabalho (precipitação média anual, índice de sazonalidade e quantidade média anual de dias sem precipitação).

As Figuras 21, 22 e 23 apresentam os resultados dessa comparação. As barras coloridas indicam os índices de caracterização pluviométrica das séries curtas que reproduziram resultados mais semelhantes aos da série histórica, e as barras em preto, o índice da série histórica.

Figura 21 – Precipitação média anual das séries curtas que se assemelharam à série histórica.

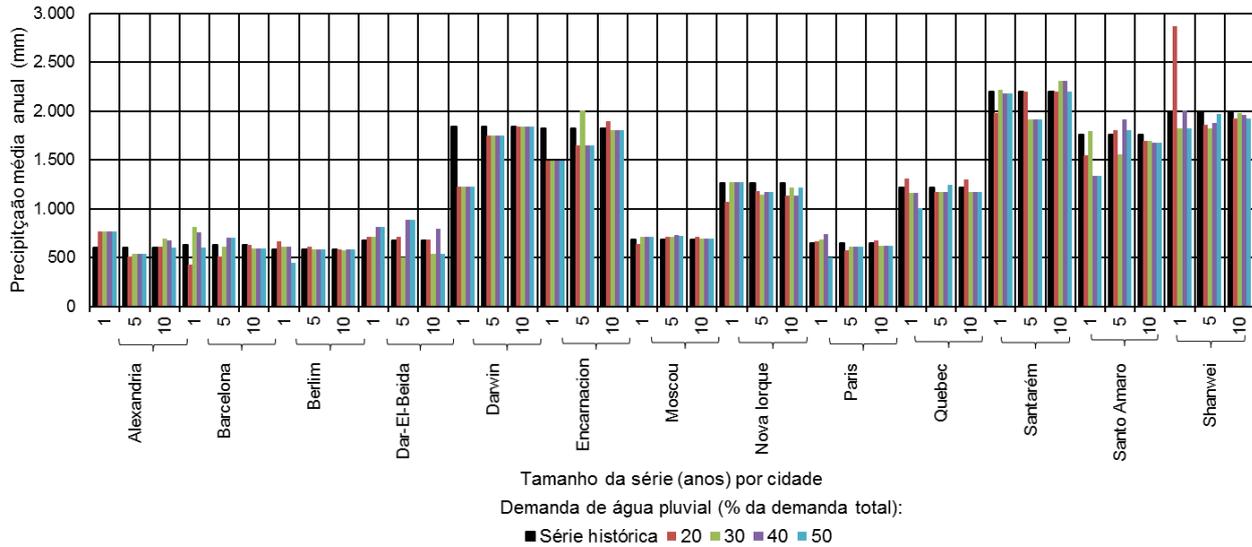


Figura 22 – Índice de sazonalidade das séries curtas que se assemelharam à série histórica.

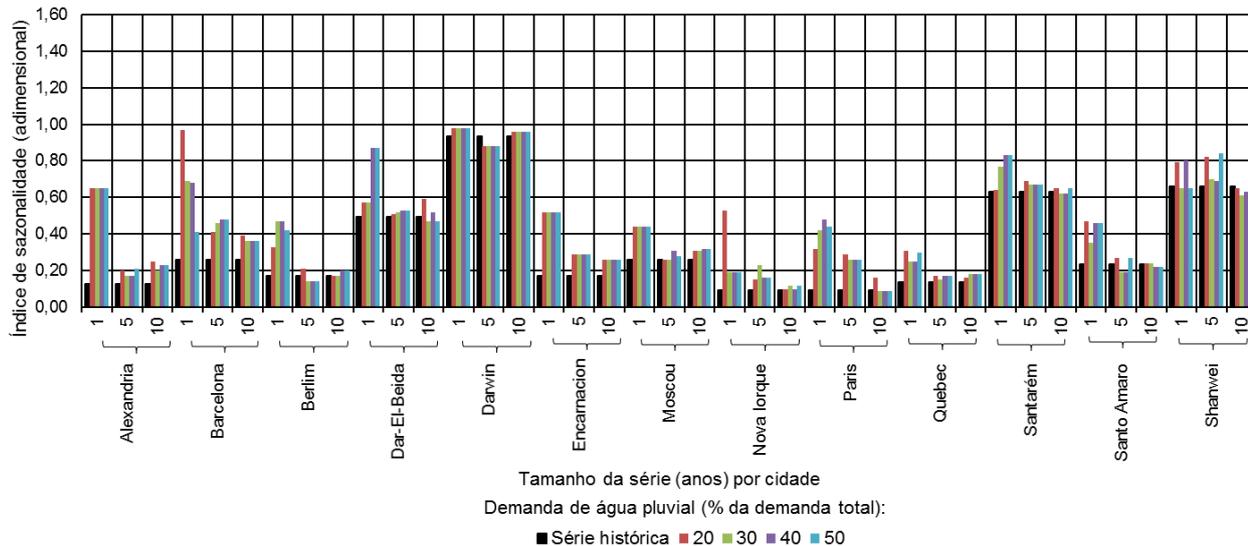
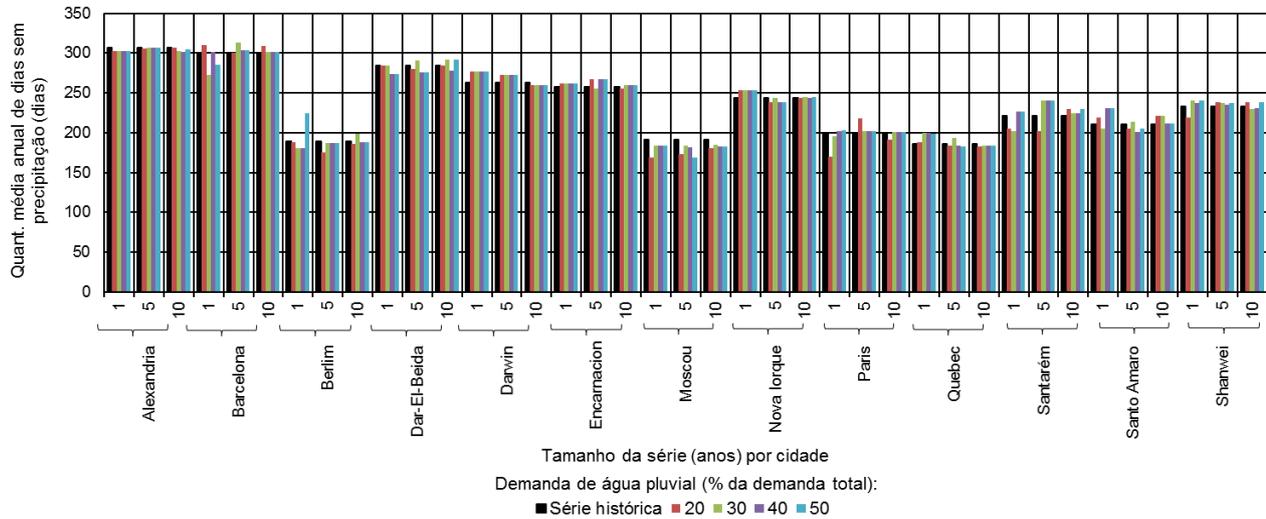


Figura 23 – Quantidade média anual de dias sem precipitação das séries curtas que se assemelharam à série histórica.



Observando a Figura 21, pode-se notar alta variação de precipitação média anual das séries curtas em relação à série histórica, em todas as cidades e tamanhos de série curtas estudados, com variações relativas de -33,3% a 43,6%, em relação à série histórica. Não se notou padrão ou ordem lógica que se relacione com a grandeza de precipitação de cada cidade.

Na Figura 22, também se observou alta variação e dispersão dos índices de sazonalidade das séries curtas em relação à série histórica, com variações relativas de -19,8% a 106,0%, em relação à série histórica. Este comportamento foi notado em todas as cidades e tamanhos de séries curtas estudados. Percebeu-se uma leve proximidade aos índices de sazonalidade da série histórica, indicando que a sazonalidade pode ser influente na representação dos resultados semelhantes da série histórica.

Na Figura 23 pode-se notar alta aderência dos valores de quantidade média anual de dias sem precipitação das séries curtas à linha que representa a quantidade média anual de dias sem precipitação da série histórica. Exceto por alguns casos isolados, todas as cidades e tamanhos de séries curtas estudados tiveram diferença relativa de no máximo 2,0% em reação à quantidade média anual de dias sem precipitação da série histórica. Os casos de maior diferença da quantidade média anual de dias sem precipitação da série curta em relação à série histórica foram observados para Moscou, com diferença de 11,5% para 1 ano, 9,4% para 5 anos e 5,6% para séries de 10 anos (demanda de água pluvial de 20% da demanda total), e Paris, com diferença de -14,6% para 1 ano, -9,3% para 5 anos e 4,0% para 10 anos (demanda de água pluvial de 20% da demanda total).

Para todos os índices avaliados, não foi observado um padrão para as diferentes demandas de água pluvial uma vez que as barras não apresentaram uma ordenação lógica.

Além dessa análise, foi realizada a análise do índice de caracterização pluviométrica da série histórica em relação ao índice de caracterização pluviométrica das séries curtas cujos resultados de simulação se assemelharam à série histórica. Ou seja, para cada índice de caracterização pluviométrica, foram plotados os pontos com coordenadas série histórica *versus* série curta. A partir da verificação da aderência dos pontos à bissetriz, foi possível perceber qual índice de caracterização pluviométrica teve maior influência na utilização de séries curtas para

representar resultados semelhantes aos de séries históricas. As Figuras 24, 25 e 26 apresentam os resultados desta análise.

Figura 24 – Precipitação média anual das séries curtas que se assemelharam à série histórica, em relação à precipitação média anual da série histórica, para as demandas de água pluvial em estudo.

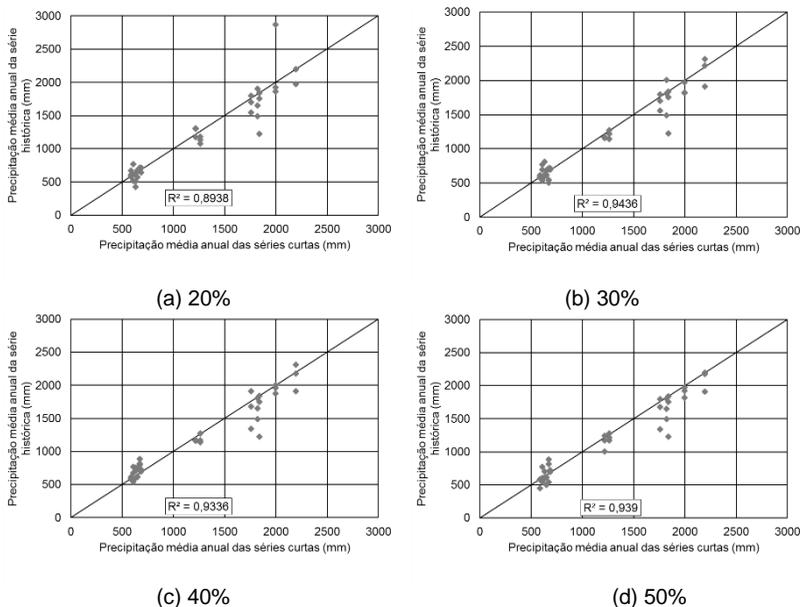


Figura 25 – Índices de sazonalidade das séries curtas que se assemelharam à série histórica, em relação aos índices de sazonalidade da série histórica, para as demandas de água pluvial em estudo.

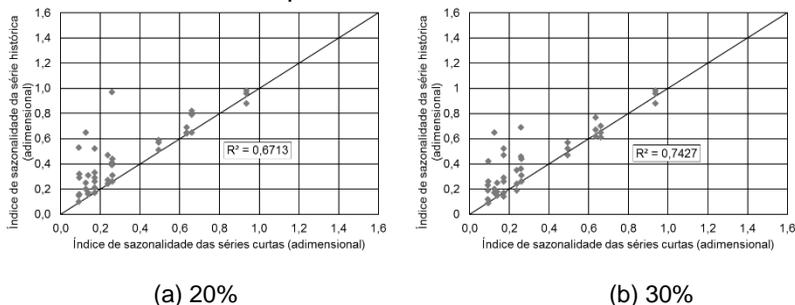
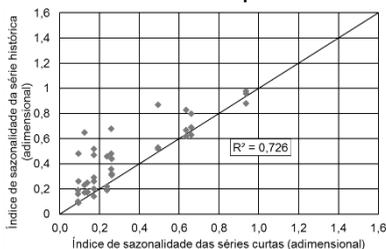
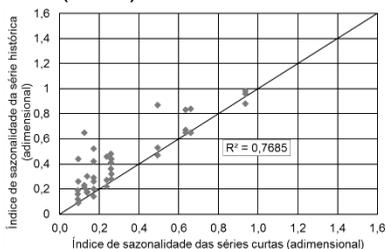


Figura 25 – Índices de sazonalidade das séries curtas que se assemelharam à série histórica, em relação aos índices de sazonalidade da série histórica, para as demandas de água pluvial em estudo (cont.).

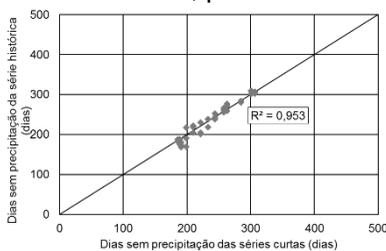


(c) 40%

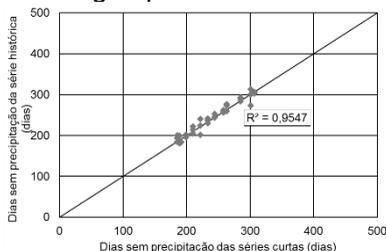


(d) 50%

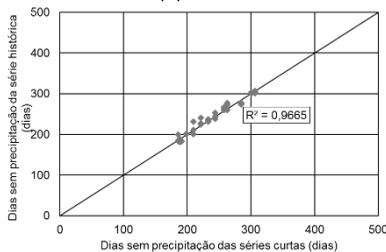
Figura 26 - Quantidade média anual de dias sem precipitação das séries curtas que se assemelharam à série histórica, em relação à quantidade média anual de dias sem precipitação da série histórica, para as demandas de água pluvial em estudo.



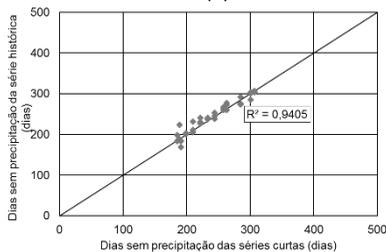
(a) 20%



(b) 30%



(c) 40%



(d) 50%

A partir da Figura 24 pode-se observar que a precipitação média anual apresenta diferentes aderências em relação à

bissetriz. Percebe-se alta aderência à bissetriz nos grupos com baixa precipitação, entre 500 e 1.000 mm por ano, e média, entre 1.000 e 1.500 mm por ano. Para altas valores de precipitação, acima de 1.500 mm por ano, a aderência é baixa.

Na Figura 25 também se observou três grupos distintos, com índices de sazonalidade baixos, médios e altos. Apesar de visualmente a aderência ser menor nos grupos com menor índice de sazonalidade, nota-se que o grupo com médio e alto índices de sazonalidade possuem poucos valores observados. Notou-se, ainda, que a maioria dos pontos observados se situaram acima da bissetriz, indicando que as séries curtas que reproduzem resultados similares aos da série histórica têm índice de sazonalidade menor do que a série histórica.

Observando a Figura 26, notou-se uma boa aderência à diagonal em todas as situações. Ou seja, a maioria dos valores de quantidade média anual de dias sem precipitação das séries curtas que se assemelharam à série histórica foram muito próximos ou iguais aos valores de quantidade média anual de dias sem precipitação da série histórica.

Ao contrário dos demais índices (precipitação média anual e índice de sazonalidade), a quantidade média anual de dias sem precipitação mostrou-se constante e próxima ao valor da série histórica, quando avaliadas simulações com séries curtas com resultados próximos aos resultados de simulações com série histórica.

Para todas as medidas avaliadas, não foi observado um padrão para as diferentes demandas de água pluvial, uma vez que os pontos se apresentaram dispersos e não formaram uma ordenação.

Por meio dos coeficientes de determinação, observou-se que a quantidade média anual de dias sem precipitação é o parâmetro que apresenta mais linearidade na relação quantidade média anual de dias sem precipitação da série histórica *versus* quantidade média anual de dias sem precipitação da série temporal curta considerada similar.

Outra informação importante é a relação entre a grandeza do índice de caracterização pluviométrica e o tamanho de série representativo encontrado na análise quantitativa. Até agora, nas seções anteriores, foram determinados o tamanho de série representativo, capaz de reproduzir resultados similares aos da série histórica (seção 4.4.1); e a característica pluviométrica mais

importante entre uma série que gerou resultados similares aos da série histórica, e da série histórica (seção 4.6). Portanto, foi feito um cruzamento entre essas informações encontradas, buscando-se investigar se a ordem de grandeza dessa característica pluviométrica possui alguma relação com a ordem de grandeza do tamanho de série representativo. Por hipótese: procura-se saber se quanto maior a quantidade média anual de dias sem precipitação, maior é o tamanho de série representativo, ou vice-versa.

Dessa forma, foi feito o cruzamento entre cada índice de caracterização pluviométrica de cada cidade, com o seu respectivo tamanho de série temporal considerado representativo. Com este procedimento, investigou-se a relação entre a grandeza do índice de caracterização pluviométrica e o tamanho da série representativa. As Figuras 27, 28 e 29 apresentam estes cruzamentos.

Figura 27 – Cruzamento entre precipitação média anual e tamanho da série temporal representativa das cidades.

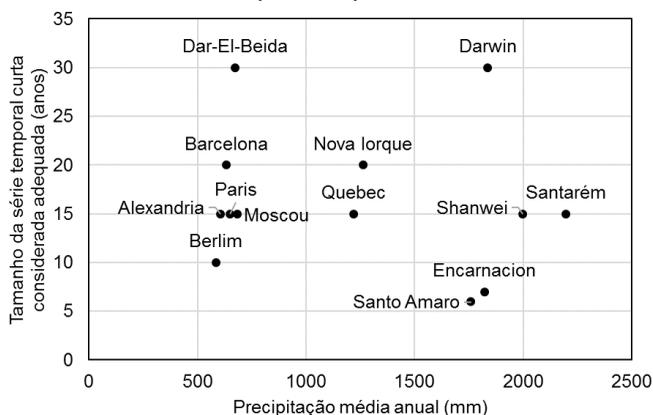


Figura 28 - Cruzamento entre índice de sazonalidade e tamanho da série temporal representativa.

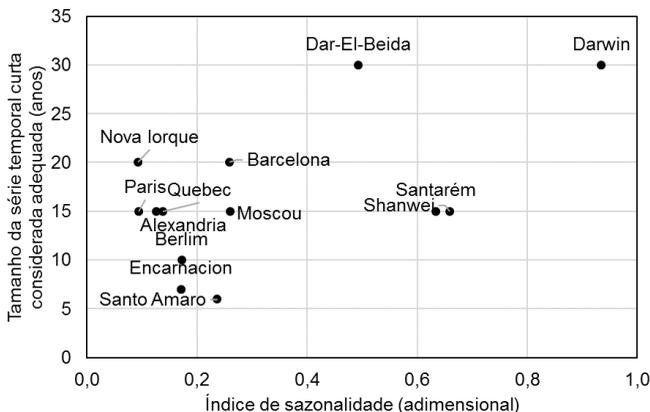
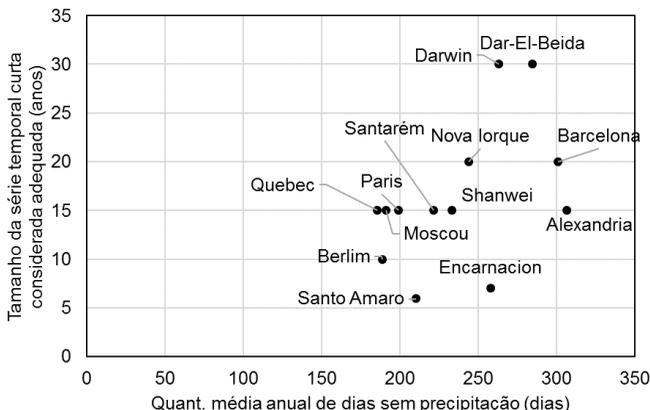


Figura 29 - Cruzamento entre quantidade média anual de dias sem precipitação e tamanho da série temporal representativa.

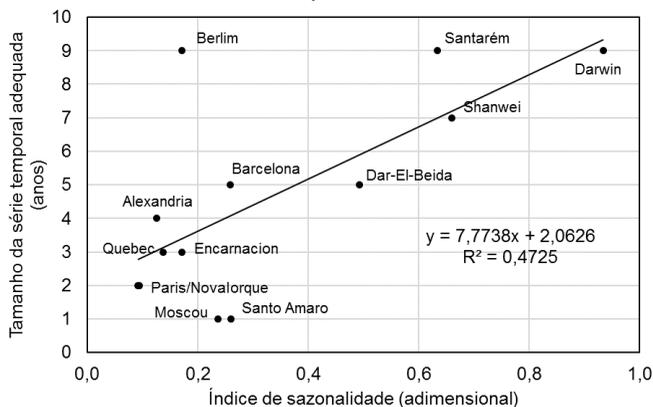


A partir da análise das Figuras 27, 28 e 29, observa-se que apenas no índice de sazonalidade há uma tendência de relação entre a ordem de grandeza e os tamanhos de série temporal representativos obtidos por meio do método aplicado. Percebeu-se que os maiores tamanhos de séries temporais representativos obtidos foram para os maiores índices de sazonalidade observados. Destaca-se que as cidades de Darwin e Dar-El-Beida, que possuem os maiores índices de sazonalidade, não tiveram

resultados suficientes para se determinar um tamanho de série que fosse representativo, ao passo que Santo Amaro e Encarnación resultaram nos menores tamanhos de série representativos, e apresentaram índice sazonalidade baixa.

Lembrando, então, que um tamanho de série representativo foi definido como o maior tamanho entre as três análises propostas (análise quantitativa, volume ideal de reservatório e potencial de economia ideal), infere-se que o critério de dimensionamento, que influencia os dois últimos critérios mencionados, pode ter alterado a relação entre sazonalidade e o tamanho de série representativo. Essa relação pode ser observada na Figura 30, que apresenta um cruzamento entre índice de sazonalidade e tamanho de série temporal adequada, não considerando indicadores de dimensionamento.

Figura 30 - Cruzamento entre índice de sazonalidade e tamanho da série temporal considerado adequado considerando apenas a análise quantitativa.



Observa-se, na Figura 30, uma tendência da relação entre índice de sazonalidade e tamanho de série representativo. Quanto maior o índice de sazonalidade da região, uma série maior de dados é necessária para expressar os resultados obtidos com uma série histórica. Este fato faz sentido, uma vez que a simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial tem grande sensibilidade a dias consecutivos sem precipitação (ou período entre precipitações). Como o reservatório é dimensionamento

para armazenar água pluvial para suprir a demanda em dias sem precipitação, alterações nesses padrões podem resultar em diferenças significativas nos resultados da simulação. Como o regime pluviométrico de séries temporais curtas tem grande variação de série para série, as localidades com maior sazonalidade tendem a serem mais sensíveis a estas variações.

Além disso, percebeu-se que nos casos em que houve similaridade, os valores de quantidade média anual de dias sem precipitação eram muito próximos da quantidade média anual de dias sem precipitação da série histórica. Como a quantidade média anual de dias sem precipitação da série histórica é um valor médio entre as quantidades médias anuais de dias sem precipitação de cada ano que compõe a série, pode-se inferir que, para se utilizar uma série curta, é importante verificar se as quantidades médias anuais de dias sem precipitação dos anos que compõem as séries são uniformes. Quanto mais uniforme for a quantidade anual de dias sem precipitação entre os anos de um período considerado, mais a série temporal composta por estes anos é suscetível em apresentar resultados próximos aos da série histórica.

#### 4.7. Discussão de resultados

A partir dos resultados da análise comparativa quantitativa determinaram-se tamanhos de séries temporais curtas considerados adequados a representar os resultados gerados por séries históricas. Esta análise comparativa foi feita pela diferença entre os potenciais de economia para cada volume de reservatório. Ou seja, foi avaliada a distância entre as curvas potencial de economia *versus* volume do reservatório geradas pela simulação. Os resultados obtidos foram diferentes para cada cidade e para cada demanda de água pluvial avaliada, variando de 1 até 9 anos. Os menores tamanhos de séries foram séries de 1 ano, pois 90% das simulações foram consideradas similares à simulação realizada com a série histórica. As cidades de Moscou e Santo Amaro foram as que apresentaram este resultado. O maior tamanho observado foi Berlim, com 9 anos para todas as demandas de água pluvial. Notou-se uma tendência ao crescimento do tamanho da série à medida que a demanda de água pluvial aumenta. Tomando-se o maior tamanho de série

considerada adequada, por cidade, dentre as demandas de água pluvial, nove cidades ficaram entre 1 e 5 anos (69,2%) e quatro entre 6 anos ou mais (30,8%).

Uma segunda análise foi realizada por meio da comparação entre os indicadores de dimensionamento (volume ideal de reservatório e potencial de economia ideal). Esta análise também mostrou grande variabilidade nos resultados, independente da cidade. Porém, conduziu a resultados mais conservadores, ou seja, foram necessários tamanhos de séries temporais maiores (em relação aos tamanhos obtidos com a análise quantitativa) para representar resultados de volume ideal de reservatório e potencial de economia ideal similares aos da série histórica. Para o indicador volume ideal do reservatório, notou-se uma tendência ao crescimento do tamanho da série à medida que a demanda de água pluvial aumenta. Tomando-se o maior tamanho de série considerada adequada, por cidade, dentre as demandas de água pluvial, nenhuma cidade ficou entre 1 e 5 anos (0,0%), três entre 6 e 10 anos (23,1%), seis entre 11 e 15 anos (46,2%) e quatro entre 16-20 anos (30,8%). Para o potencial de economia ideal, seis cidades ficaram entre 1 e 5 anos (46,2%), três entre 6 e 10 anos (23,1%), duas entre 11 e 15 anos (15,4%) e duas entre 16 e 30 anos (15,4%). Para determinação de uma série representativa, adotou-se o maior tamanho de série temporal curta considerado adequado nas três análises (análise quantitativa, volume ideal de reservatório e potencial de economia ideal). A validação da série representativa mostrou que os resultados obtidos pelas três análises foram satisfatórios, uma vez que puderam ser reproduzidos por séries diferentes das séries avaliadas no estudo.

Notou-se, portanto, grande variabilidade nos resultados, tanto de cidade para cidade, quanto entre demandas de água pluvial.

Associaram-se estes resultados e variabilidades à sazonalidade do regime pluviométrico. Percebeu-se que as cidades de Darwin e Dar-El-Beida, que possuem altos índices de sazonalidade, não convergiram para os resultados da série histórica, ao passo que Santo Amaro e Encarnación, com baixa sazonalidade, resultaram nos menores tamanhos de série representativos. Apesar deste resultado, notou-se que os menores índices de sazonalidade (Nova Iorque e Paris, ambos com 0,09) não apresentaram os menores tamanhos de séries representativas. Além disso, pode-se considerar também como

um fator de variabilidade, o critério de dimensionamento de volume ideal de reservatório. Por se tratar de um critério fixo, dado pela diferença entre potenciais de economia gerados entre dois volumes de reservatório subsequentes (menor ou igual a  $5\%/m^3$ ), a fixação deste critério pode produzir volumes diferentes, dependendo do regime climático. Imteaz *et al.* (2011) analisaram otimização de reservatórios de água pluvial e concluíram que o critério de dimensionamento é muito dependente da sensibilidade do projetista, e pode ser codependente de fatores como demanda de água pluvial ou demanda não suprida.

Apesar da alta variabilidade, 15 anos demonstrou ser um tamanho de série representativo coerente, uma vez que uma série com 15 anos pode ser utilizada para reproduzir resultados similares aos da série histórica em dez das treze cidades analisadas.

O trabalho de Ghisi *et al.* (2012) também realizou uma análise semelhante e chegou a resultados parecidos. A partir dos mesmos critérios utilizados (diferenças de potenciais de economia e frequência dos volumes ideais de reservatório), concluíram que séries de 1 até 7 anos seriam adequadas para representar séries históricas, segundo a diferença dos potenciais de economia, e séries de 13 anos seriam o suficiente para dimensionar o mesmo volume ideal de reservatório. Este estudo foi feito para Santa Barbara do Oeste, em São Paulo, Brasil.

O trabalho de Mitchel (2007), que também avaliou a influência do tamanho de séries temporais de precipitação para simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial, analisou a possibilidade de se utilizar séries de 1 e 10 anos, em comparação com séries de 50 anos. Obteve valores representativos com séries de 10 anos, para cidades de Melbourne, Sydney e Brisbane, na Austrália, com análise apenas da diferença entre os potenciais de economia gerados.

Estudos realizados com outras finalidades determinam um intervalo mínimo de 10 anos na série temporal de precipitação, como é o caso do trabalho de Oliveira *et al.* (2005). Foi desenvolvido um modelo de geração de séries sintéticas de precipitação que partiu de um intervalo mínimo de 10 anos para geração do modelo. O trabalho de Zanetti *et al.* (2005) é uma validação do modelo de geração de séries sintéticas de precipitação proposto por Oliveira *et al.* (2005) e também conta com séries mínimas de 10 anos.

Relacionando os resultados obtidos com o clima, Domeisen *et al.* (2013) identificaram que para fenômenos climáticos cíclicos, como El Niño e La Niña, um período de recorrência médio está entre 2 e 7 anos, a partir de observações dos fenômenos realizadas em uma base de 30 anos (1981 a 2011). Desta forma, os dados de pluviometria passam a ter maior estabilidade e representatividade com séries de no mínimo 7 anos, aumentando as chances de abranger pelo menos um ciclo de um evento climático que altera o regime pluviométrico.

Então, a partir dos trabalhos observados, infere-se que os tamanhos das séries representativas obtidas no presente trabalho são coerentes com os estudos já realizados na área, e podem representar pelo menos um ciclo dos fenômenos climáticos de acordo com os períodos observados.

No que se refere à análise comparativa qualitativa, pode-se notar que precipitação média anual apresentou semelhança entre as séries temporais curtas e série histórica, porém não foi o índice mais significativo. O índice de sazonalidade apresentou baixa relação entre o tamanho de série representativo e a série histórica, porém, notou-se uma variabilidade nos resultados em cidades com maior índice de sazonalidade. Quanto à quantidade média anual de dias sem precipitação, este representou o índice de caracterização pluviométrico mais linear e constante em relação à série histórica. Dessa forma, a medida de caracterização pluviométrica mais importante na utilização de séries temporais curtas para predição de resultados similares a séries históricas é a quantidade média anual de dias sem precipitação. Foi investigada também a possibilidade de associação entre a grandeza dos índices de caracterização pluviométrica e o tamanho de série representativa de cada cidade, porém, o cruzamento entre essas variáveis não demonstrou uma correlação coerente. Porém, notou-se que ao se relacionar o índice de sazonalidade com os tamanhos de séries adequados obtidos apenas com a análise quantitativa, obteve-se uma tendência à relação de maior sazonalidade e maior tamanho de série temporal curta. A inferência realizada, então, foi que, ao se utilizar séries temporais curtas no lugar de séries históricas, os valores de quantidade anual de dias sem precipitação de cada ano dentro da série devem ser uniformes e próximos da média histórica, bem como, quanto menor a sazonalidade, melhor representatividade a série temporal curta tem.

Trabalhos que avaliaram a caracterização das séries de precipitação percebem a influência deste fator também. Oliveira *et al.* (2005) também apontam a quantidade de dias chuvosos e não chuvosos como importante fator na geração de séries sintéticas. Haque *et al.* (2016) estudaram os impactos das mudanças climáticas em sistemas de aproveitamento de águas pluviais, utilizando dados da Austrália (Parramatta, Sydney, Blacktown, Richmond e Katoomba). Perceberam que a contabilização de quantidade de dias chuvosos também é importante, principalmente para a previsão de séries futuras. Ainda, Jennings *et al.* (2010) apontam informações como quantidade de dias chuvosos e não chuvosos, período máximo entre chuvas, além da intensidade pluviométrica, como informações relevantes para a previsão de séries sintéticas de precipitação com alta resolução, utilizadas para outras finalidades.

Relaciona-se, ainda, a quantidade média anual de dias sem precipitação com o período máximo entre chuvas. Esta relação pode ser importante uma vez que determina quanto tempo o reservatório vai permanecer cheio ou vazio. Esta informação é implícita em simulações com séries históricas, porém, é determinante com a utilização de séries curtas.

É importante salientar que a análise deste trabalho não é uma comparação entre a ordem de grandeza dos resultados das simulações, uma vez que não faz sentido comparar ordem de grandeza de diferentes climas. O objeto de comparação é a possibilidade de uma série temporal reproduzir resultados semelhantes a uma série histórica ou não, ou seja, parte-se do princípio que é uma análise relativizada. Todas as análises foram feitas com base em frequência de similaridade, e não com o resultado da simulação em si.

Uma alternativa eficiente à utilização de séries temporais curtas seria a utilização de séries sintéticas. Alguns trabalhos, como Oliveira *et al.* (2005) e Zanetti *et al.* (2005), utilizam séries sintéticas para outras finalidades, como comentado na revisão de literatura. A vantagem de se utilizar séries sintéticas é a incorporação da aleatoriedade nos dados, com a geração de uma continuação da série temporal a partir de um período com dados observados, gerando uma série estatisticamente indistinguível da primeira. Porém, outra questão é que esta série se basearia apenas nos dados observados e probabilidade de suas repetições,

incorporando nunca ou quase nunca as mudanças climáticas que ocorrem.

## 5. CONCLUSÕES

### 5.1. Conclusões

O objetivo deste estudo foi avaliar a possibilidade de utilizar séries temporais curtas no lugar de séries temporais históricas para simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios. Esta avaliação foi feita por meio da comparação entre os resultados de simulações com diversos tamanhos de séries temporais com os resultados de simulações com séries históricas, em 13 cidades de diferentes países. Para cada cidade, foram determinados os índices de caracterização pluviométrica das séries temporais curtas e históricas, e comparados entre si. Dessa forma, pode-se verificar as particularidades de variação do regime de precipitação de acordo com a região (de cidade para cidade) e ao longo do tempo (de série para série).

Após organizados os dados das séries, foram feitas as simulações, a partir de um modelo de simulação, variando-se a demanda de água pluvial.

O método de comparação entre os resultados das simulações consistiu em quatro etapas de análises comparativas: uma análise comparativa quantitativa, duas análises de indicadores de dimensionamento (volume ideal de reservatório e potencial de economia ideal) e uma análise qualitativa.

A partir dos resultados obtidos com a análise comparativa quantitativa, que foi a comparação entre curvas de potencial de economia versus volumes de reservatório, foram obtidos diversos tamanhos de séries temporais adequados a reproduzir os resultados da série histórica, dependendo da cidade. Concluiu-se que o tamanho da série temporal influencia significativamente nestes resultados, e deve-se garantir o uso de um tamanho representativo em simulações de sistemas de aproveitamento de água pluvial. O uso de séries de 9 anos mostrou-se um tamanho suficiente para reproduzir resultados da série histórica, para todas as cidades e casos estudados.

A partir das análises dos indicadores de dimensionamento, também se concluiu que diferentes tamanhos de séries temporais de precipitação podem representar resultados similares aos resultados gerados com a série histórica, dependendo da cidade. Portanto, mais uma vez concluiu-se que o tamanho da série

temporal tem influência significativa no critério de dimensionamento de reservatórios de água pluvial. No entanto, se comparados aos tamanhos de séries adequadas obtidos por meio da análise quantitativa, verificou-se que foram necessárias séries maiores para representar resultados de volume ideal de reservatório similares aos das séries históricas. Além disso, concluiu-se também que o critério de dimensionamento do volume ideal de reservatório pode ter influenciado nos resultados, uma vez que houve variação desuniforme do tamanho de série temporal de acordo com o aumento das demandas de água pluvial.

Por meio da comparação entre as três análises (quantitativa, volume ideal do reservatório e potencial de economia ideal), foram obtidos os tamanhos de séries temporais representativos, para cada cidade em estudo. Os menores tamanhos de séries que puderam representar resultados de séries históricas foram séries de 6 anos (para a cidade de Santo Amaro) e 7 anos (para a cidade de Encarnación). O maior tamanho de série temporal curta que conseguiu representar resultados similares aos da série histórica foi 20 anos, para a cidade de Barcelona. As cidades de Darwin e Dar-El-Beida não tiveram resultados representativos o suficiente com séries temporais curtas, e associou-se este resultado ao regime pluviométrico característico dessas regiões, que é caracterizado não só pelo elevado número de dias sem chuva no ano, mas também pelo fato desses dias constituírem um período consecutivo muito grande.

Concluiu-se, ainda, que a demanda de água pluvial não tem influência clara na possibilidade de uma série temporal curta representar séries históricas. O processo de validação mostrou que os resultados podem ser replicados e coerentes utilizando outros períodos de séries de precipitação, com o mesmo tamanho definido como representativo.

A análise qualitativa mostrou que o índice de caracterização pluviométrica das séries temporais curtas que mais se assemelharam à série histórica é a quantidade média anual de dias sem precipitação. Portanto, concluiu-se, é o índice que mais tem influência ao se adotar uma série temporal curta para reproduzir resultados semelhantes aos da série histórica.

Relacionando-se os tamanhos das séries representativas com a grandeza do índice de caracterização pluviométrica apontado como melhor aderência (quantidade média anual de dias sem precipitação), concluiu-se que não há relação entre a ordem

de grandeza do índice de caracterização pluviométrica e a ordem de grandeza do tamanho da série temporal representativa.

Concluiu-se também que o uso de séries temporais curtas no lugar de séries históricas para simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial é válido e principalmente dependente da caracterização pluviométrica da região. Caso seja simulado um sistema de aproveitamento de água pluvial em cidades com características pluviométricas semelhantes às das cidades avaliadas neste estudo, podem ser considerados tamanhos de série representativas conforme os determinados. Porém, uma análise específica é necessária em casos de caracterização pluviométrica muito diferentes.

Por fim, pode-se concluir que o processo de simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial é complexo e dependente de diversos fatores, parâmetros e variáveis, e que o estudo deve ser aprofundado e expandido de forma a se tornar representativo para outras realidades climáticas.

## 5.2. Limitações do trabalho

As limitações desta pesquisa são apontadas a seguir:

- O modelo adotado neste trabalho representa uma residência unifamiliar com 4 pessoas, de modo que alguns parâmetros foram fixados, como área de coleta, número de moradores, consumo per capita de água potável e coeficiente de escoamento superficial. Dessa forma, o modelo simulado não representa outros tipos de edificações ou casos muito discrepantes de edificações residenciais unifamiliares;
- A simulação foi realizada com intervalo entre volumes de reservatório de 1.000 em 1.000 litros. Esta resolução não contempla volumes intermediários (p.e. 1.500 litros), o que pode acarretar uma perda de sensibilidade em resultados próximos às fronteiras dos intervalos;
- O critério de escolha do volume ideal do reservatório e, conseqüentemente, do potencial de economia ideal de água potável, foi fixado e adotado como 5%/m<sup>3</sup>. A escolha de outro valor deste critério, ou mesmo de outro critério, pode acarretar outras conclusões;

- A partir de séries de 10 anos, optou-se por analisar apenas séries de 15 e 20 anos, não contemplando os tamanhos de séries intermediários entre esses valores. Algum resultado que chegou a 15 anos pode estar entre 10 e 15, e algum resultado que chegou a 20 anos, pode estar entre 15 e 20. Optou-se por esta resolução pois o foco foi investigar a influência de série de até 10 anos;
- Apesar de estarem contempladas nos dados, uma vez que são inerentes do registro das séries de precipitação, as mudanças climáticas não foram investigadas ou mensuradas. Diversas mudanças climáticas vêm sendo observadas, e as séries aqui utilizadas foram séries que abrangem pouco dos anos 2000. Isso resulta em uma abordagem específica, fazendo-se necessário um estudo mais aprofundado neste aspecto.

### 5.3. Sugestões para trabalhos futuros

Para continuação da pesquisa, sugere-se:

- Sugere-se aplicar o método proposto em mais localidades, de forma a abranger outras realidades climáticas;
- Aplicar o método em modelos representativos para outras tipologias, como edificações comerciais, industriais ou residenciais multifamiliares. Casos extremos e variações no modelo podem elucidar novos resultados. Sugere-se, portanto, a aplicação de um método de Monte Carlo para variação dos diversos parâmetros e sua influência na utilização de séries temporais curtas no lugar de séries históricas, para simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial;
- Analisar a influência do uso de séries sintéticas de precipitação em simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial;
- Propor uma equação para o cálculo de um índice de similaridade da série temporal curta com a série histórica, a partir das características mais importantes da série temporal curta. Dessa forma, quando apenas uma série

temporal curta estiver disponível, é possível mensurar a representatividade para que seus resultados sejam significativos.



## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva- Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis- Requisitos. Rio de Janeiro. 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro. 1989.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb** (com dados do inventário atualizado em 24/06/2016). Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?Tocltem=6010>. Acessado em: 28 de junho de 2016.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acessado em: 20 de junho de 2016.

ANNECCHINI, K.P.V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória, ES**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo. 2005.

BASINGER, M., MONTALTO, F.; LALL, U. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. **Journal of Hydrology**, v.392, n.3-4, p.105–118. 2010.

BATISTA, J.A.N.; ANDRADE; E.G.C.; MATTOS, A. Estudo de comparação entre os métodos de Rippl e do eng. Francisco Aguiar: uma análise do aproveitamento da sub-bacia do açude pau dos ferros/RN. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 5, 2000, Natal, Brasil. **Anais...** Natal: ABRH, 2000.

BEN-ZVI, A. Rainfall intensity–duration–frequency relationships derived from large partial duration series. **Journal of Hydrology**, v.367, n(1-2), p.104–114. 2009.

BERG, T. J. **Hinos de todos os países do mundo**. São Paulo: Panda Books. 2008.

BERLIN-BRANDENBURG, Amt fuer Statistik. **Amt fuer Statistik Berlin-Brandenburg. Amt fuer Statistik Berlin-Brandenburg.** 2009. Disponível em: <https://www.statistik-berlin-brandenburg.d>. Acessado em 31 de maio de 2016.

BRASIL. MEC. **Guia do Professor - Conteúdos Digitais.** Audiovisual 10 - Medindo a chuva. Brasília. 2014.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. **Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios.** *IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.* Bahia. 2008.

COOK, S.; SHARMA, A.K.; GURUNG, T.R. Evaluation of alternative water sources for commercial buildings: A case study in Brisbane, Australia. **Resources, Conservation and Recycling**, v.89, p.86–93. 2014.

COOMBES, P.J.; BARRY, M.E. The effect of selection of time steps and average assumptions on the continuous simulation of rainwater harvesting strategies. **Water Science & Technology**, v.55, n.4, p.125. 2007.

CRISTINA, B; MELO, C.; PRADO, R.; REIS, A. Avaliação do volume necessário de descarte de água de chuva escoada sobre coberturas de diferentes materiais. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.1, n.2, p.51–58. 2011.

DOMEISEN, D. I. V.; BUTLER, A. H.; FRÖHLICH, K.; BITTNER, M.; MÜLLER, A. W.; BAEHR, J. Seasonal Predictability over Europe Arising from El Ni ño and Stratospheric Variability in the MPI-ESM Seasonal Prediction System. **Journal of Climate**, v.28, p.256–272. 2013.

DOTTO, C.B.S.; DELETIC, A.; FLETCHER, T.D. **Analysis of uncertainty in flow and water quality from a stormwater model.** 11th International Conference on Urban Drainage. Escócia. 2008.

FENDRICH, R. **Dimensionamento de reservatórios de retenção e utilização das águas pluviais.** 2004. 28p. Relatório técnico - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba. 2004.

FEWKES, A. A review of rainwater harvesting in the UK. **Structural Survey**, v.30, n.2, p. 174 – 194. 2012.

GHISI, E. Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. **Water Resources Management**, v.2, n.10, p.2381–2403. 2010.

GHISI, E.; BRESSAN, D.L.; MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. **Building and Environment**, v.42, n.4, p.1654-1666. 2007.

GHISI, E.; CARDOSO, K. A.; RUPP, R. F. Short-term versus long-term rainfall time series in the assessment of potable water savings by using rainwater in houses. **Journal of environmental management**, v.100, p.109–19. 2012.

GHISI, E; CORDOVA, M. M. Analysis of Potable Water Savings Using Behavioural Models. **Water Conservation**. Dr. Manoj Jha (Ed.). ISBN: 978-953-307-960-8. InTech. 2011.

Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/water-conservation/analysis-of-potable-water-savings-using-behavioural-models>. Acessado em: 03 de abril de 2017.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4. Manual do Usuário**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2014.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4. Programa computacional**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2014.

GHISI, E.; FERREIRA, D.F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v.42, v.7, p.2512–2522. 2007.

GHISI, E.; SCHONDERMARK, P.N. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. **Water Resources Management**, v.27, n.7, p.2555–2576. 2013.

GOOGLE MAPS. Google Maps (aplicativo Google Inc.). Disponível em: [google.maps.com/](http://google.maps.com/). Acesso em 17 de fevereiro de 2017.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva**. Curitiba: Organic Trading Editora. 2002.

HAMMERSLEY, J.M.; HANDSCOMBE, D.C. **Monte Carlo methods**. London: Methuen. 1964.

HAQUE, M. MD.; RAHAMAN, A.; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. **Journal of Cleaner Production**, v.137 p.60-69. 2016.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, v.1, n.4, p.307–316. 2000.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **SIDRA – Sistema IBGE de recuperação automática**. 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=25&i=P&c=1395>. Acessado em: 15 de setembro de 2015.

IMTEAZ, M.A.; SHANABLEH, A.; RAHMAN, A.; AHSAN, A. Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. **Resources Conservation and Recycling**, v.55, p.1022–1029. 2011.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acessado em: 20/06/2016.

JENNINGS, S. A.; LAMBERT M. F.; KUCZERA, G. Generating synthetic high resolution rainfall time series at sites with only daily rainfall using a master–target scaling approach. **Journal of Hydrology**, v.393, p163-173. 2010.

JENKINS, D.; PEARSON, F.; MOORE, E.; SUN, J. K. & VALENTINE, R. Feasibility of rainwater collection systems in California. **Californian Water Resources Centre**, University of California, USA. 1978.

JENKINS, G. A. Use of continuous simulation for the selection of an appropriate urban rainwater tank. **Australian Journal of Water Resources**, v.11(2), p.231-246, 2007.

LIAW, C.H.; CHIANG, Y.C. Dimensionless analysis for designing domestic rainwater harvesting systems at the regional level in Northern Taiwan. **Water**, v. 6 n.12, p.3913–3933. 2014.

MATHIS, J.E. The rationale for reservoirs. In: GEORGIA WATER RESOURCES CONFERENCE, 2003, Georgia, United States. **Proceedings...** Georgia: University of Georgia. 2003.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo. 2004.

MCMAHON, T.A.; MEIN, R.G.. **Reservoir Capacity and Yield**. Elsevier Scientific Publishing Company: Nova Iorque. EUA. 1978.

MITCHEL, V. G. How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behaviour modelling? **Hydrological Process**, n.21, p.2850-2861, 2007.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C., HUBELE, N. F. **Estatística Aplicada à Engenharia**. 2ª edição, Rio de Janeiro: Editora LTC. 2004.

MROWIEC, M. **Potentials of rainwater harvesting and utilization in Polish households**. 11th International Conference on Urban Drainage. Escócia. 2008.

NASCIMENTO, P. H. R.; MORUZZI, R. B. **Programa computacional de suporte à decisão para cálculo de reservatório de armazenamento em sistemas de captação e aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas**. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo. 2009.

OLIVEIRA, V. P. S.; ZANETTI, S. S.; PRUSKI, F. F. CLIMABR Parte I: Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.348-355, 2005.

OMM. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA. **Calculation of monthly and anual 30-year standard normals. Geneva, 1989.** (WMO, technical document, n. 341; WCDP, n. 10). 1989.

ROCHA, L.V. **Validação do algoritmo do programa netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2009.

RUPP, R. F.; MUNRAIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 47-64. 2011.

SABESP. **Crise Hídrica, Estratégias e Soluções da SABESP para a região metropolitana de São Paulo.** São Paulo, 2015. Disponível em:

[http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/crisehidrica/chess\\_crise\\_hidrica.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/crisehidrica/chess_crise_hidrica.pdf). Acessado em: 20 de maio de 2016.

SANTOS, C.; TAVEIRA-PINTO, F. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 71, p. 1-6. 2013.

SHIKLOMANOV, I. A. **World Water Resources. A new appraisal and assessment for the 21st century.** São Petersburgo, Rússia. 1998.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of daily potable water demand on the performance evaluation of rainwater harvesting systems in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, v. 180, p. 82-93. 2016.

SILVA C. M.; SOUSA, V.; CARVALHO, N. V. Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 94, p. 21-34. 2015.

SILVA, L. P.; MACRAE, F.R.; GOME, M. M.; CERQUEIRA, L. F. F.; ROSA, E. U.; MORAES, M. F. **HIDROCIDADES - Cities, Quality of Life and Water Resources: Integrated Water Resources Management and Urban Planning for Low-Land Region of**

**Jacarepaguá, Rio de Janeiro, Brazil.** 11th International Conference on Urban Drainage. Escócia. 2008.

SOUZA, E.L.; GHISI, E. Potable water savings by using rainwater for non-potable uses in houses. **Water**, v.4, n.3, pp.607–628. 2012.

SU, M. D.; LIN, C. H.; CHAN, L. F.; KANG, J. L.; MEI, M. C. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. **Resources, Conservation and Recycling**, v.53, n.7, p.393–399. 2009.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis.** São Paulo: Navegar Editora. 2003.

YOUN, S.; CHUNG, E. S.; KANG, W. G.; SUNG, J. H. Probabilistic estimation of the storage capacity of a rainwater harvesting system considering climate change. **Resources, Conservation and Recycling**, v.65, p.136–144. 2012.

VILLARREAL, E.L.; DIXON, A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. **Building and Environment**, v.40, n.9, p.1174–1184. 2005.

VILLIERS, M. **Água: como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI.** Rio de Janeiro: Ediouro. 2002.

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

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Water Informations.** Disponível em: <http://www.wri.org/our-work/topics/water>. Acessado em: 15 de janeiro de 2016.

WORLD WEATHER INFORMATION SERVICES. **Climate Figures.** Disponível em: <http://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=59>. Dados de outubro de 2006. Acessado em 20 de maio de 2016.

ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, V. P. S.; PRUSKI, F. F. Validação do modelo climabr em relação ao número de dias chuvosos e à

precipitação total diária. **Eng. Agríc.** vol.26 no.1 Jaboticabal Jan./Apr. 2006. On-line version ISSN 1809-4430.

ZHANG, Y.; CHEN, D.; CHEN, L.; ASHBOLT, S. Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. **Journal of environmental management**, v.91, n.1, p.222–6. 2009.

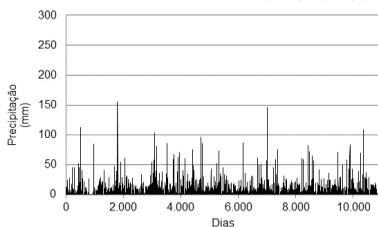
## APÊNDICES



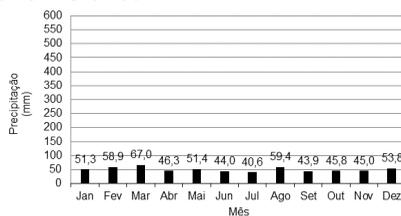
## **APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS**

## ALEXANDRIA

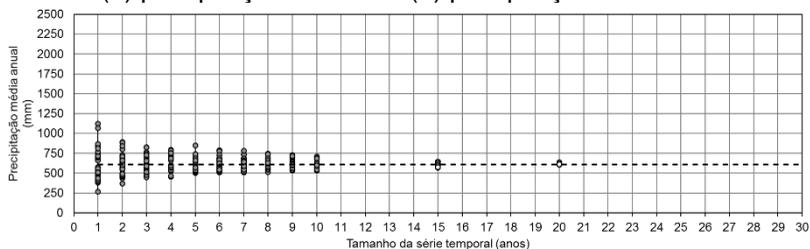
Figura A.31 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Alexandria. A linha tracejada representa o valor da série histórica.



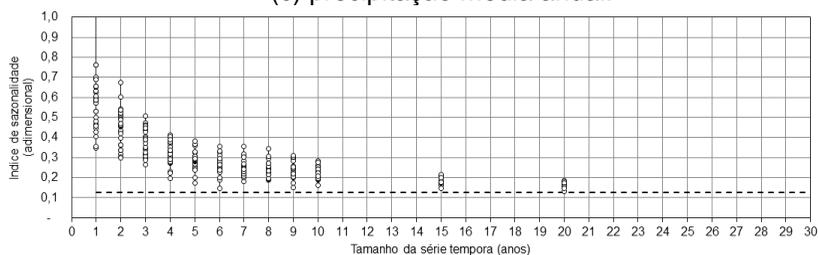
(a) precipitação diária



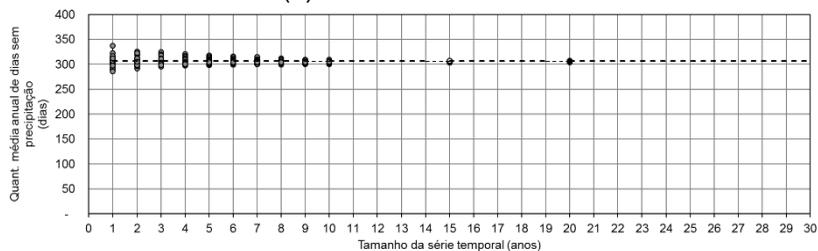
(b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



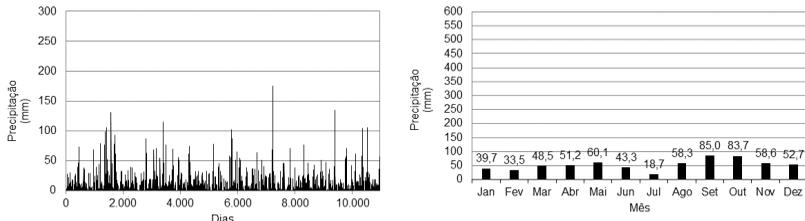
(d) índice de sazonalidade.



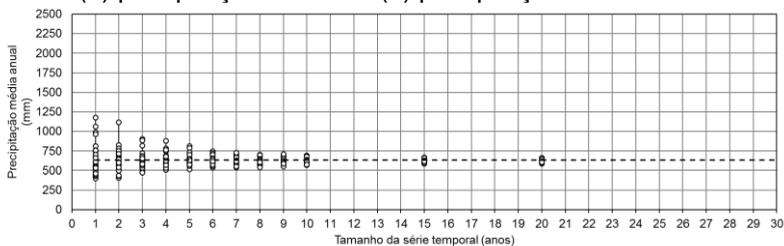
(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

## BARCELONA

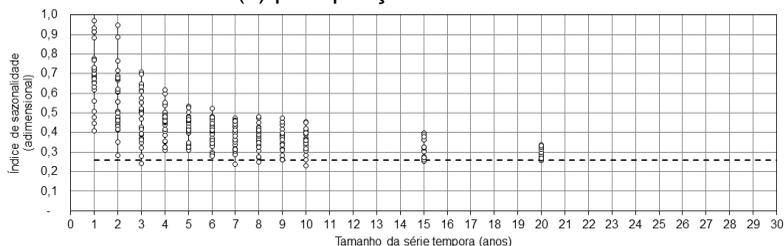
Figura A.2 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Barcelona. A linha tracejada representa o valor da série histórica.



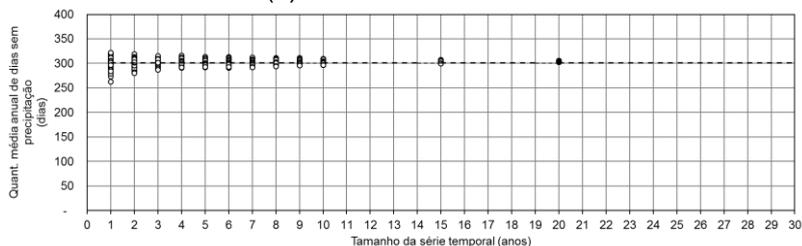
(a) precipitação diária (b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



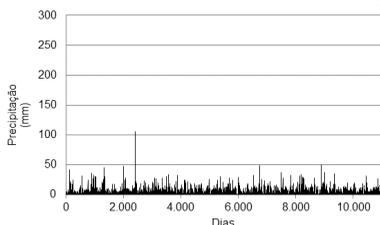
(d) índice de sazonalidade.



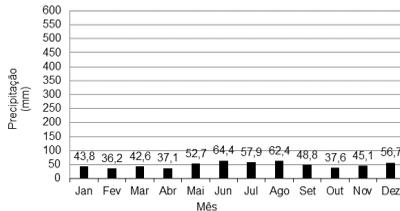
(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

## BERLIM

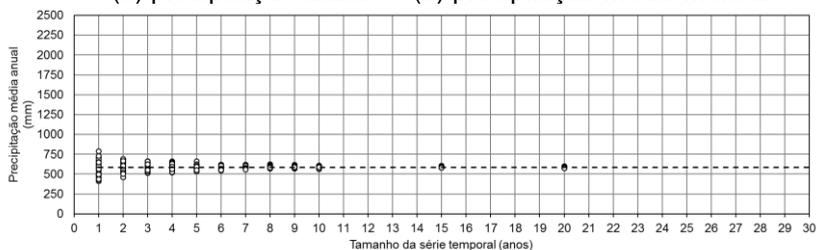
Figura A.3 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Berlim. A linha tracejada representa o valor da série histórica.



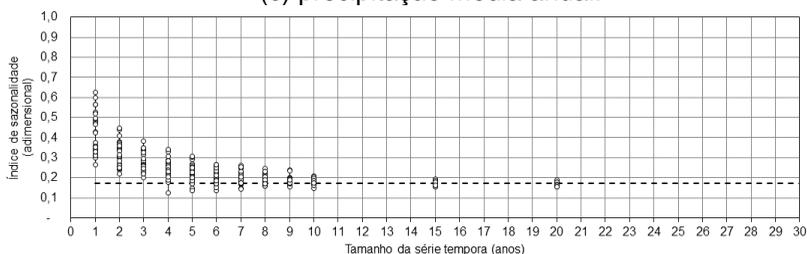
(a) precipitação diária



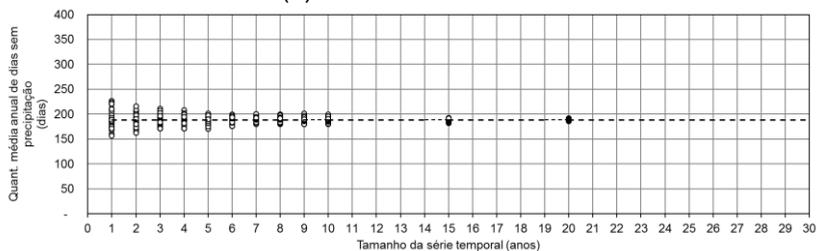
(b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



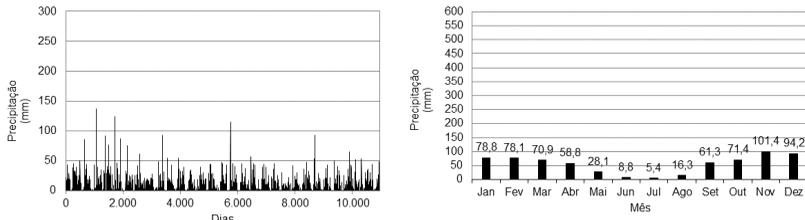
(d) índice de sazonalidade.



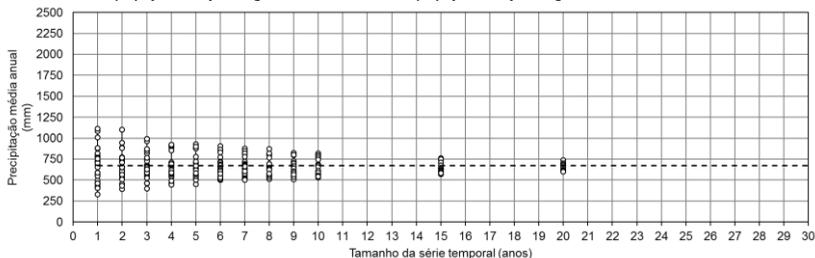
(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

## DAR-EL-BEIDA

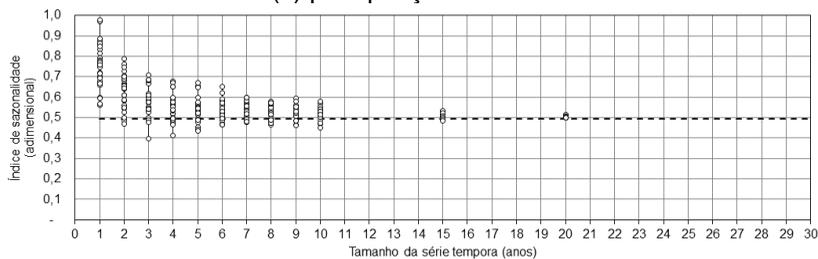
Figura A.4 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Dar-El-Beida. A linha tracejada representa o valor da série histórica.



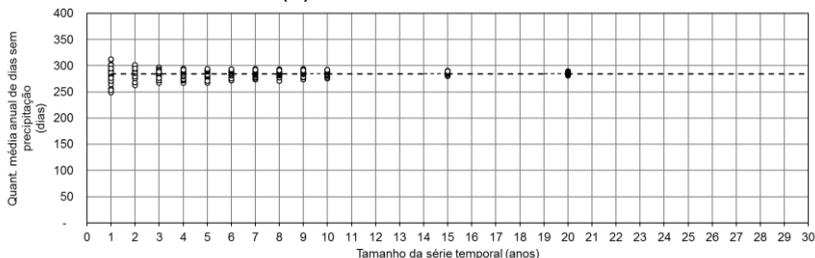
(a) precipitação diária      (b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



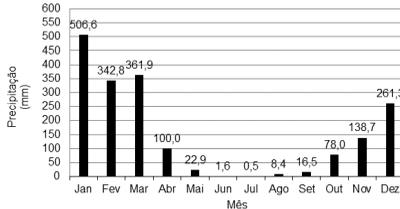
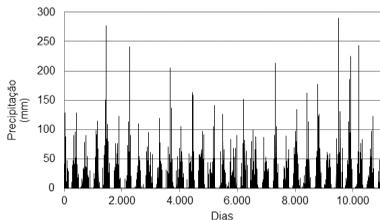
(d) índice de sazonalidade.



(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

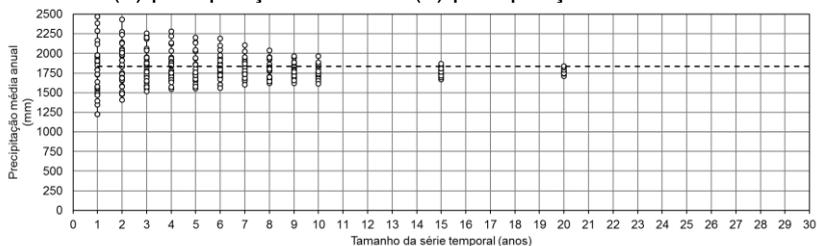
## DARWIN

Figura A.5 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Darwin. A linha tracejada representa o valor da série histórica.

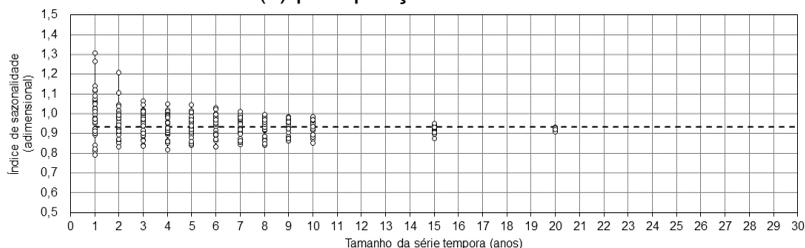


(a) precipitação diária

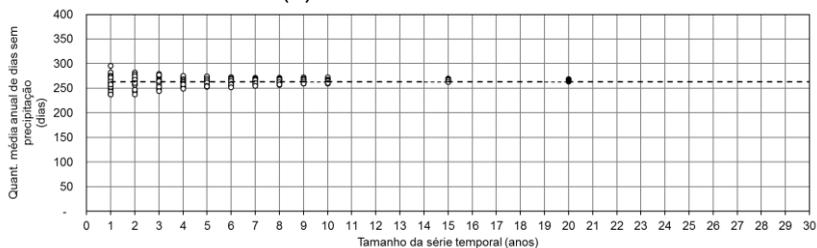
(b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



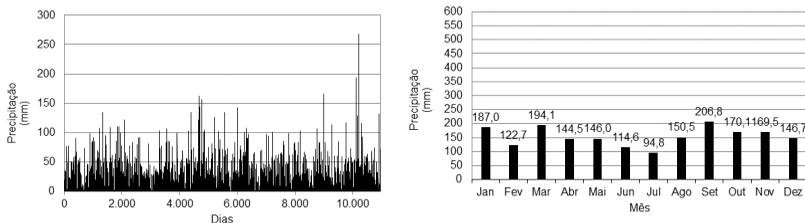
(d) índice de sazonalidade.



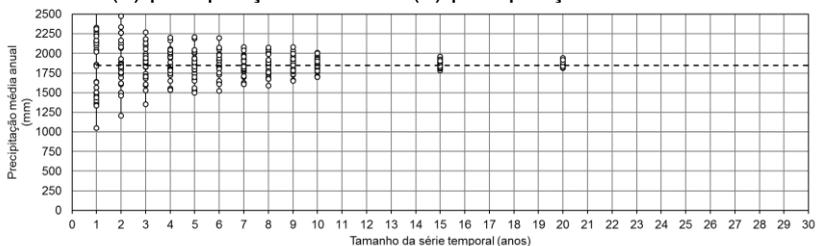
(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

## ENCARNACIÓN

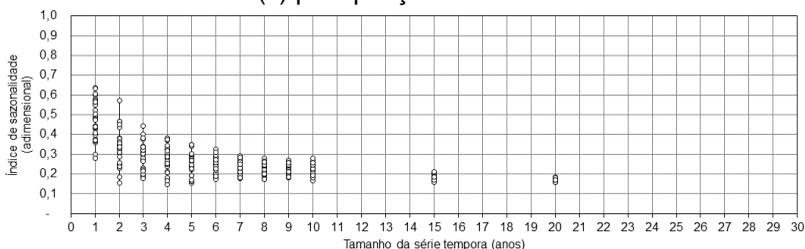
Figura A.6 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Encarnación. A linha tracejada representa o valor da série histórica.



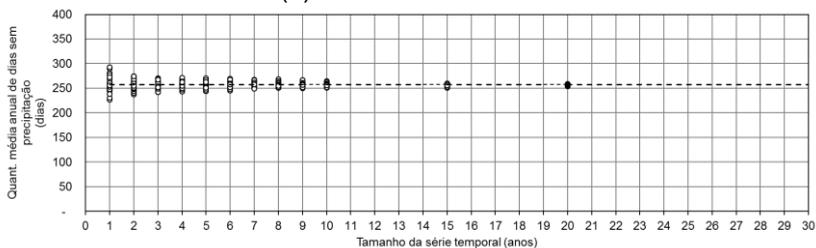
(a) precipitação diária (b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



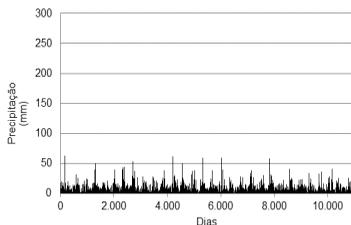
(d) índice de sazonalidade.



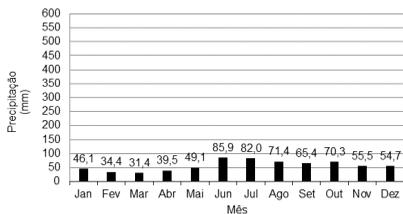
(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

## MOSCOU

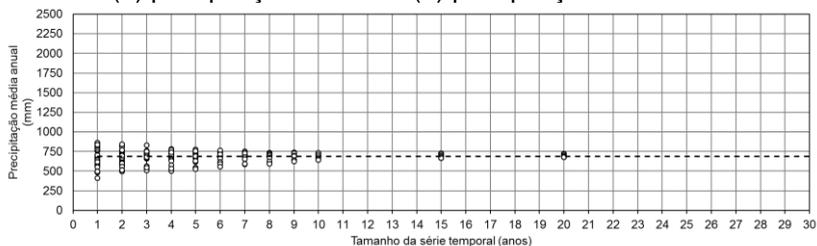
Figura A.7 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Moscou. A linha tracejada representa o valor da série histórica.



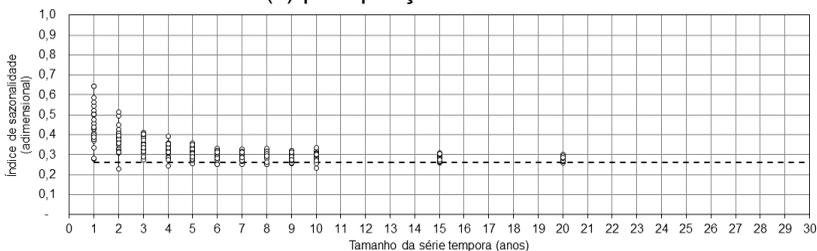
(a) precipitação diária



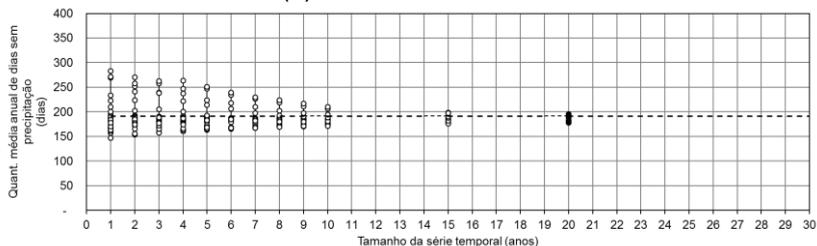
(b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



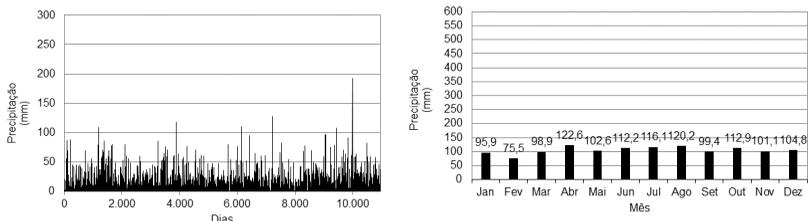
(d) índice de sazonalidade.



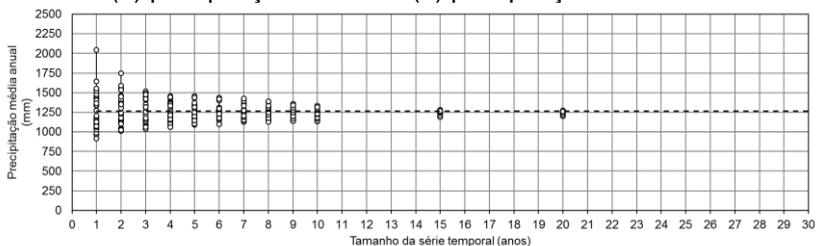
(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

## NOVA IORQUE

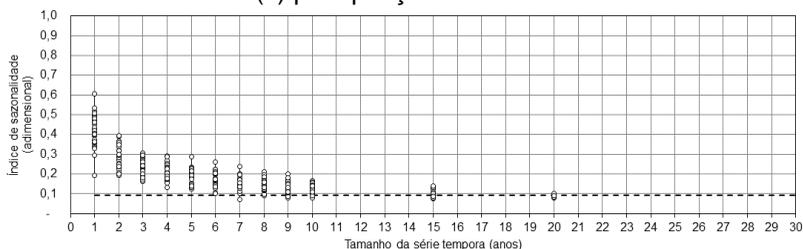
Figura A.8 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Nova Iorque. A linha tracejada representa o valor da série histórica.



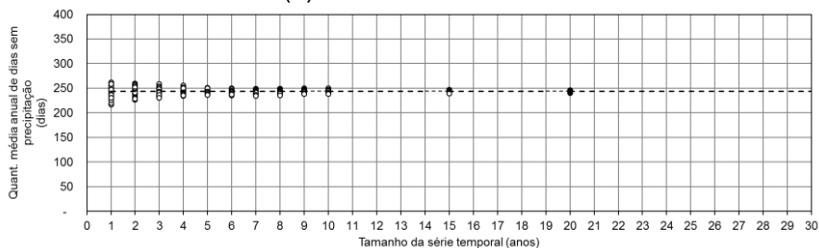
(a) precipitação diária (b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



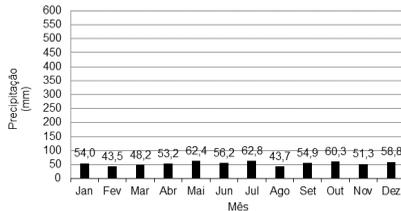
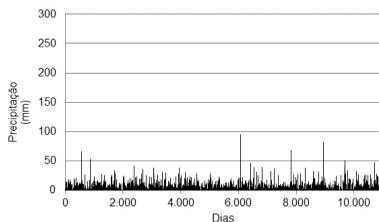
(d) índice de sazonalidade.



(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

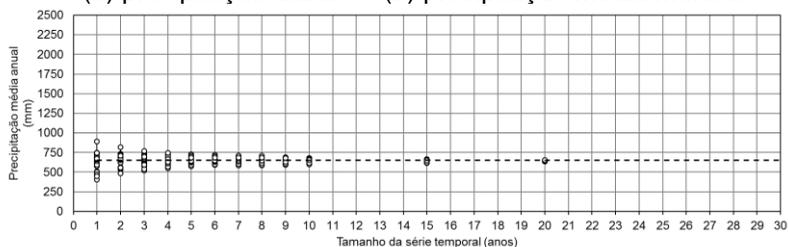
## PARIS

Figura A.9 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Paris. A linha tracejada representa o valor da série histórica.

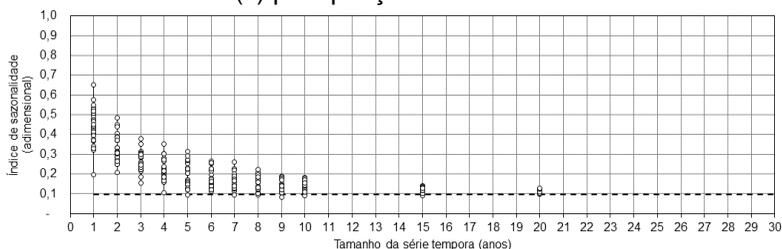


(a) precipitação diária

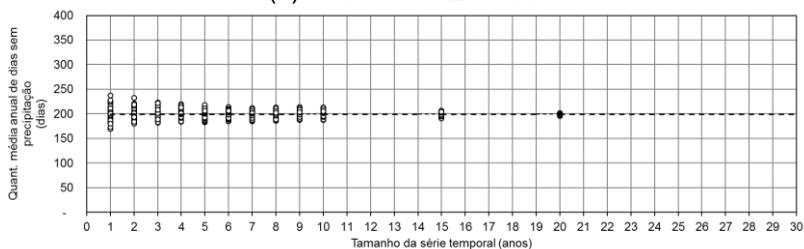
(b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



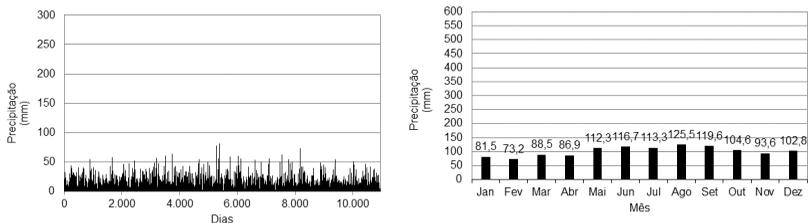
(d) índice de sazonalidade.



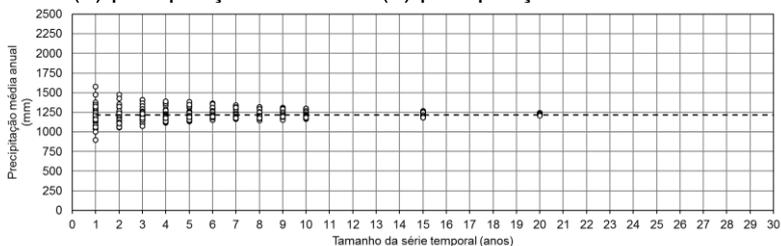
(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

## QUEBEC

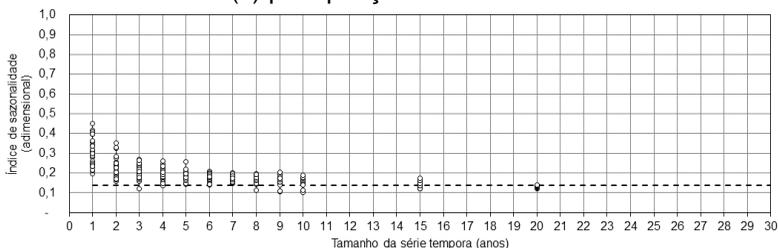
Figura A.10 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Quebec. A linha tracejada representa o valor da série histórica.



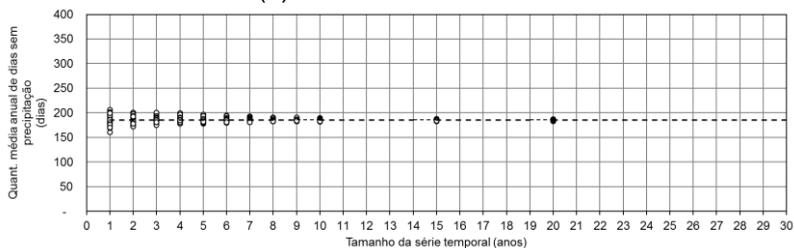
(a) precipitação diária (b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



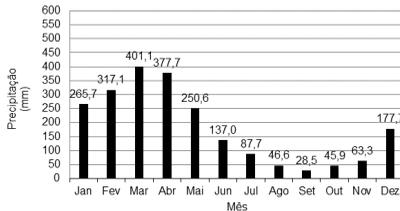
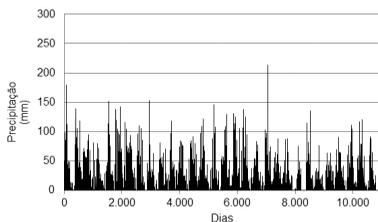
(d) índice de sazonalidade.



(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

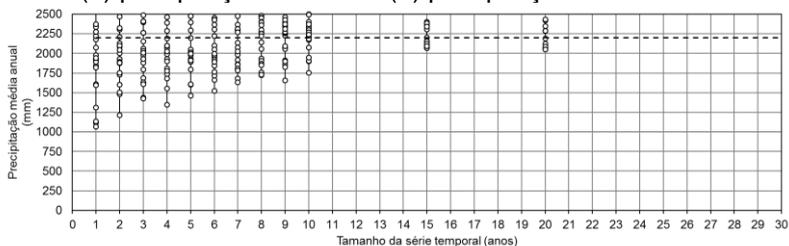
## SANTARÉM

Figura A.11 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Santarém. A linha tracejada representa o valor da série histórica.

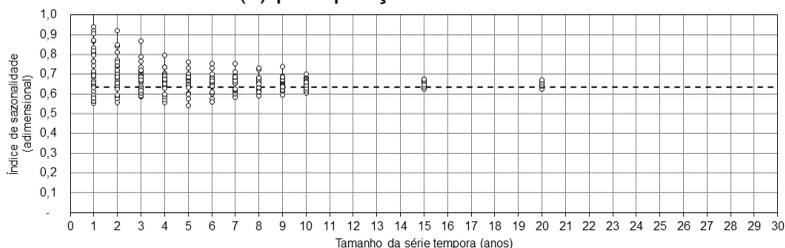


(a) precipitação diária

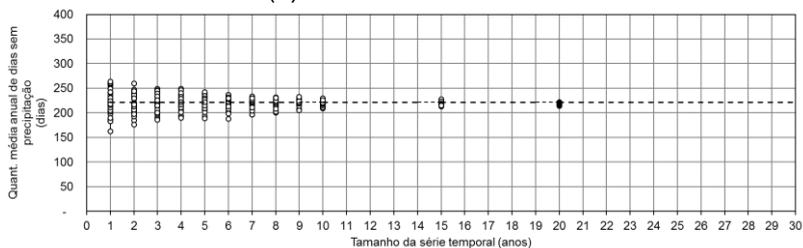
(b) precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



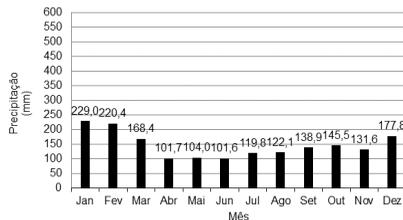
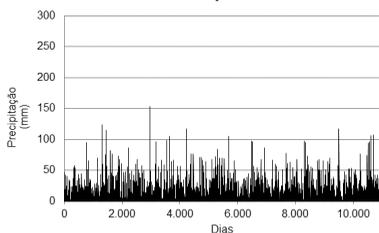
(d) índice de sazonalidade.



(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

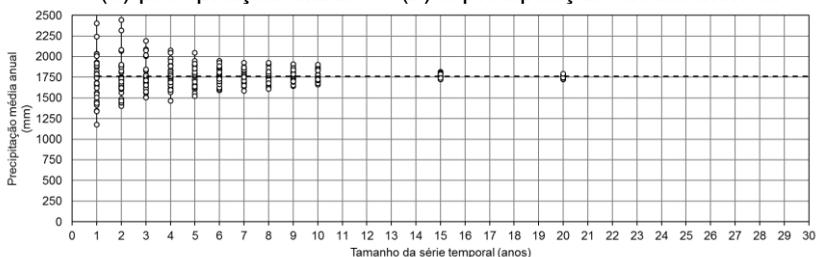
## SANTO AMARO

Figura A.12 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Santo Amaro. A linha tracejada representa o valor da série histórica.

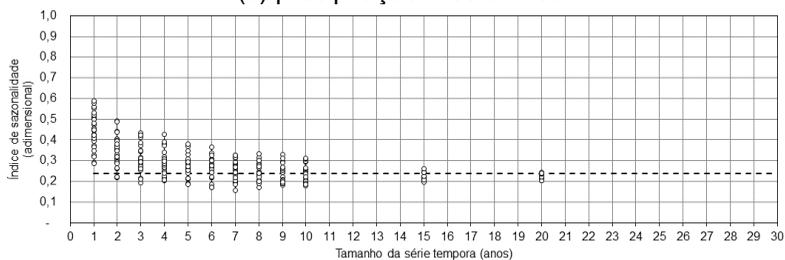


(a) precipitação diária

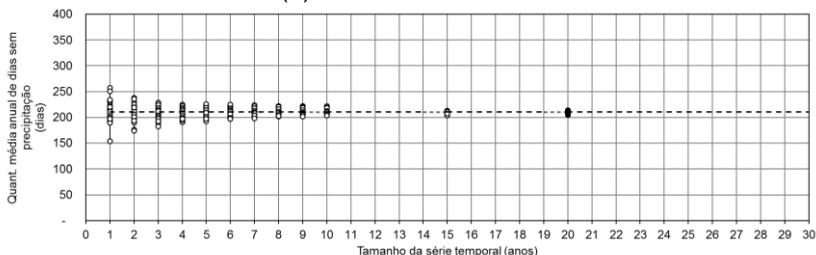
(b) a precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



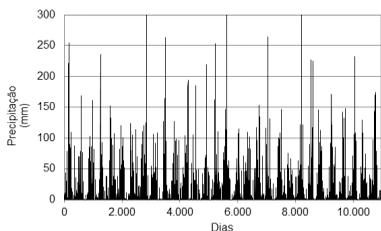
(d) índice de sazonalidade.



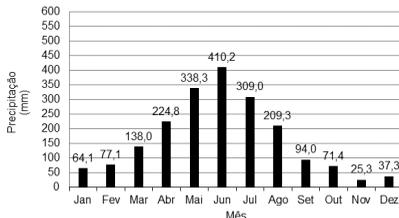
(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

### SHANWEI

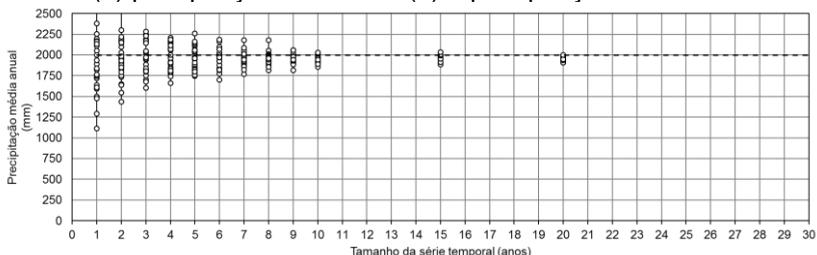
Figura A.13 – Caracterização do regime de precipitação pluviométrica da cidade de Shanwei. A linha tracejada representa o valor da série histórica.



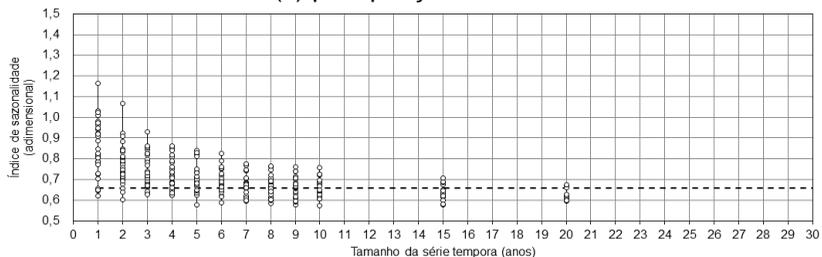
(a) precipitação diária



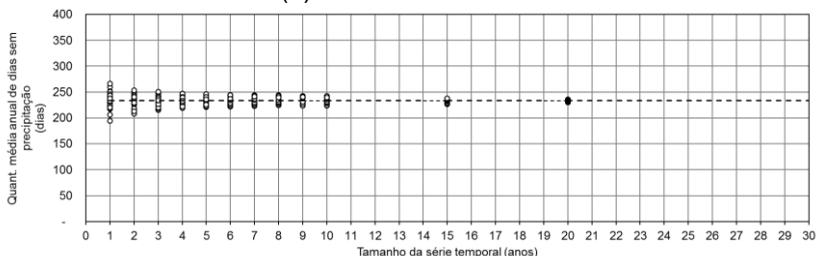
(b) a precipitação média mensal



(c) precipitação média anual.



(d) índice de sazonalidade.

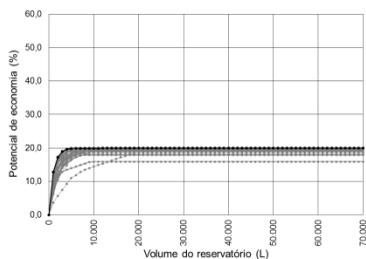


(e) quantidade média anual de dias sem precipitação.

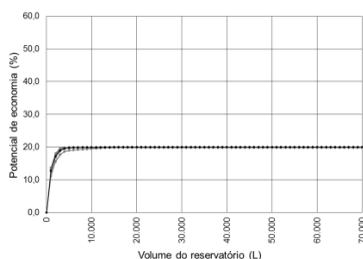
## **APÊNDICE B – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES**

## ALEXANDRIA

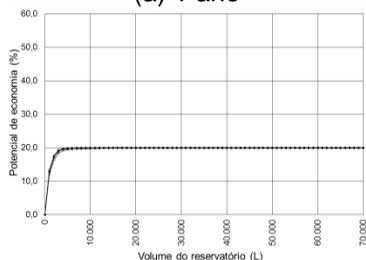
Figura B.1 – Resultados das simulações de Alexandria, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



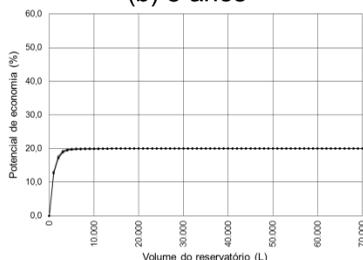
(a) 1 ano



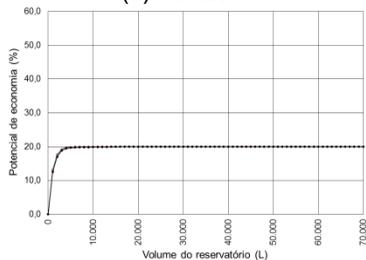
(b) 5 anos



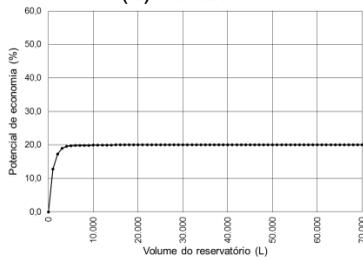
(c) 10 anos



(d) 15 anos



(e) 20 anos



(f) 30 anos

Figura B.2 - Resultados das simulações de Alexandria, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

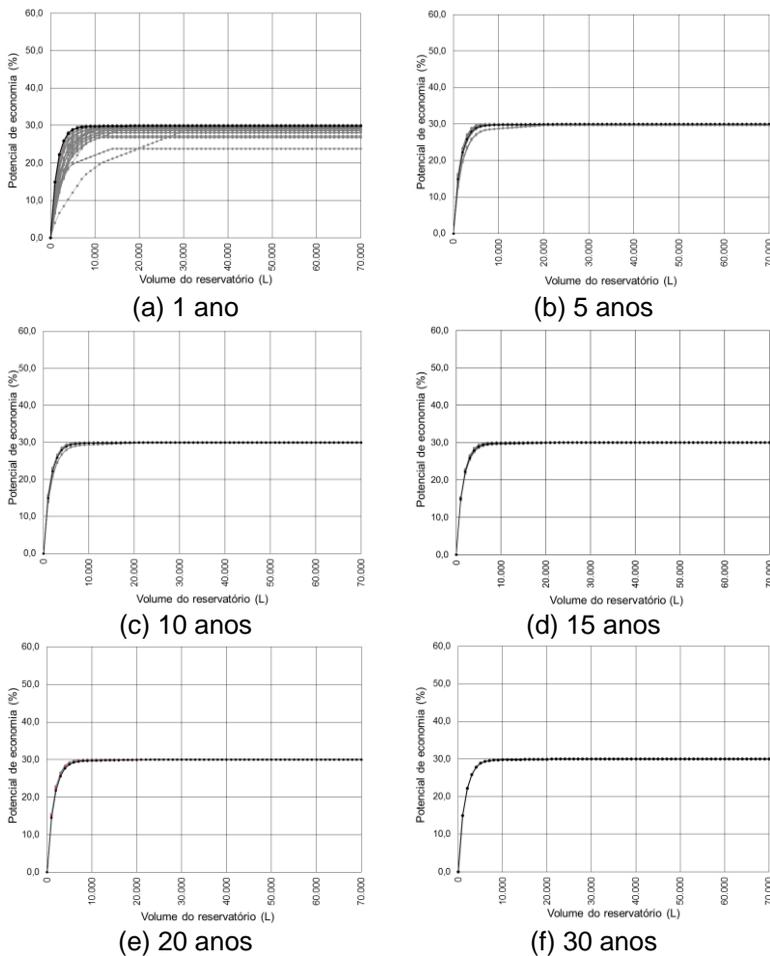


Figura B.3 - Resultados das simulações de Alexandria, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

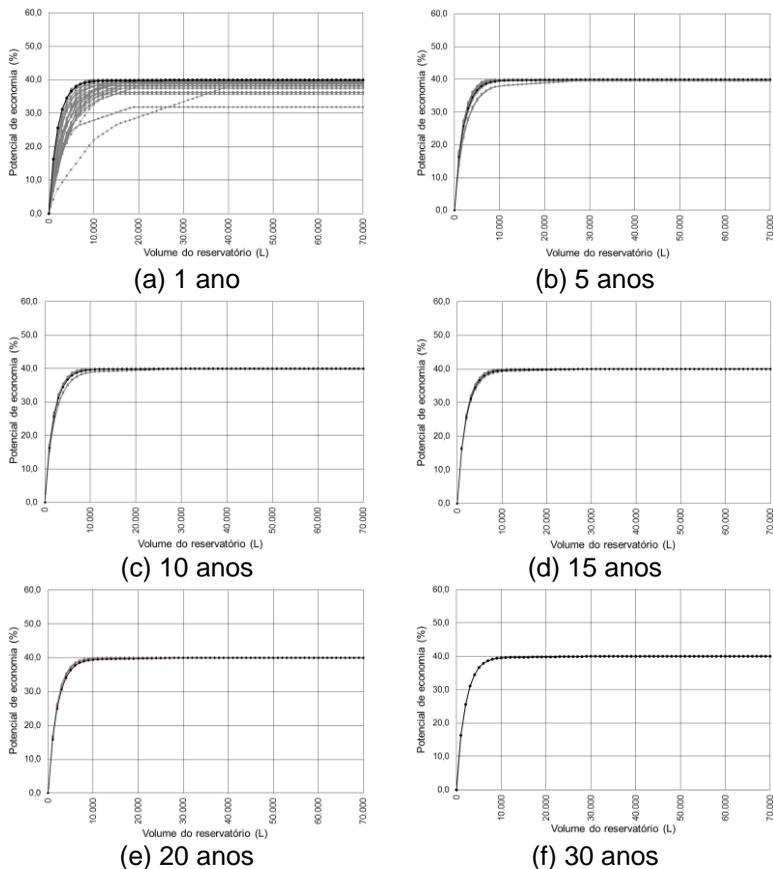
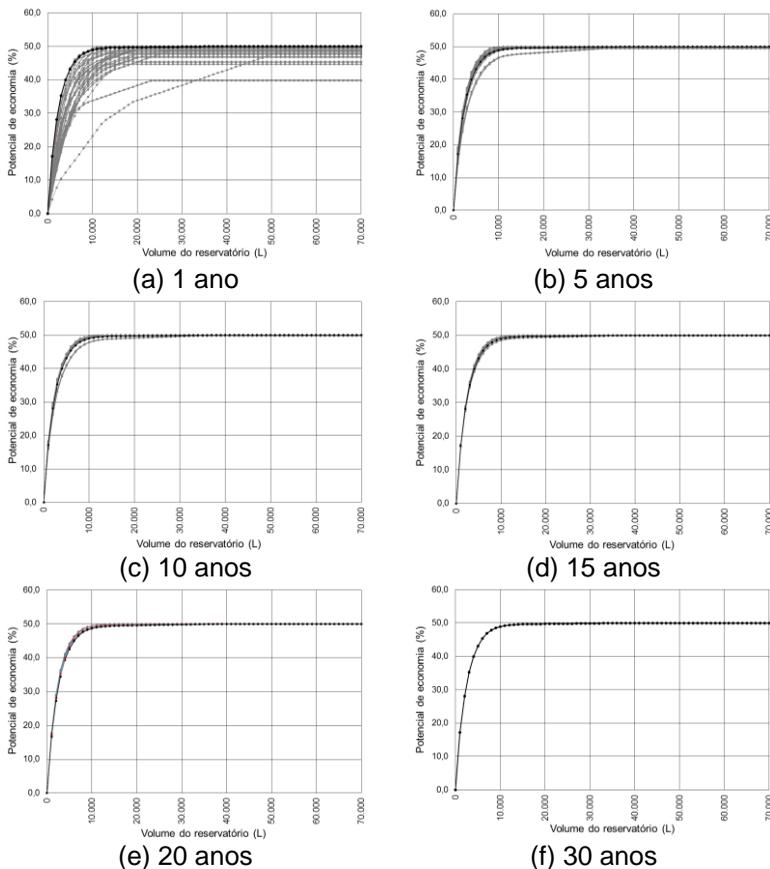


Figura B.4 - Resultados das simulações de Alexandria, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



**BARCELONA**

Figura B.5 - Resultados das simulações de Barcelona, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

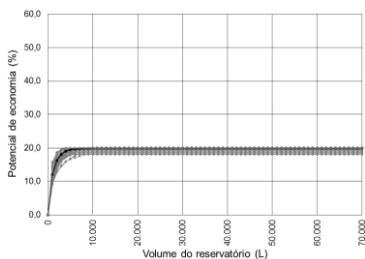
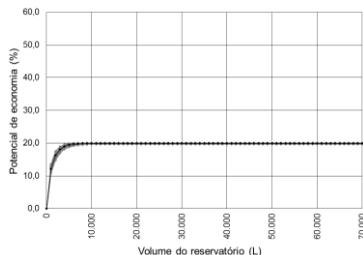
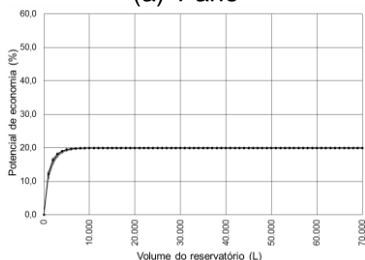
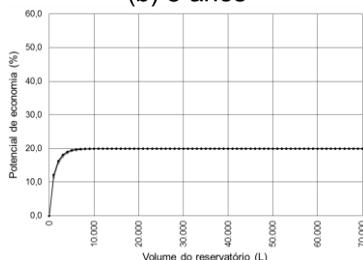
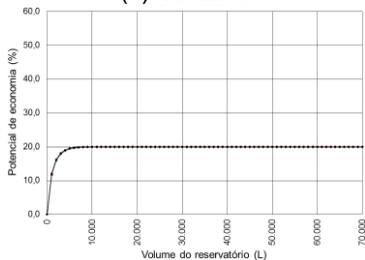
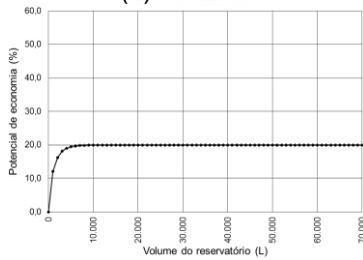
**(a) 1 ano****(b) 5 anos****(c) 10 anos****(d) 15 anos****(e) 20 anos****(f) 30 anos**

Figura B.6 - Resultados das simulações de Barcelona, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

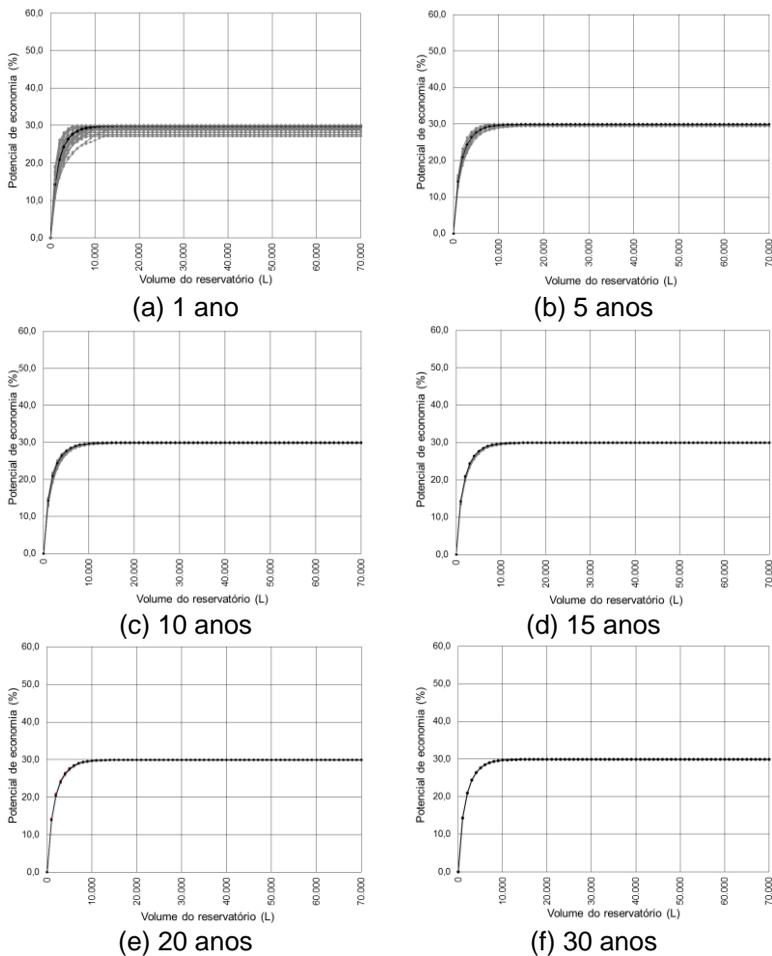


Figura B.7 - Resultados das simulações de Barcelona, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

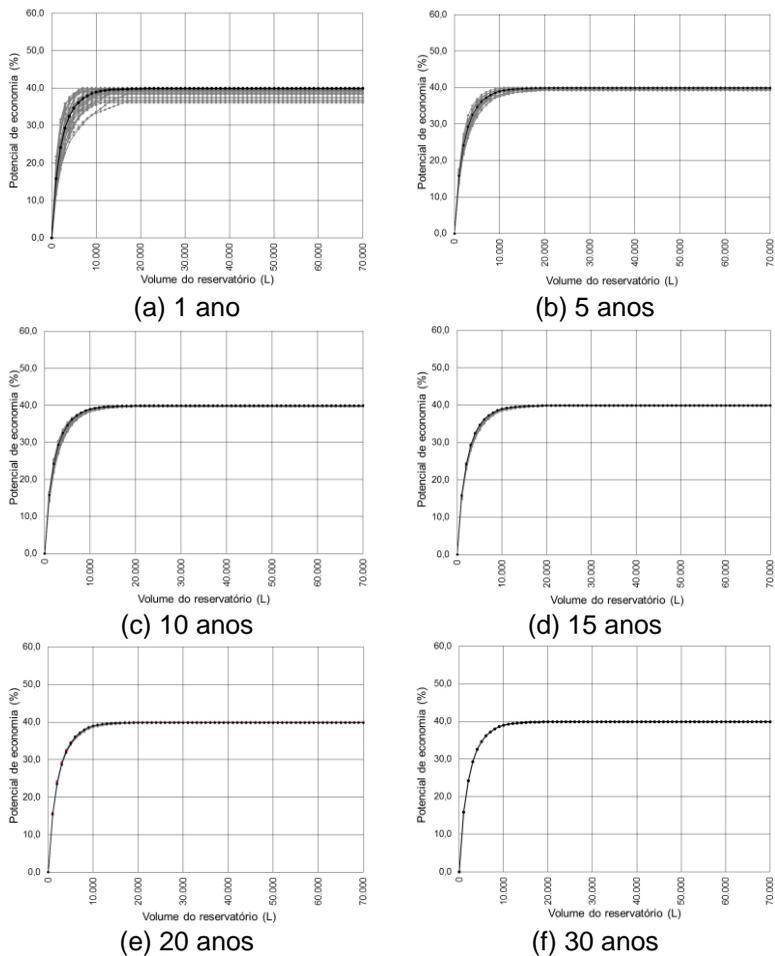
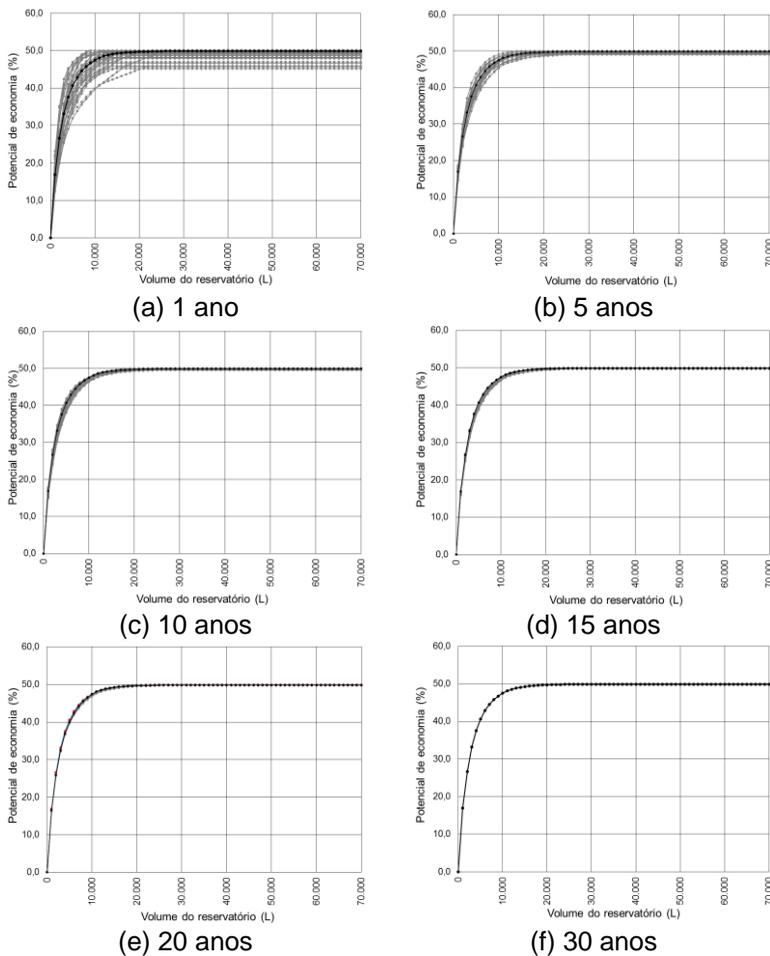
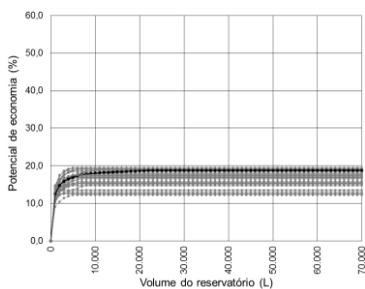


Figura B.8 - Resultados das simulações de Barcelona, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

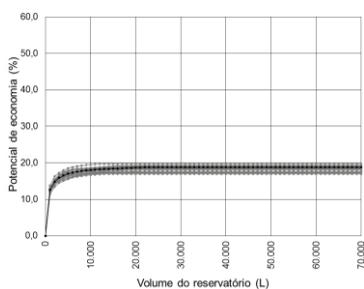


## BERLIM

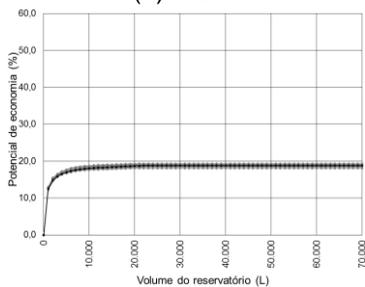
Figura B.9 - Resultados das simulações de Berlim, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



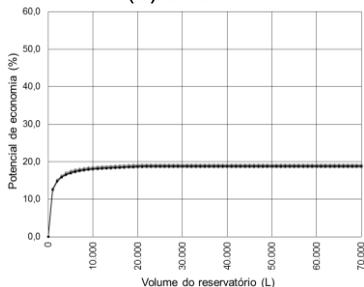
(a) 1 ano



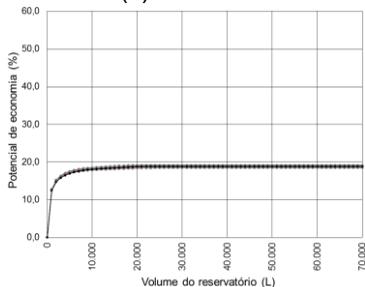
(b) 5 anos



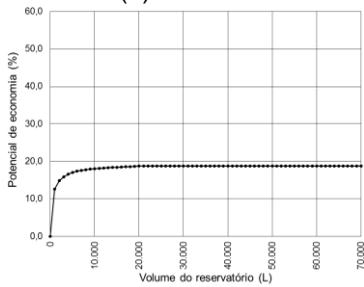
(c) 10 anos



(d) 15 anos



(e) 20 anos



(f) 30 anos

Figura B.10 - Resultados das simulações de Berlim, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

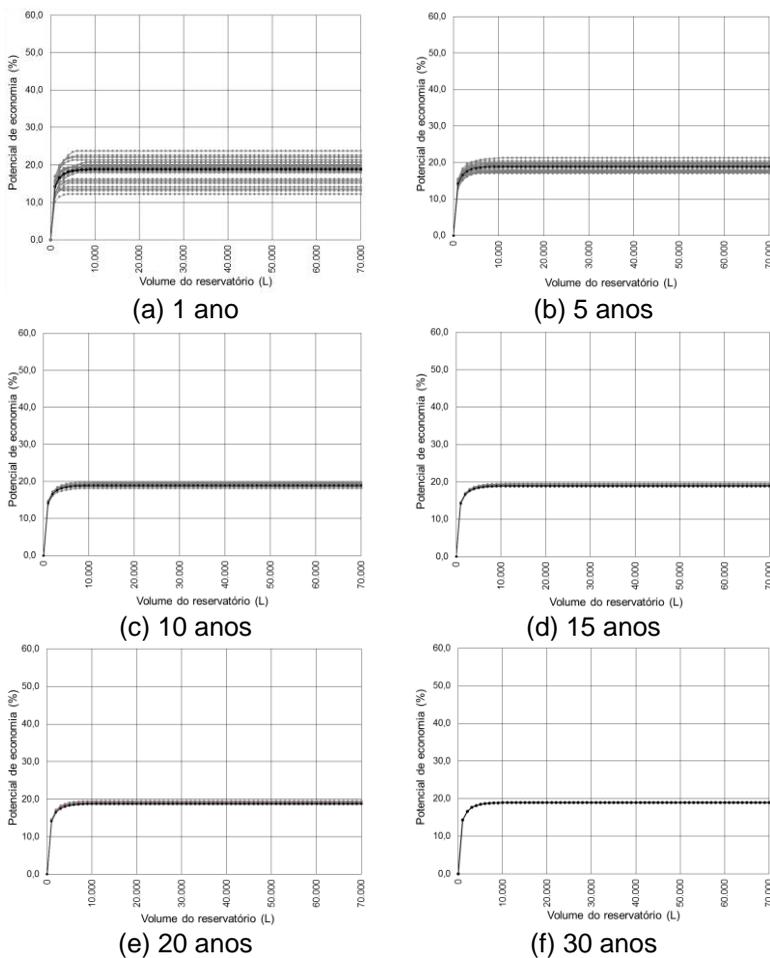


Figura B.11 - Resultados das simulações de Berlim, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

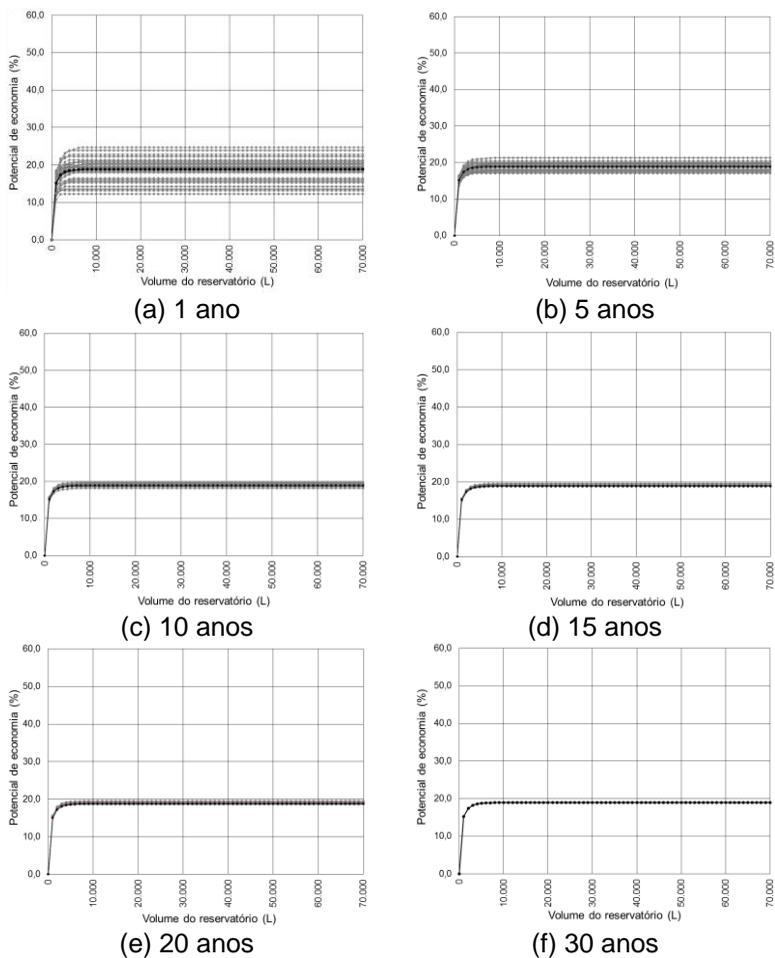
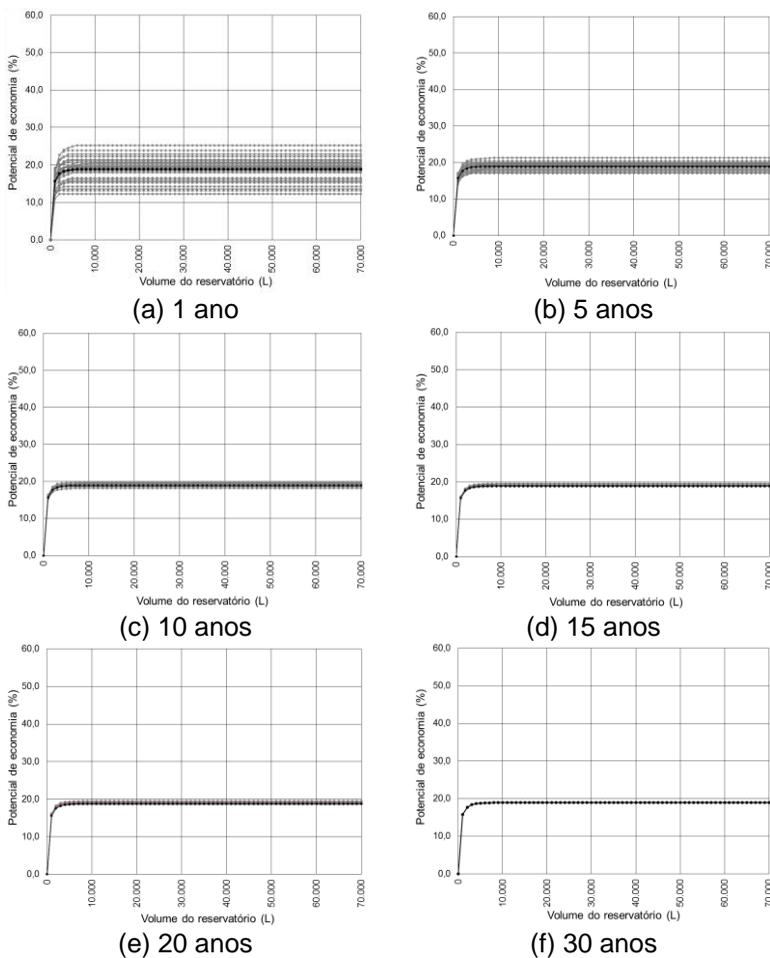


Figura B.12 - Resultados das simulações de Berlim, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



**DAR-EL-BEIDA**

Figura B.13 - Resultados das simulações de Dar-El-Beida, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

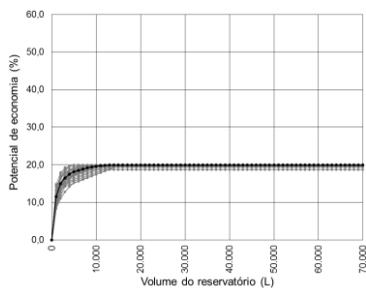
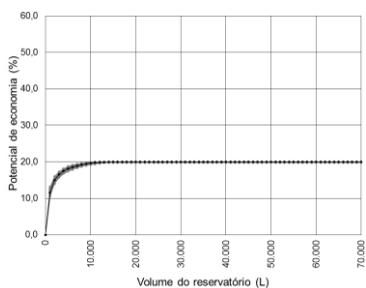
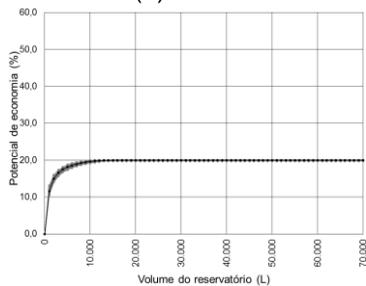
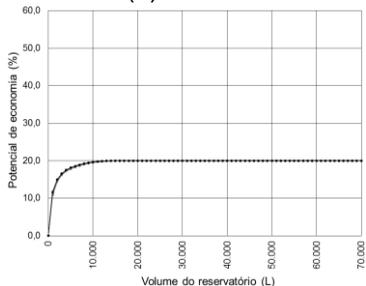
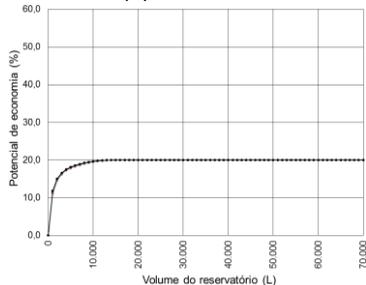
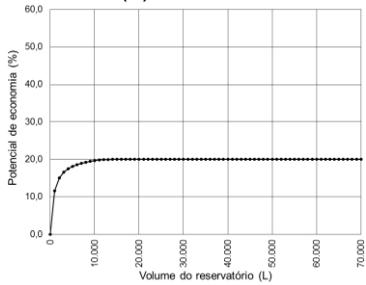
**(a) 1 ano****(b) 5 anos****(c) 10 anos****(d) 15 anos****(e) 20 anos****(f) 30 anos**

Figura B.14 - Resultados das simulações de Dar-El-Beida, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

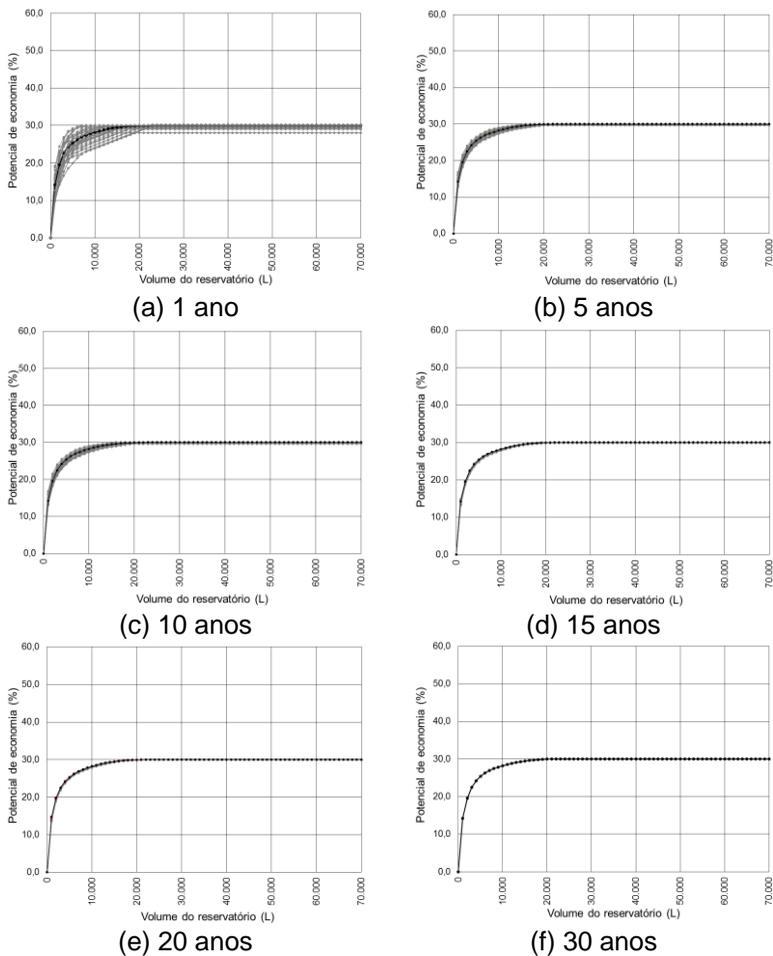


Figura B.15 - Resultados das simulações de Dar-El-Beida, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

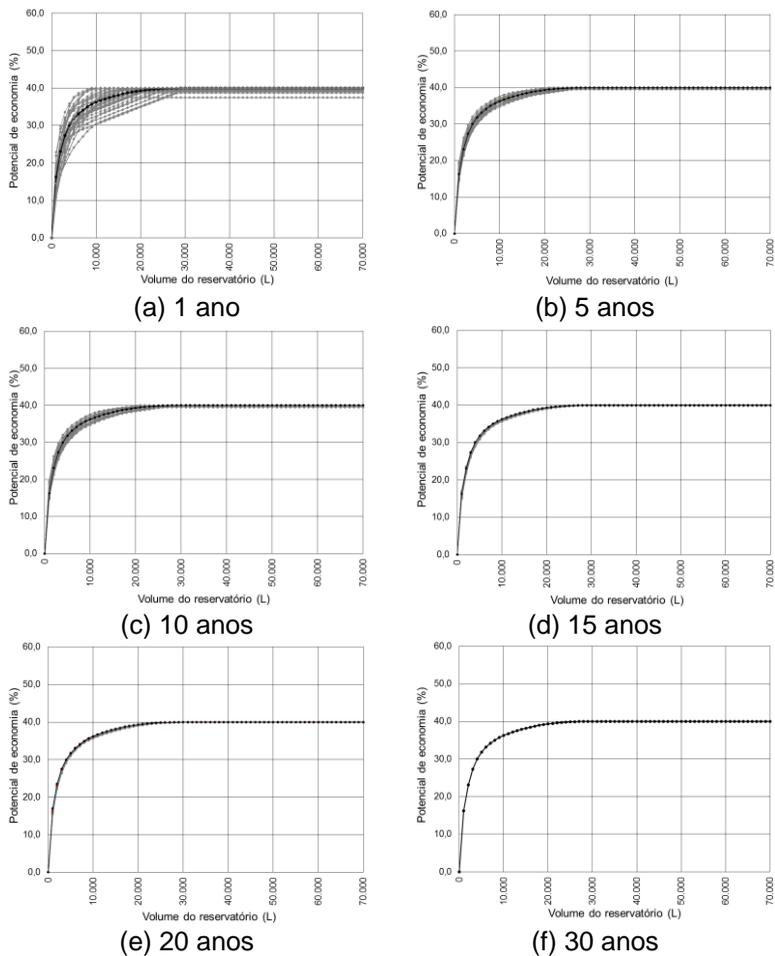
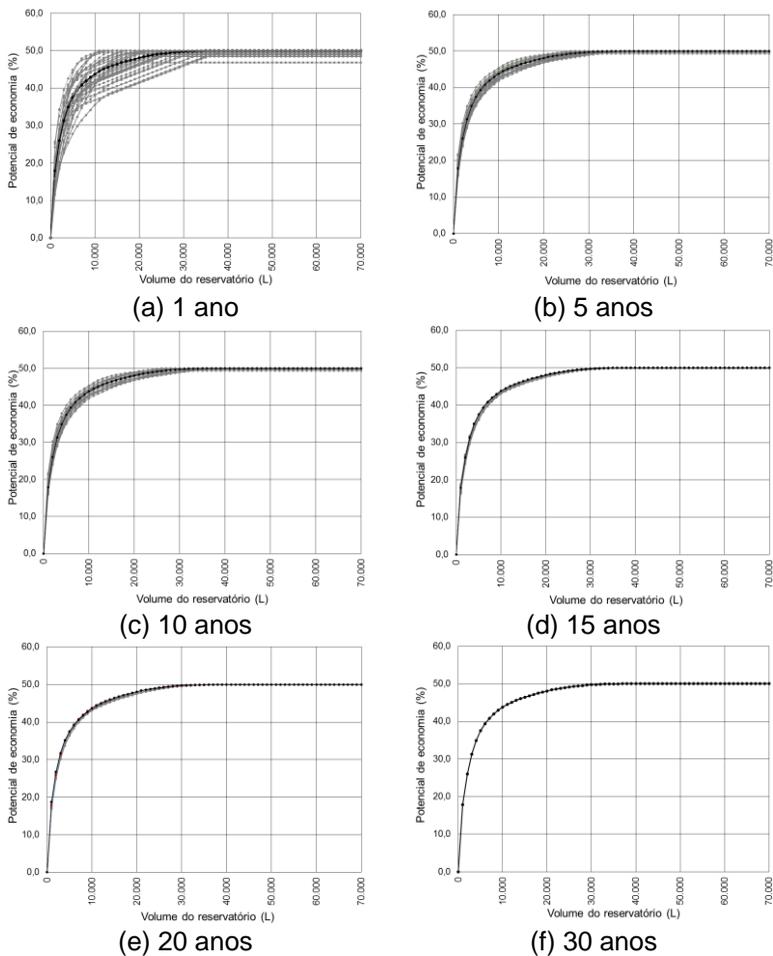


Figura B.16 - Resultados das simulações de Dar-El-Beida, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



## DARWIN

Figura B.17 - Resultados das simulações de Darwin, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

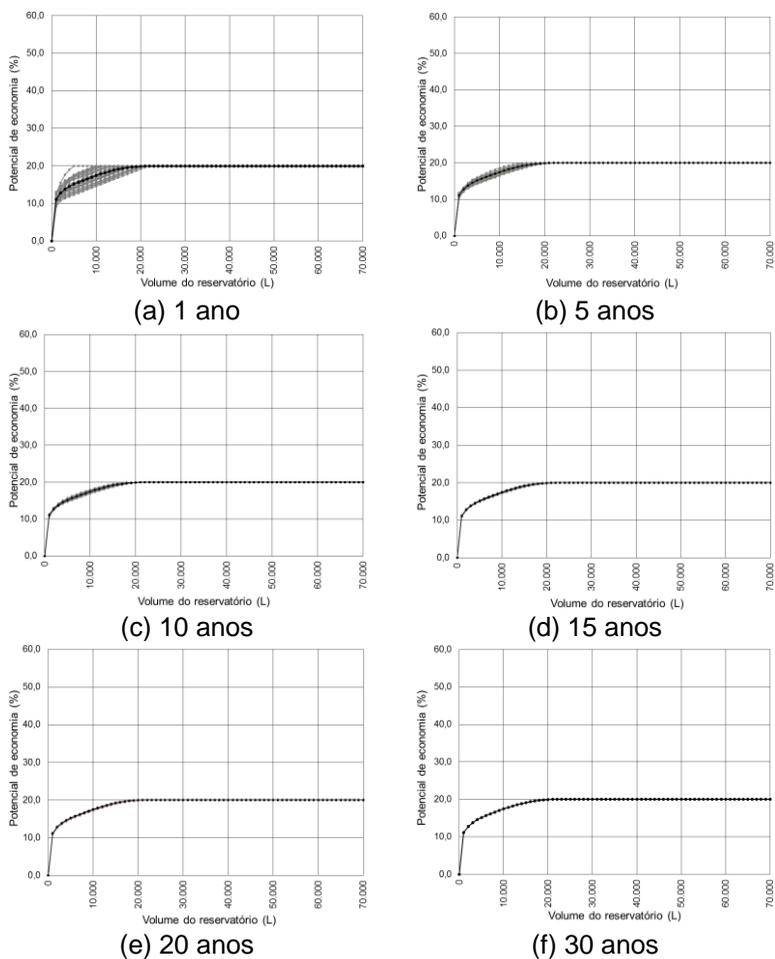


Figura B.18 - Resultados das simulações de Darwin, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

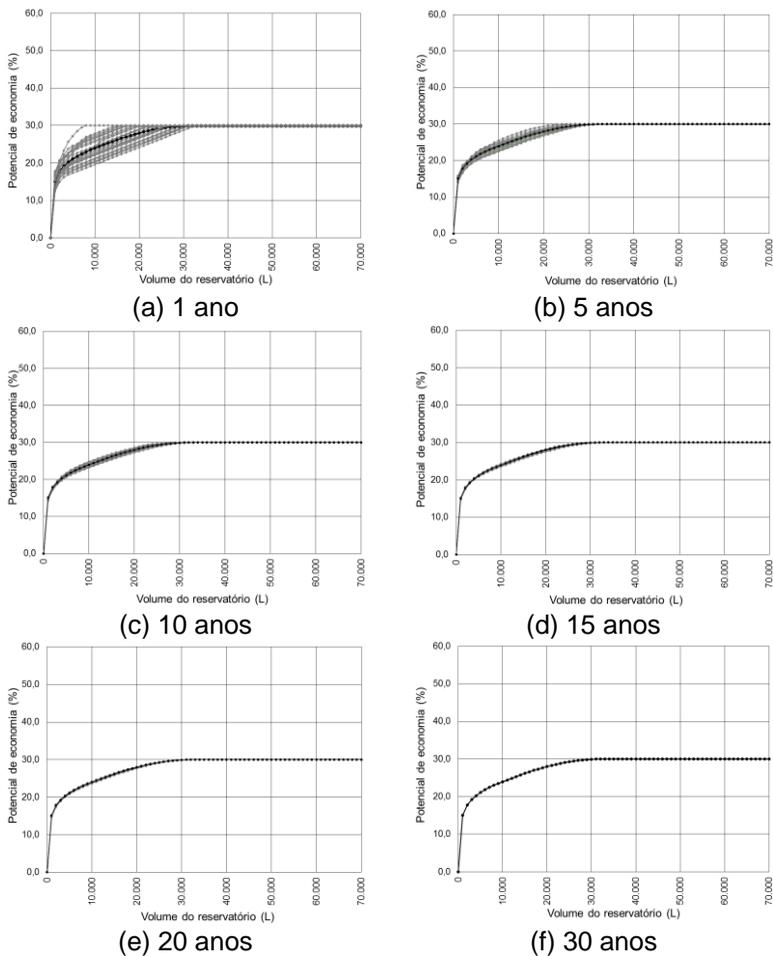


Figura B.19 - Resultados das simulações de Darwin, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

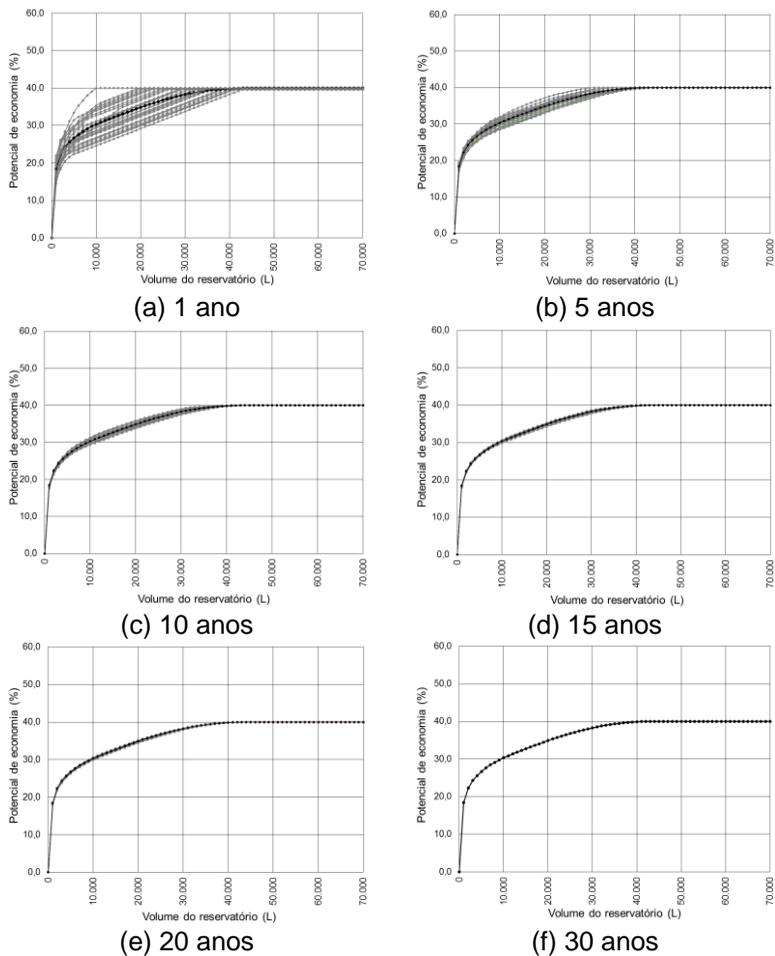
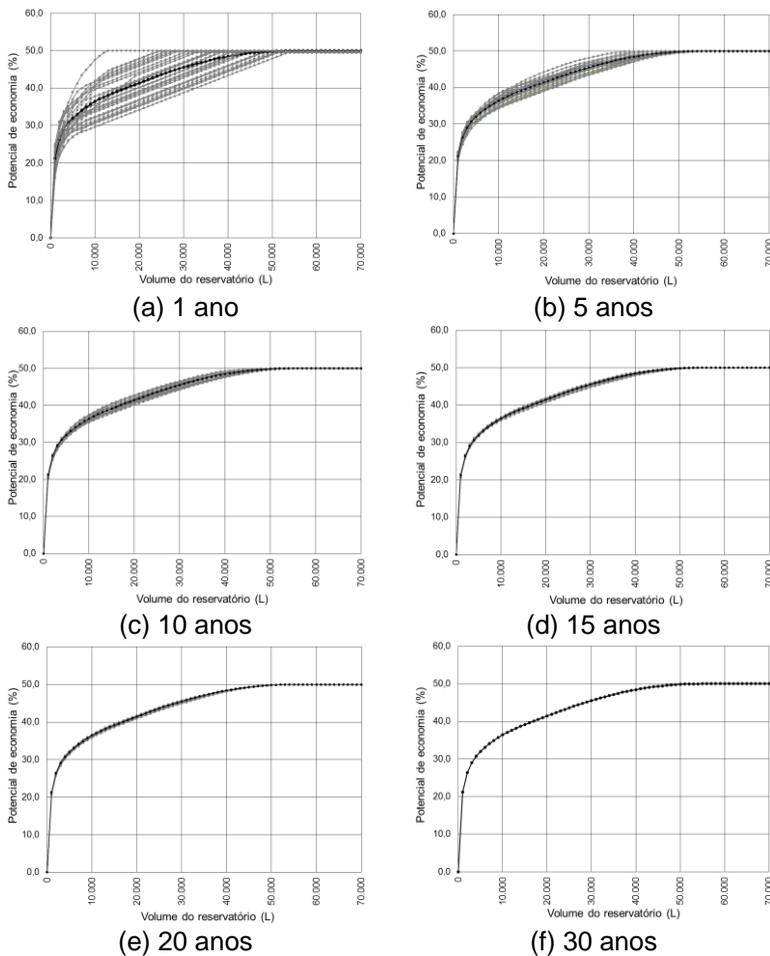
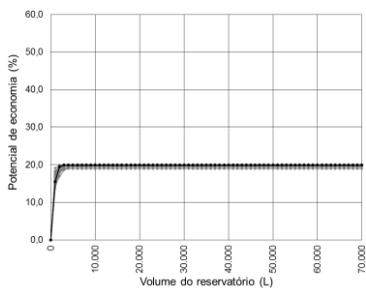


Figura B.20 - Resultados das simulações de Darwin, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

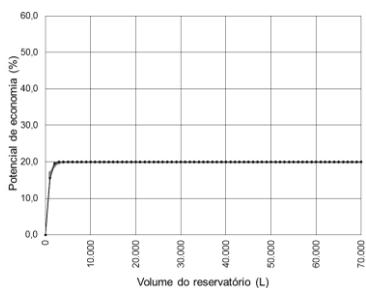


## ENCARNACIÓN

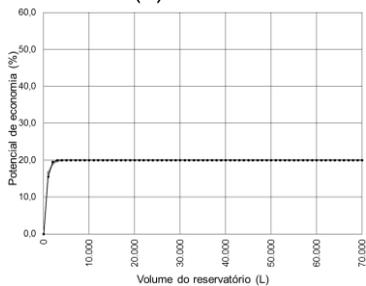
Figura B.21 - Resultados das simulações de Encarnación, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



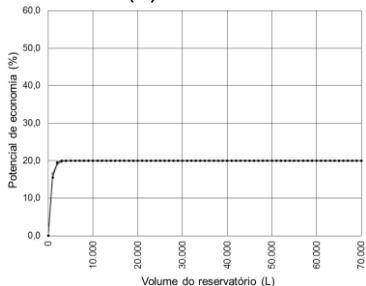
(a) 1 ano



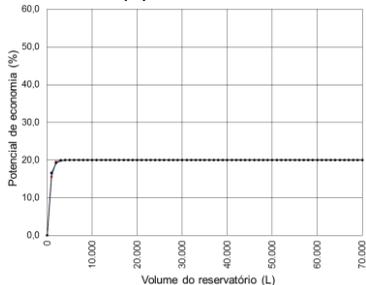
(b) 5 anos



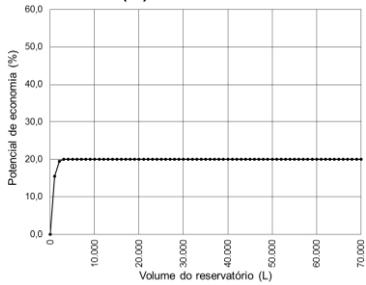
(c) 10 anos



(d) 15 anos



(e) 20 anos



(f) 30 anos

Figura B.22 - Resultados das simulações de Encarnación, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

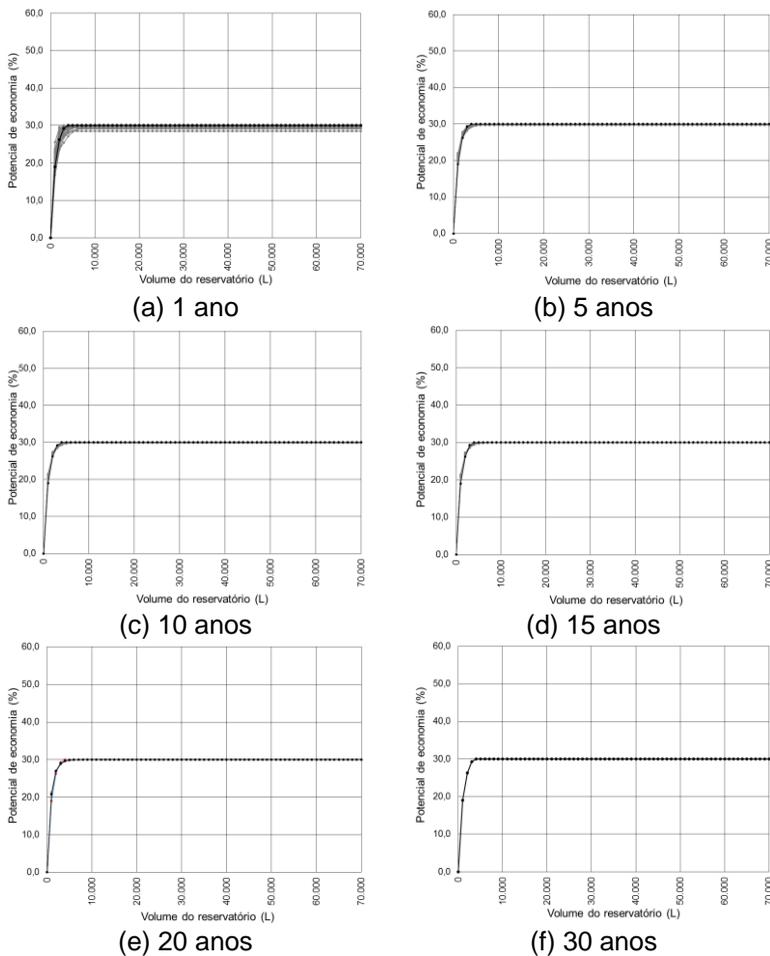


Figura B.23 - Resultados das simulações de Encarnación, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

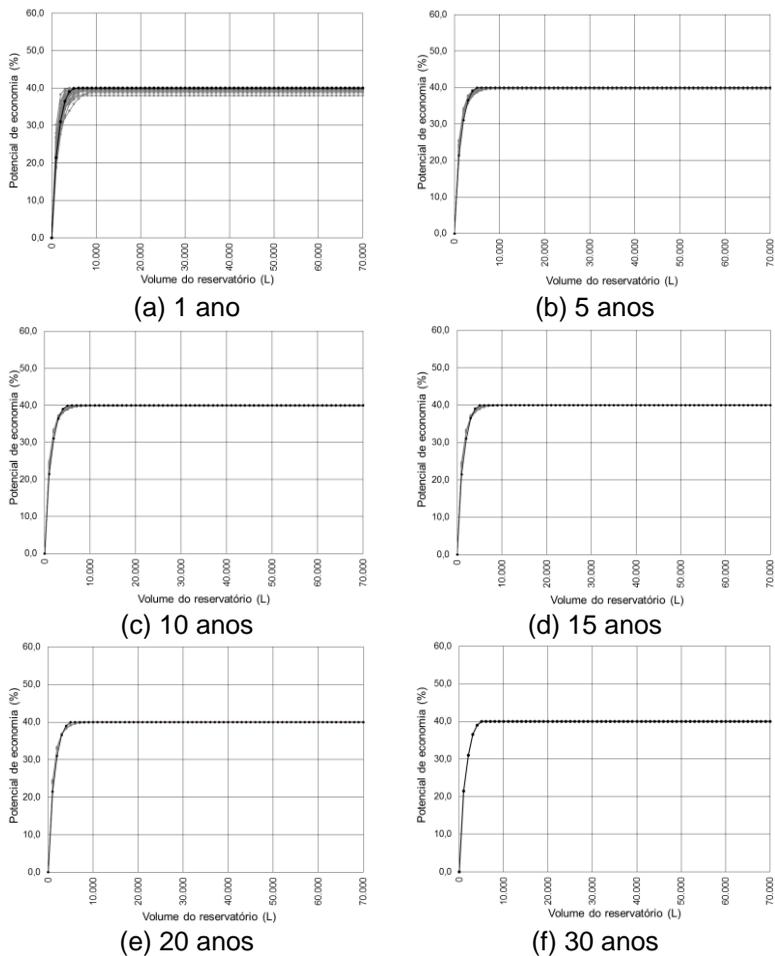
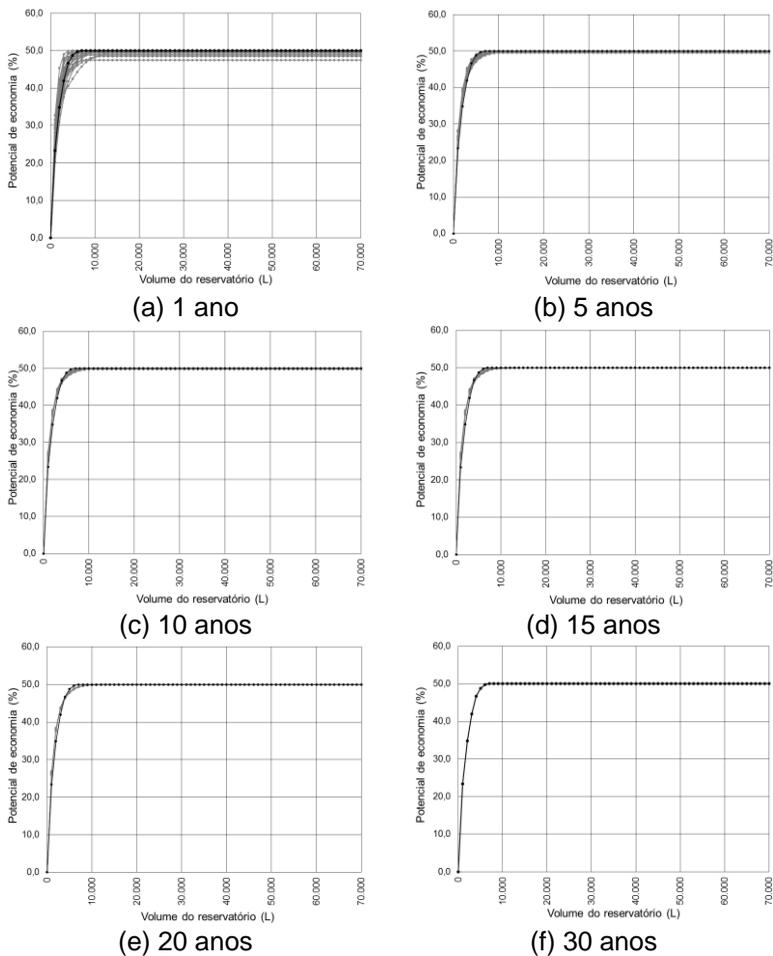
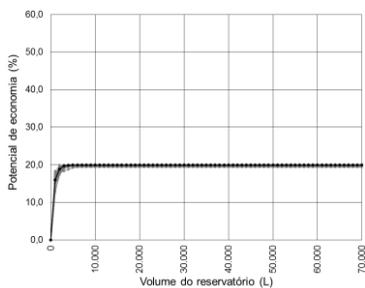


Figura B.24 - Resultados das simulações de Encarnación, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

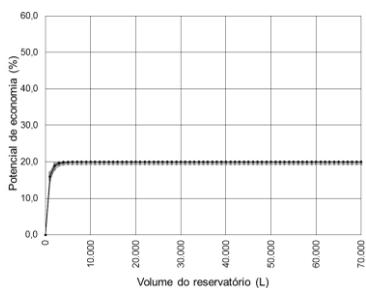


## MOSCOU

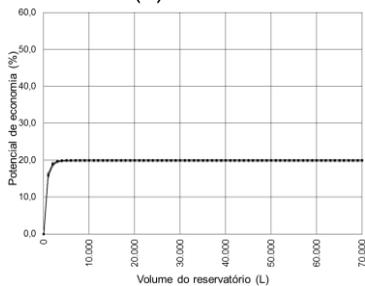
Figura B.25 - Resultados das simulações de Moscou, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



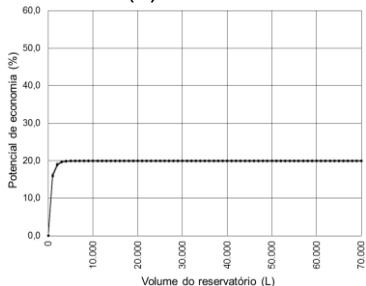
(a) 1 ano



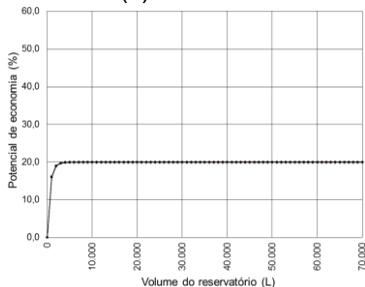
(b) 5 anos



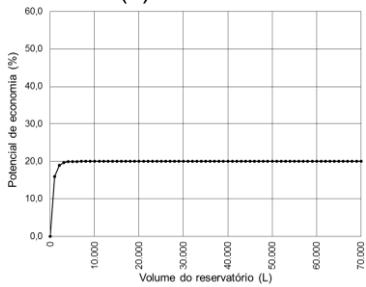
(c) 10 anos



(d) 15 anos



(e) 20 anos



(f) 30 anos

Figura B.26 - Resultados das simulações de Moscou, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

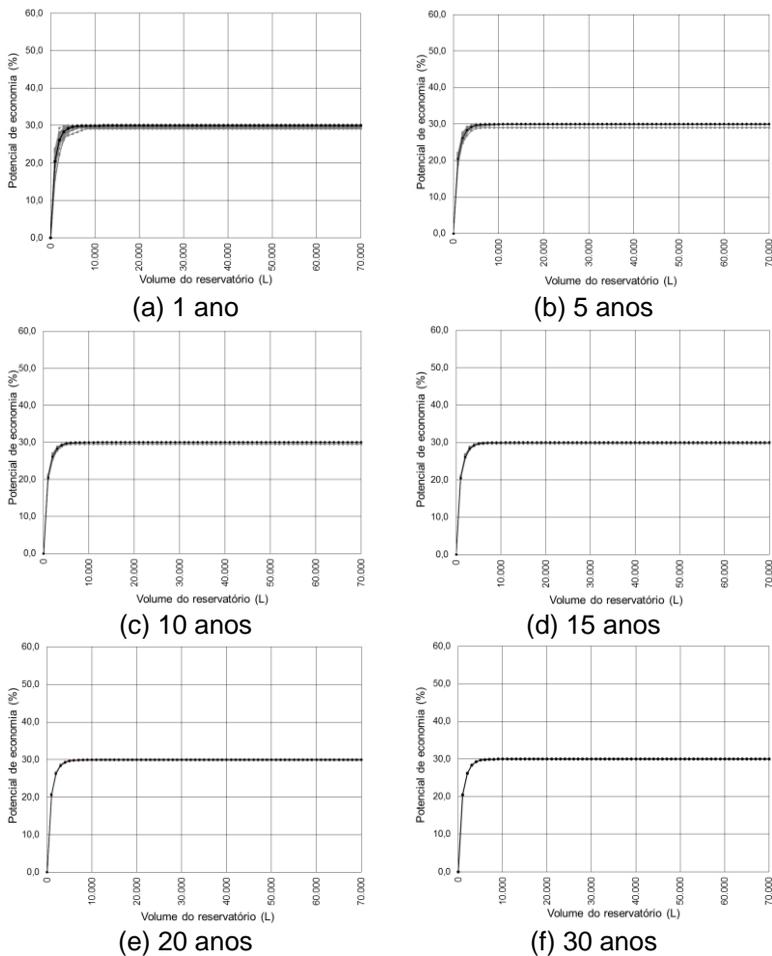


Figura B.27 - Resultados das simulações de Moscou, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

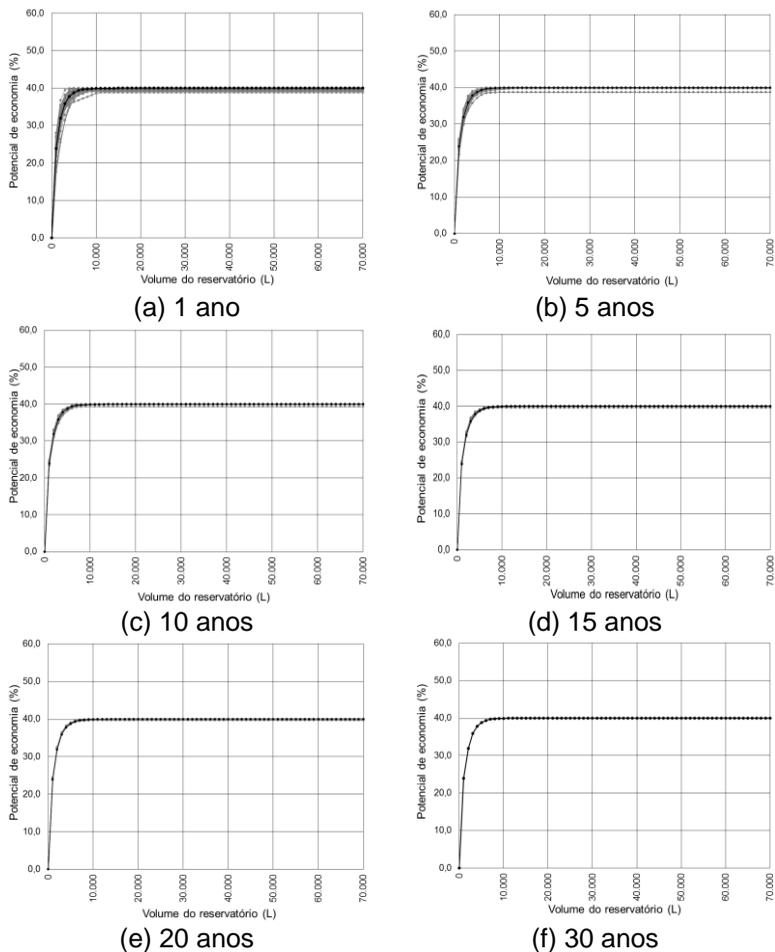
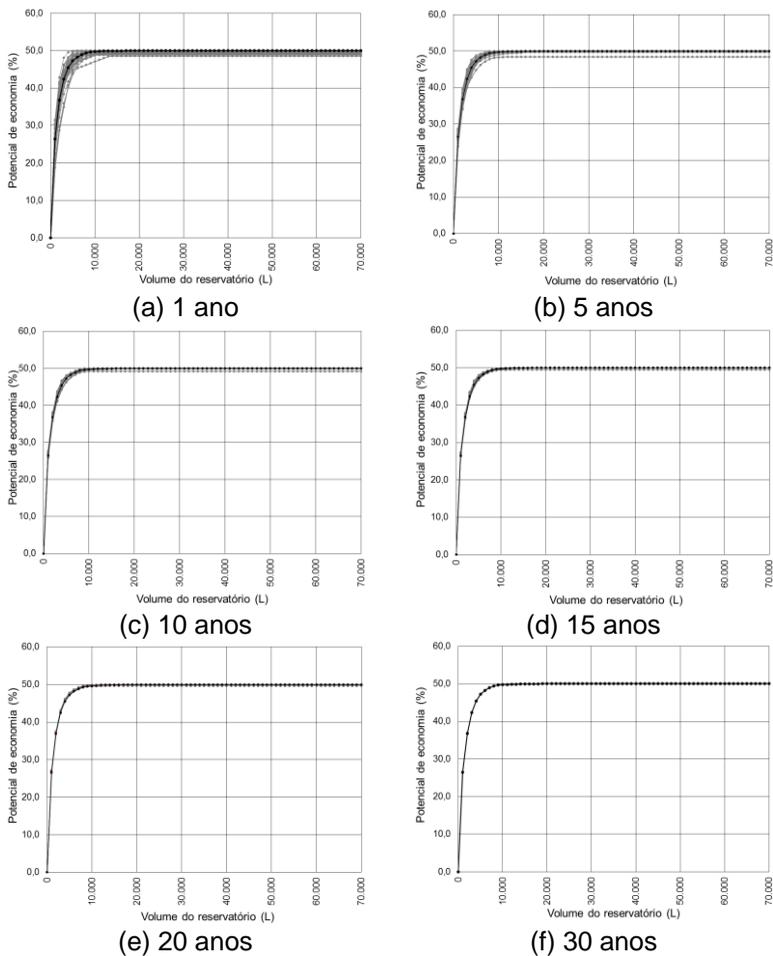


Figura B.28 - Resultados das simulações de Moscou, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



## NOVA IORQUE

Figura B.29 - Resultados das simulações de Nova Iorque, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

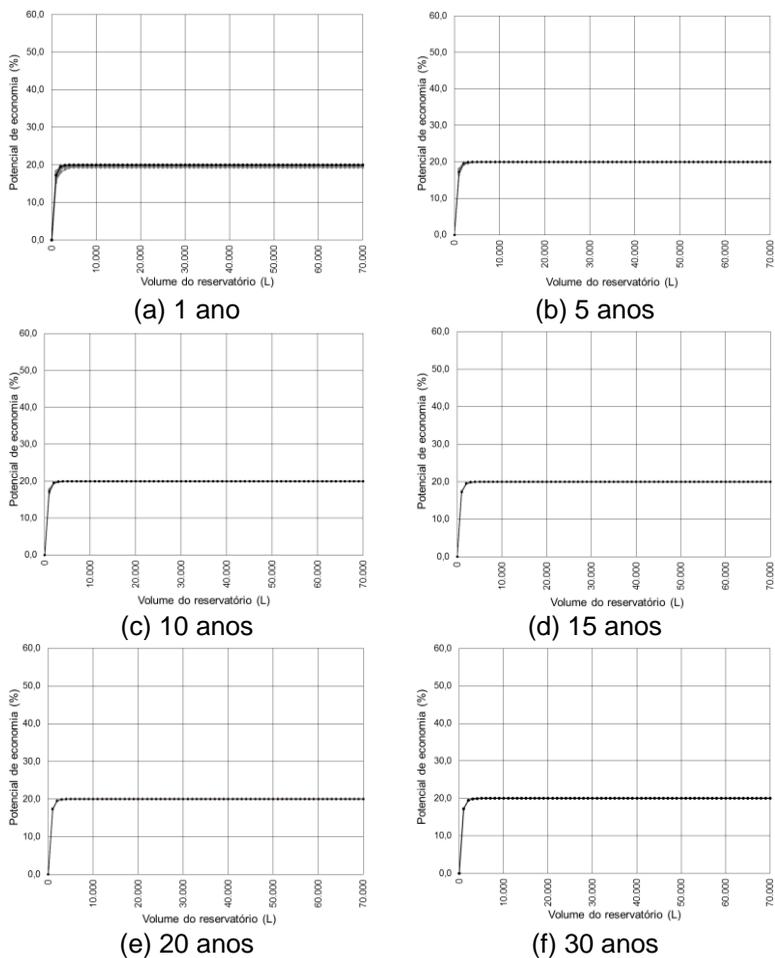


Figura B.30 - Resultados das simulações de Nova Iorque, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

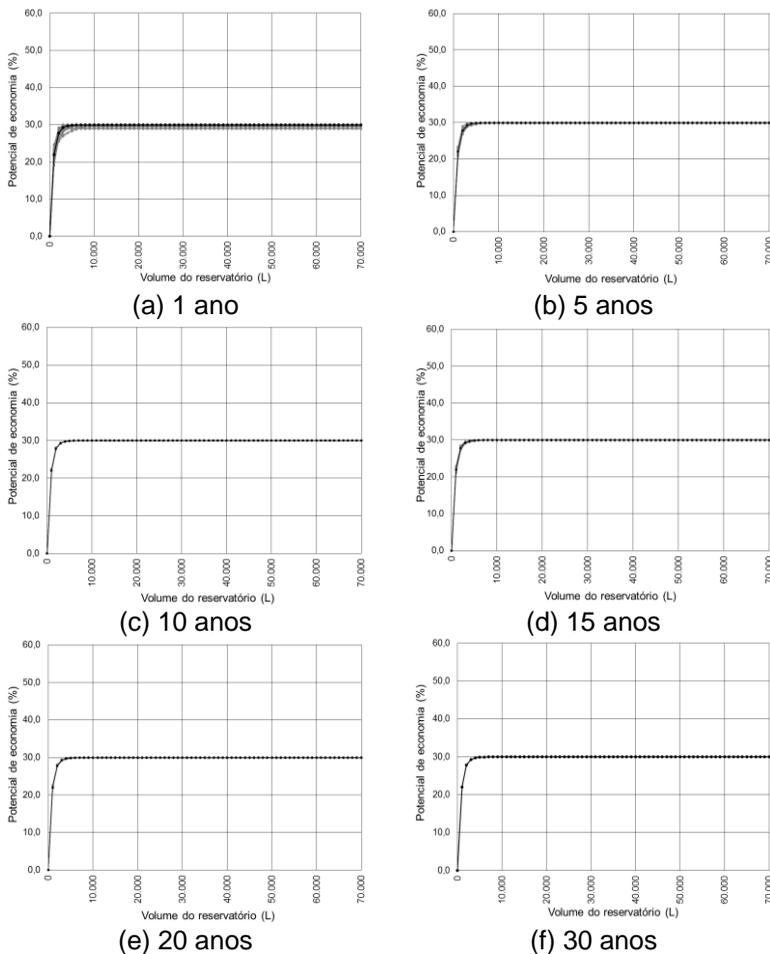


Figura B.31 - Resultados das simulações de Nova Iorque, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

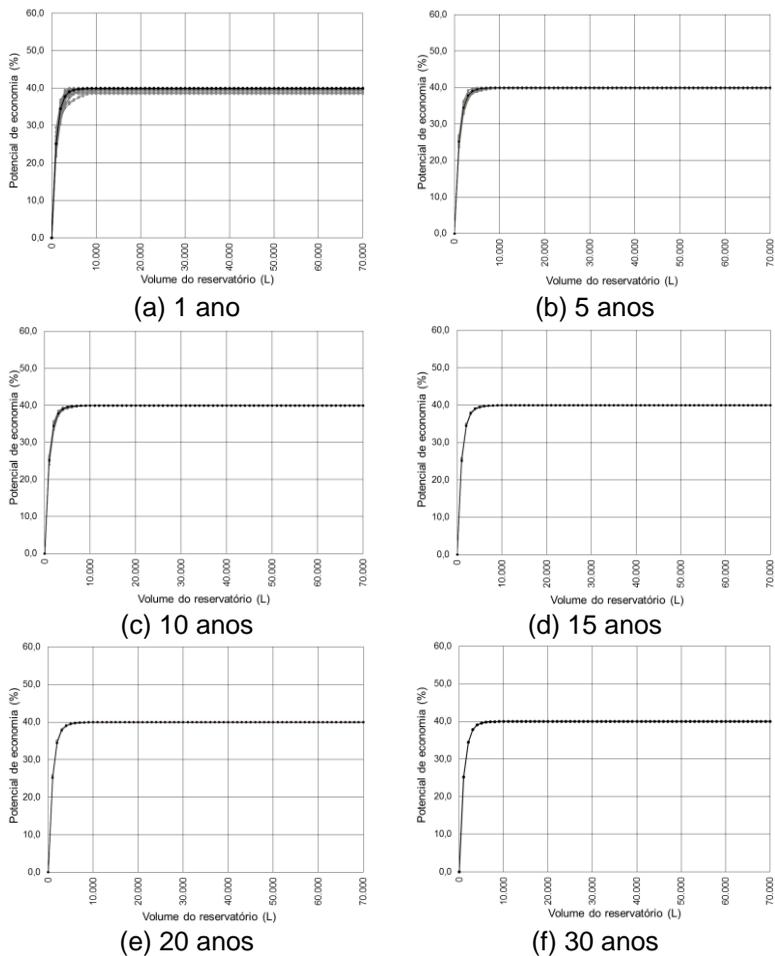
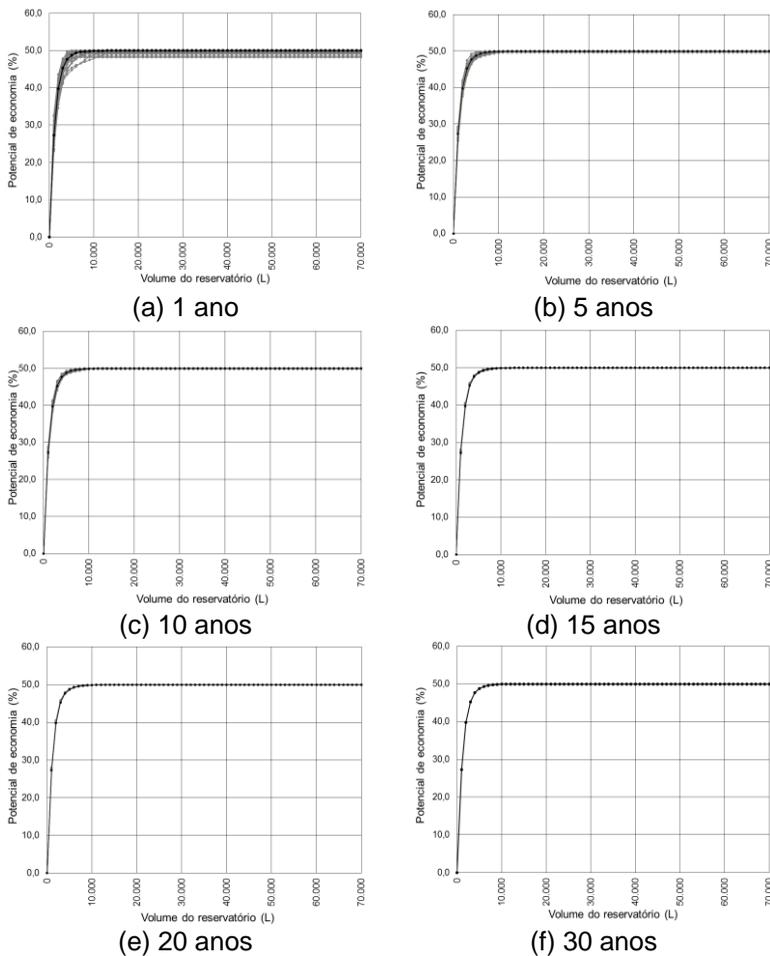
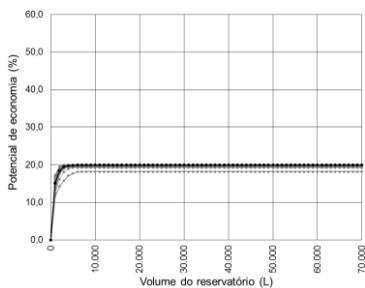


Figura B.32 - Resultados das simulações de Nova Iorque, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

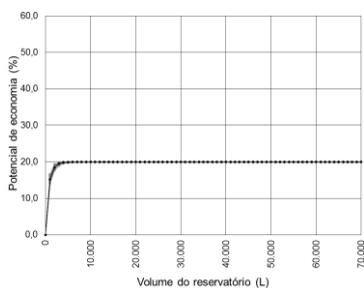


## PARIS

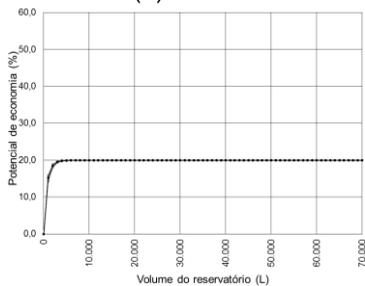
Figura B.33 - Resultados das simulações de Paris, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



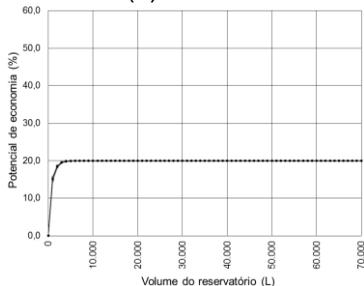
(a) 1 ano



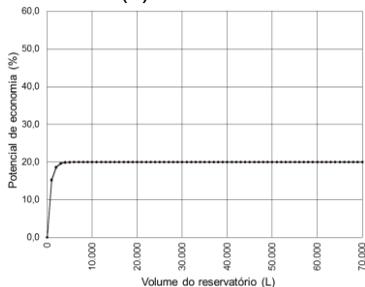
(b) 5 anos



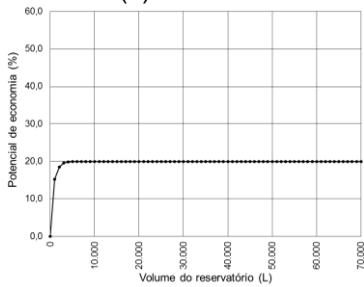
(c) 10 anos



(d) 15 anos

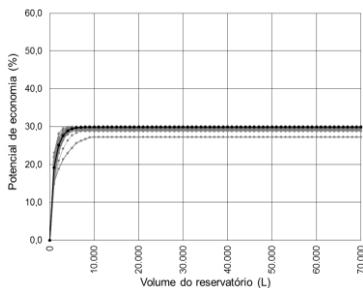


(e) 20 anos

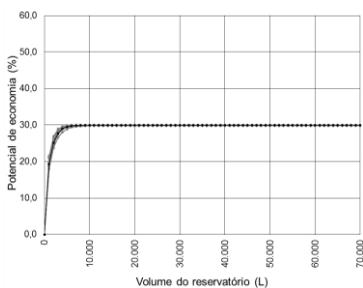


(f) 30 anos

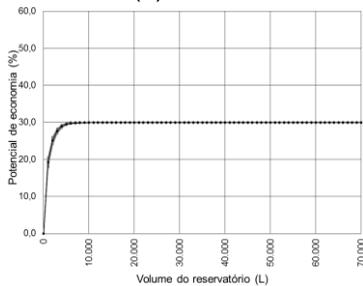
Figura B.34 - Resultados das simulações de Paris, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



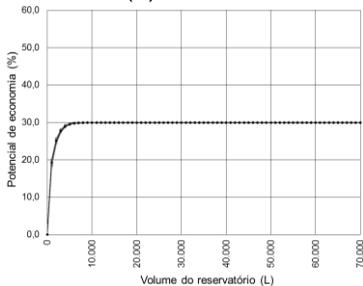
(a) 1 ano



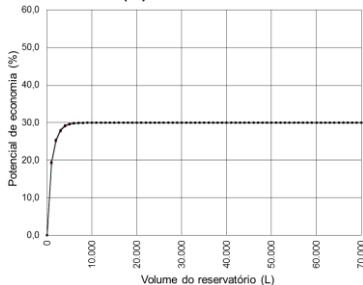
(b) 5 anos



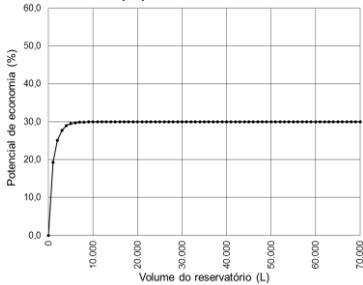
(c) 10 anos



(d) 15 anos



(e) 20 anos



(f) 30 anos

Figura B.35 - Resultados das simulações de Paris, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

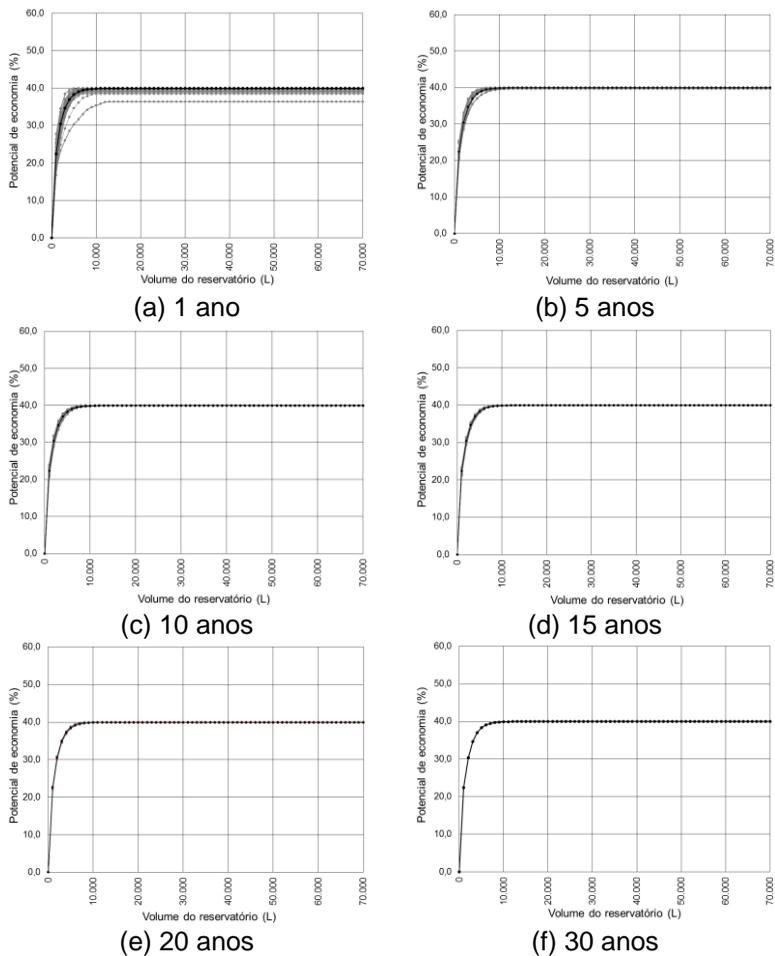
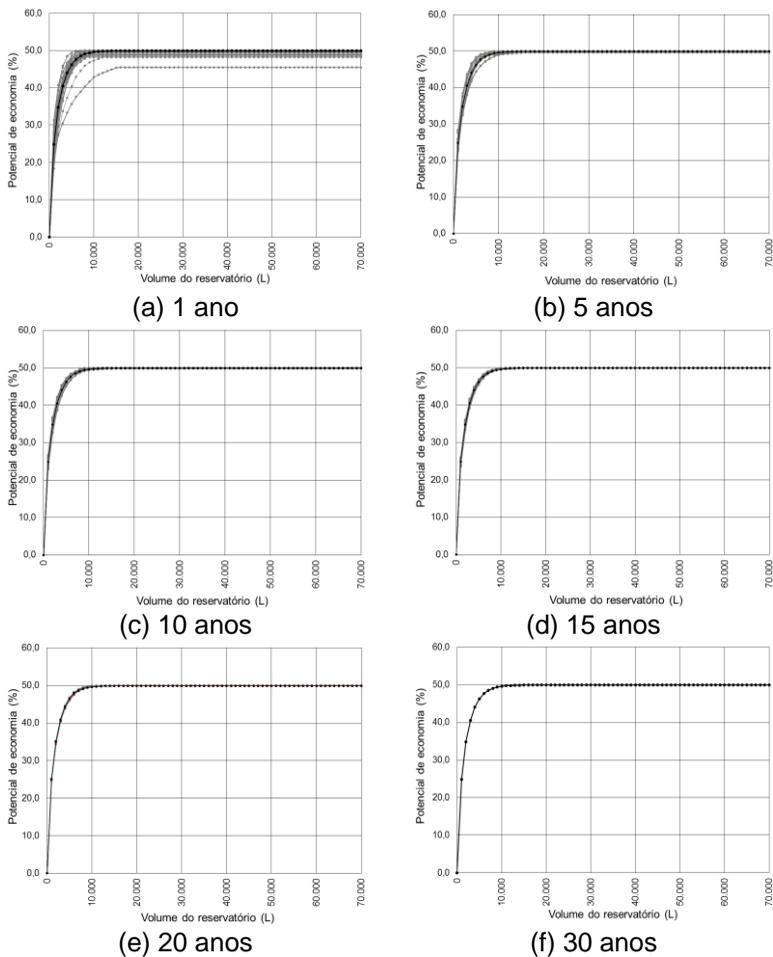
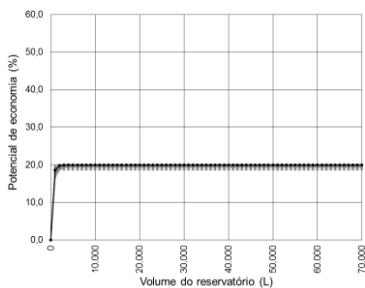


Figura B.36 - Resultados das simulações de Paris, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

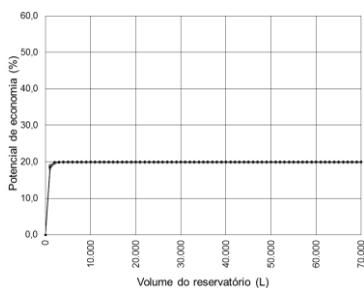


## QUEBEC

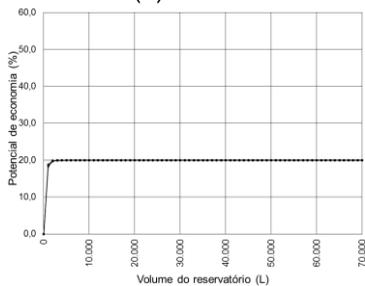
Figura B.37 - Resultados das simulações de Quebec, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



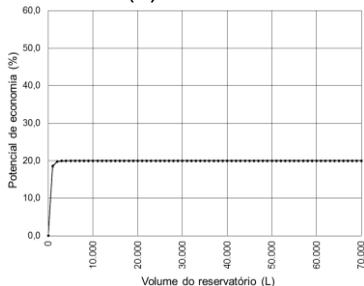
(a) 1 ano



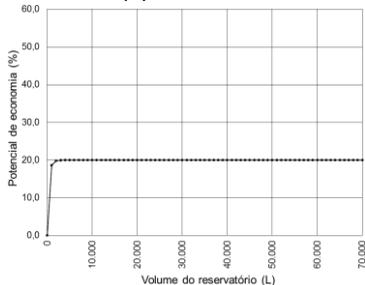
(b) 5 anos



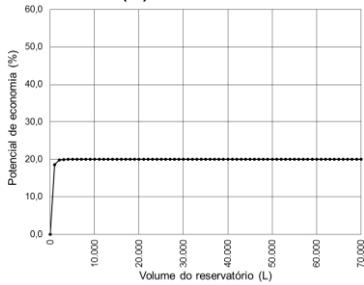
(c) 10 anos



(d) 15 anos



(e) 20 anos



(f) 30 anos

Figura B.38 - Resultados das simulações de Quebec, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

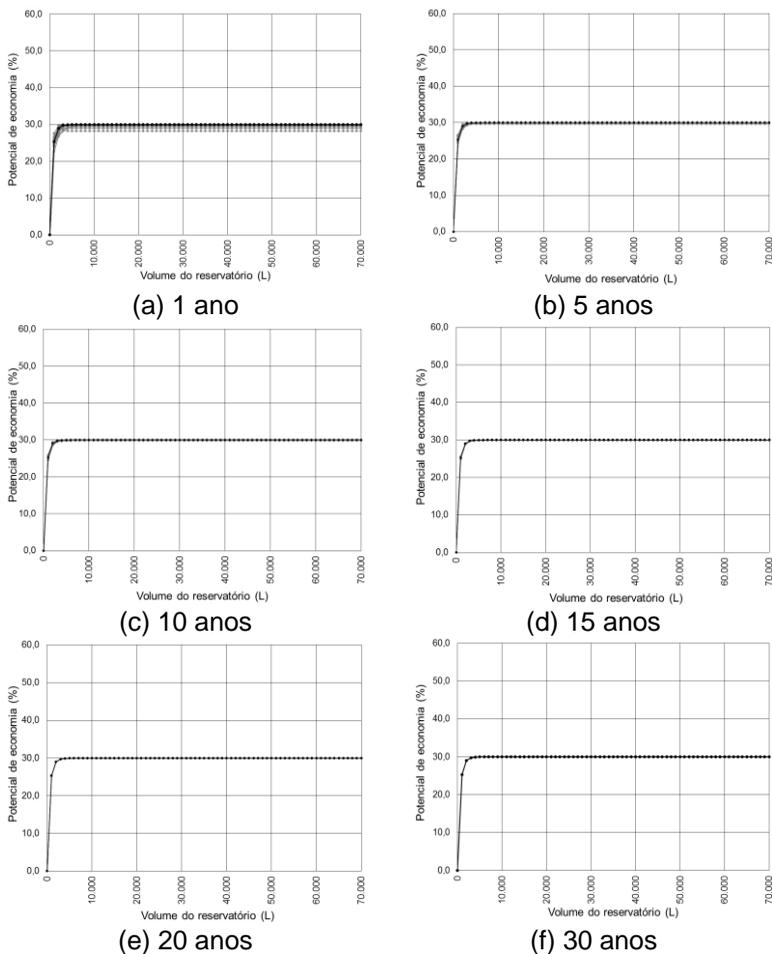


Figura B.39 - Resultados das simulações de Quebec, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

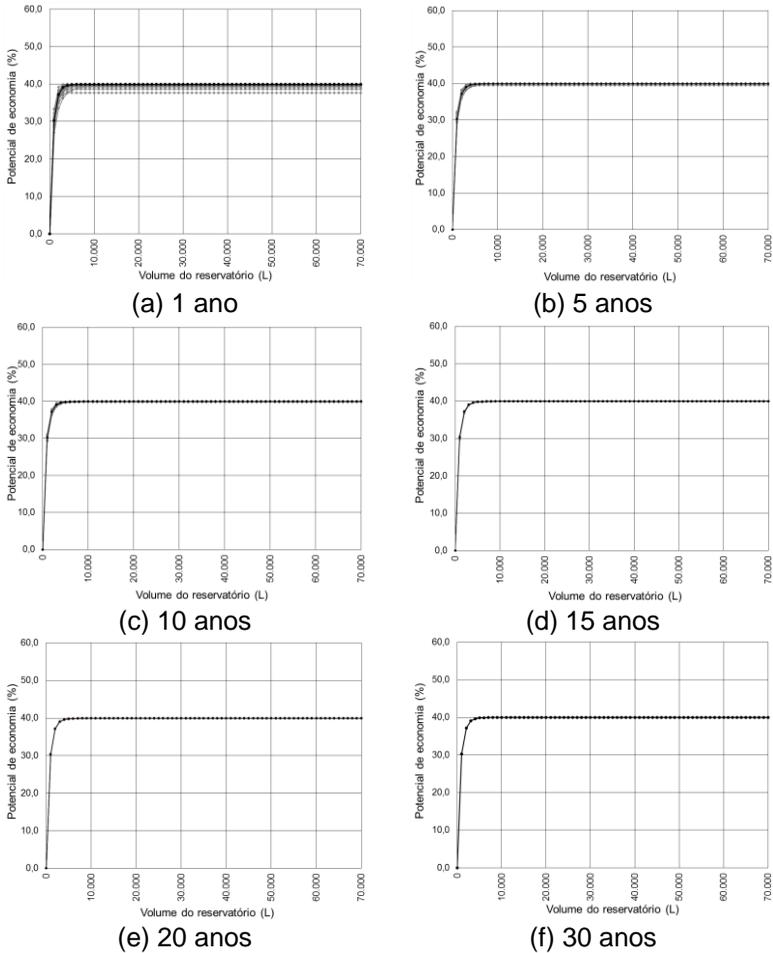
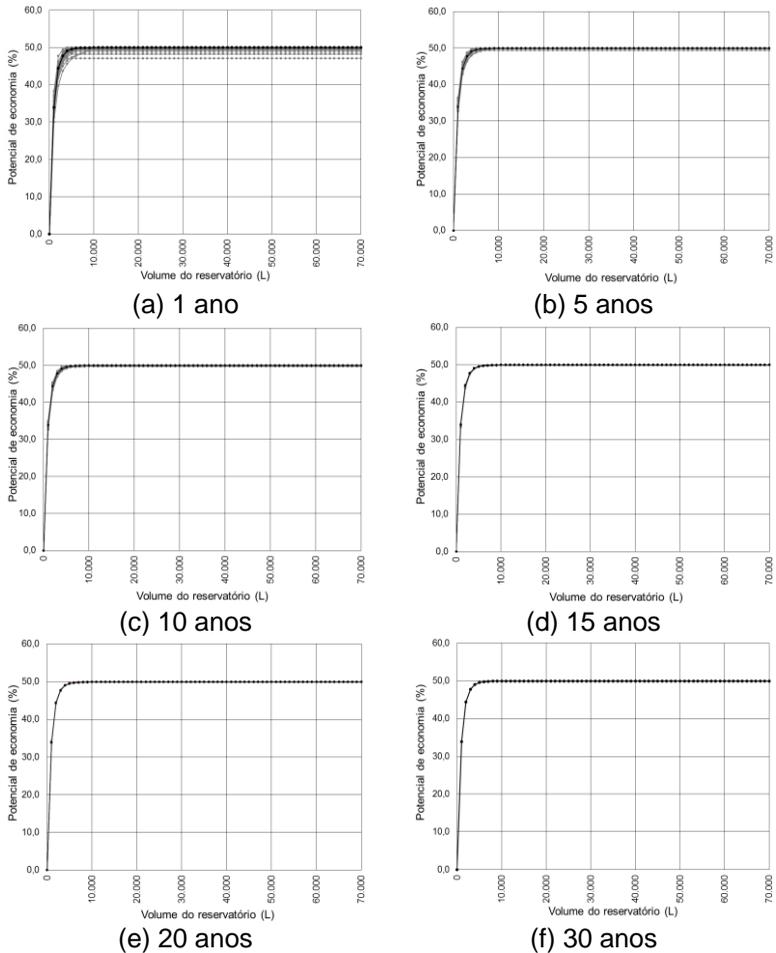
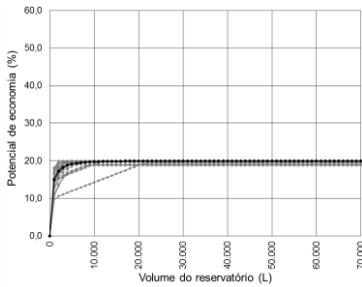


Figura B.40 - Resultados das simulações de Quebec, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

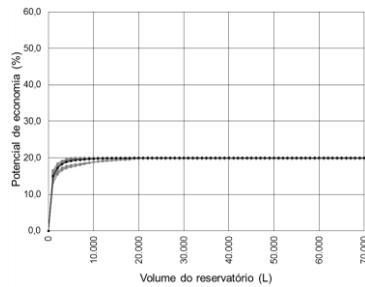


## SANTARÉM

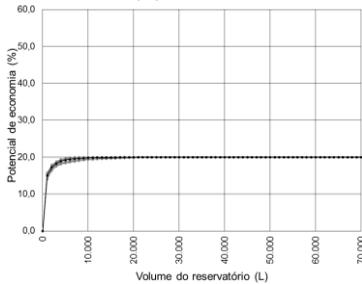
Figura B.41 - Resultados das simulações de Santarém, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



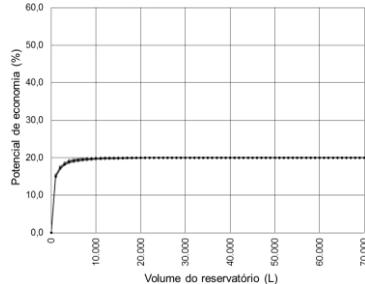
(a) 1 ano



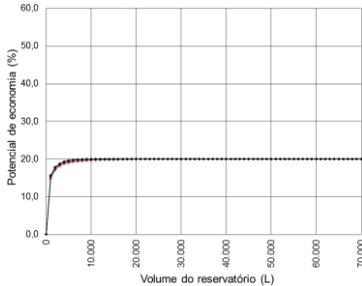
(b) 5 anos



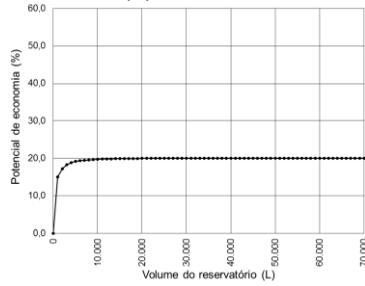
(c) 10 anos



(d) 15 anos



(e) 20 anos



(f) 30 anos

Figura B.42 - Resultados das simulações de Santarém, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

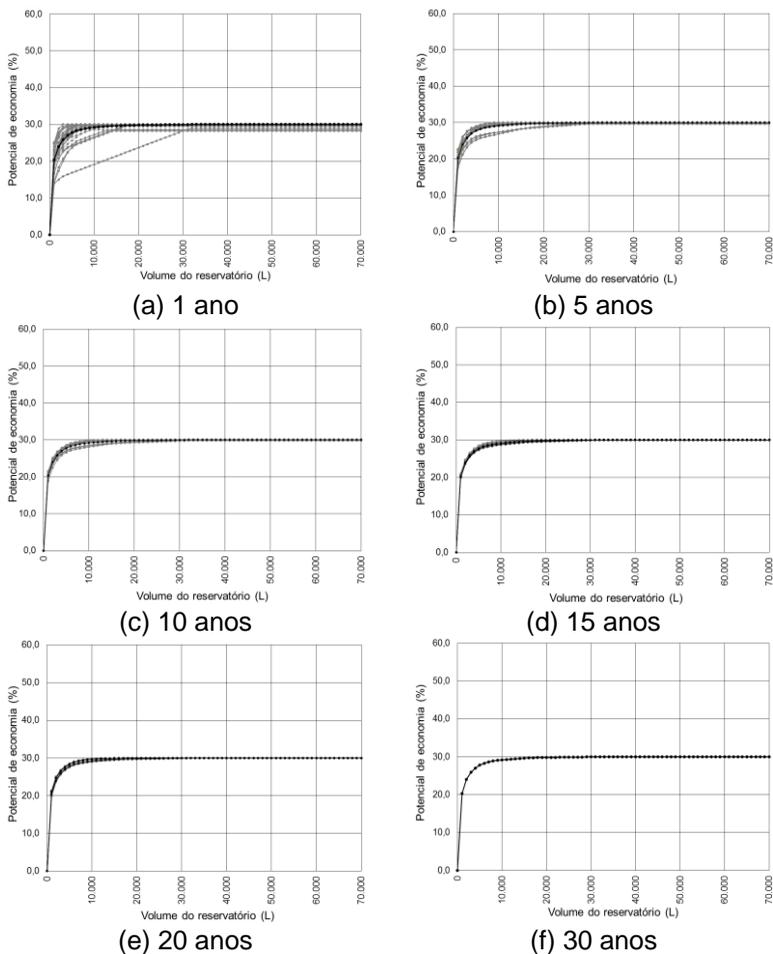


Figura B.43 - Resultados das simulações de Santarém, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

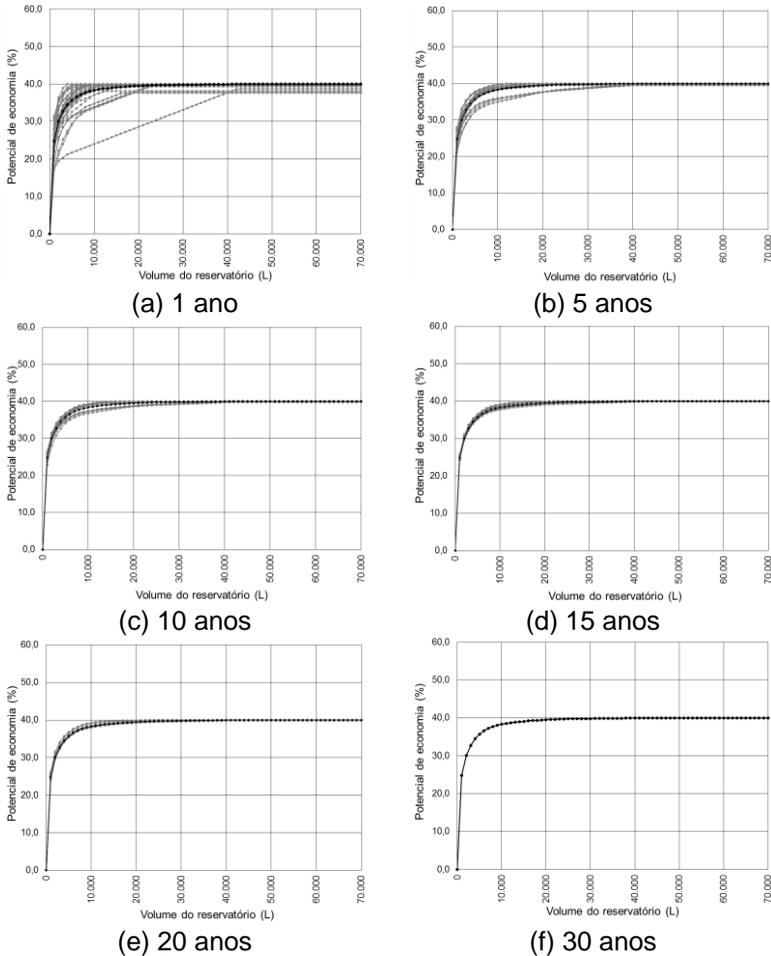
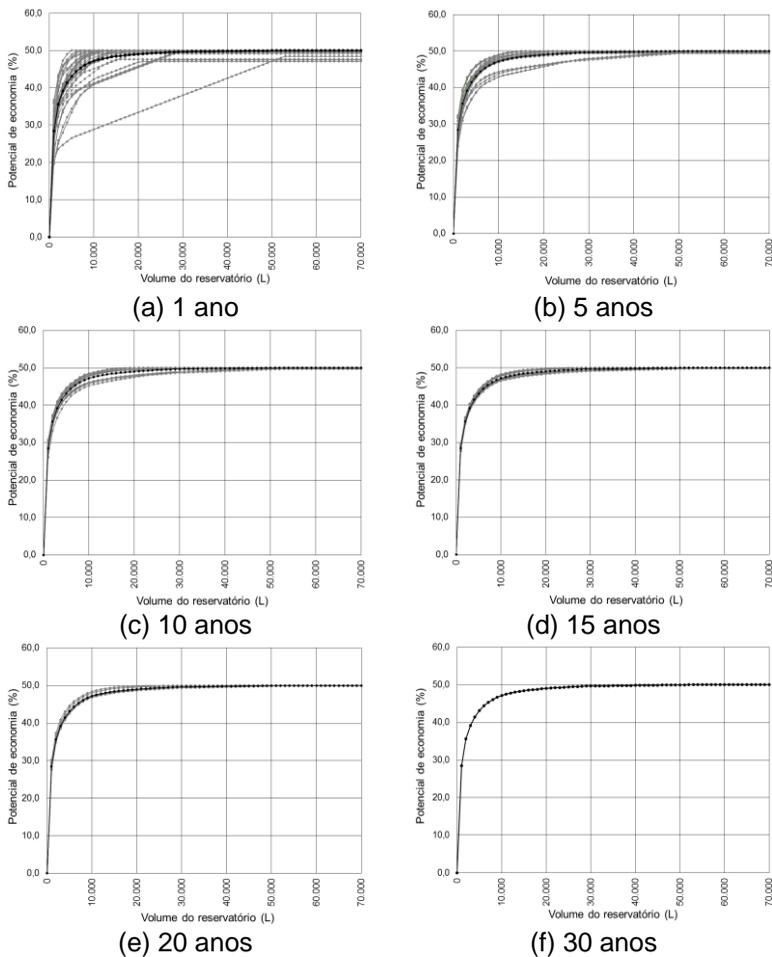


Figura B.44 - Resultados das simulações de Santarém, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



**SANTO AMARO**

Figura B.45 - Resultados das simulações de Santo Amaro, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

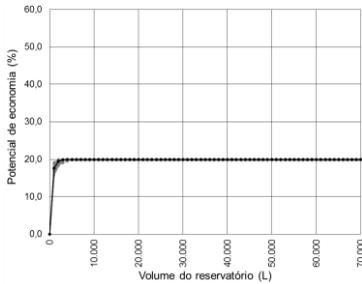
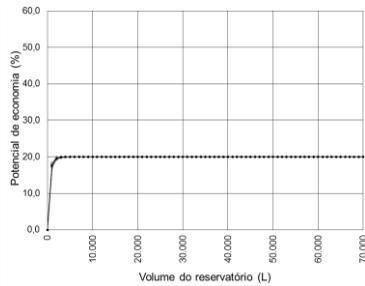
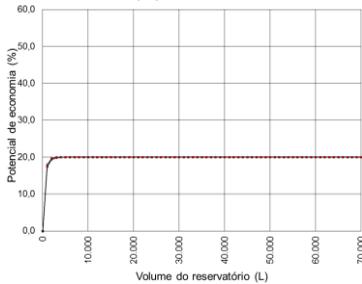
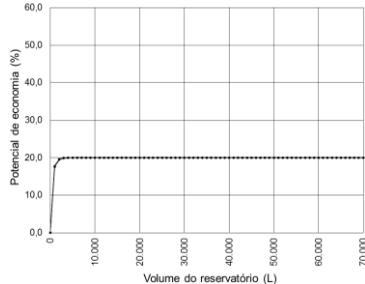
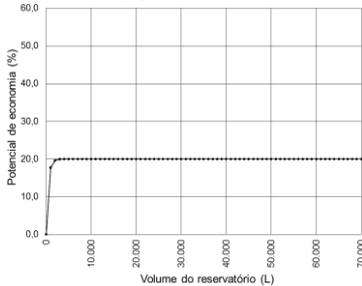
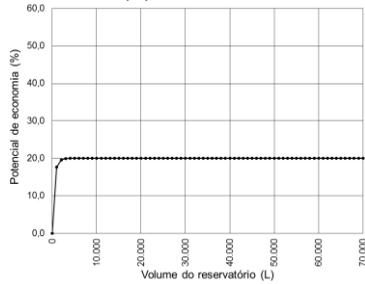
**(a) 1 ano****(b) 5 anos****(c) 10 anos****(d) 15 anos****(e) 20 anos****(f) 30 anos**

Figura B.46 - Resultados das simulações de Santo Amaro, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

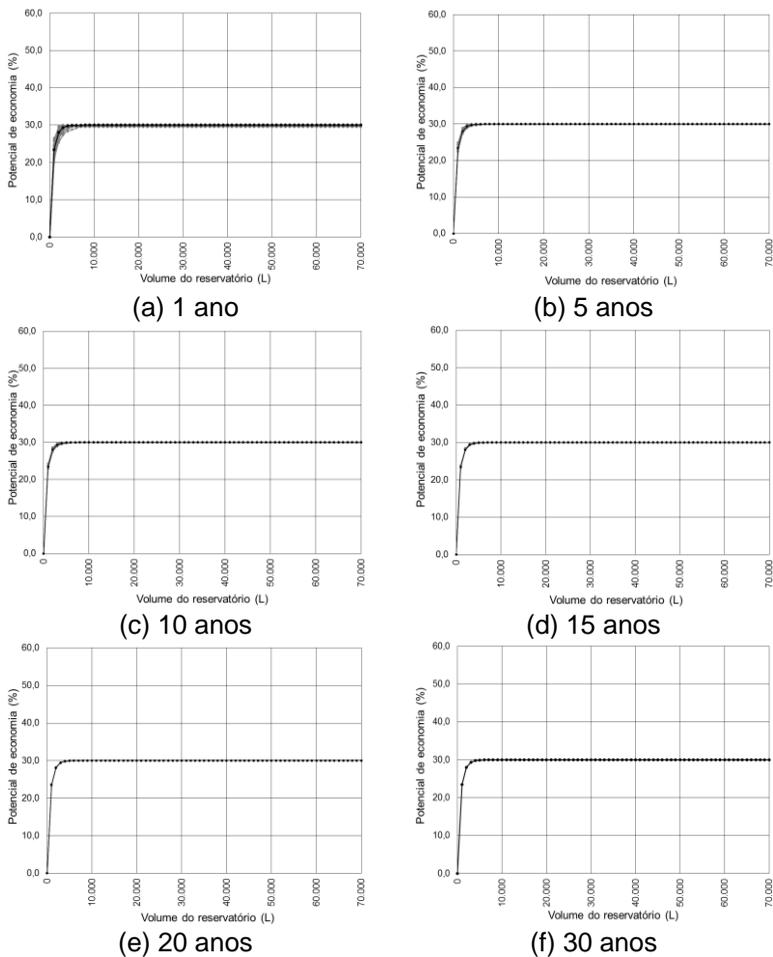
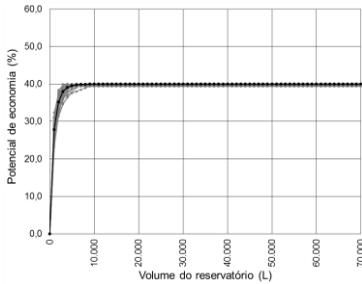
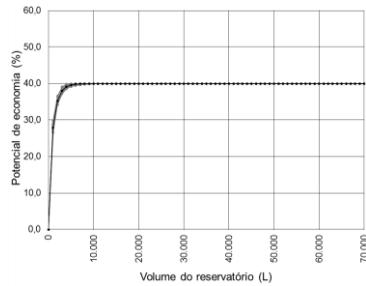


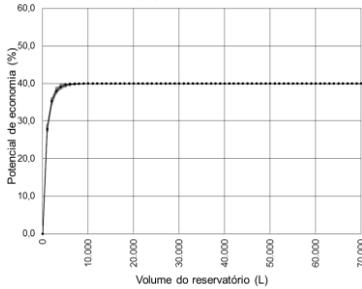
Figura B.47 - Resultados das simulações de Santo Amaro, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



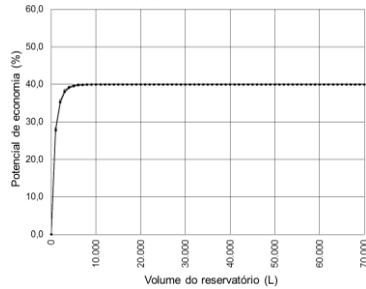
(a) 1 ano



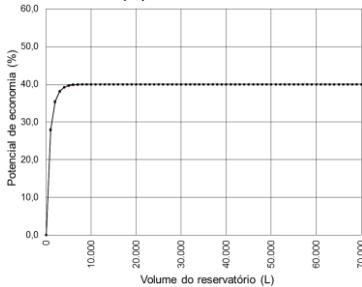
(b) 5 anos



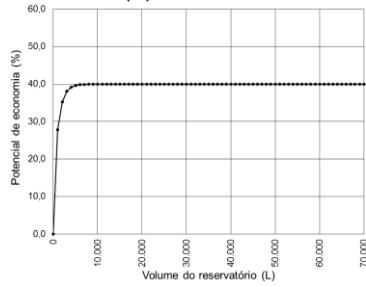
(c) 10 anos



(d) 15 anos

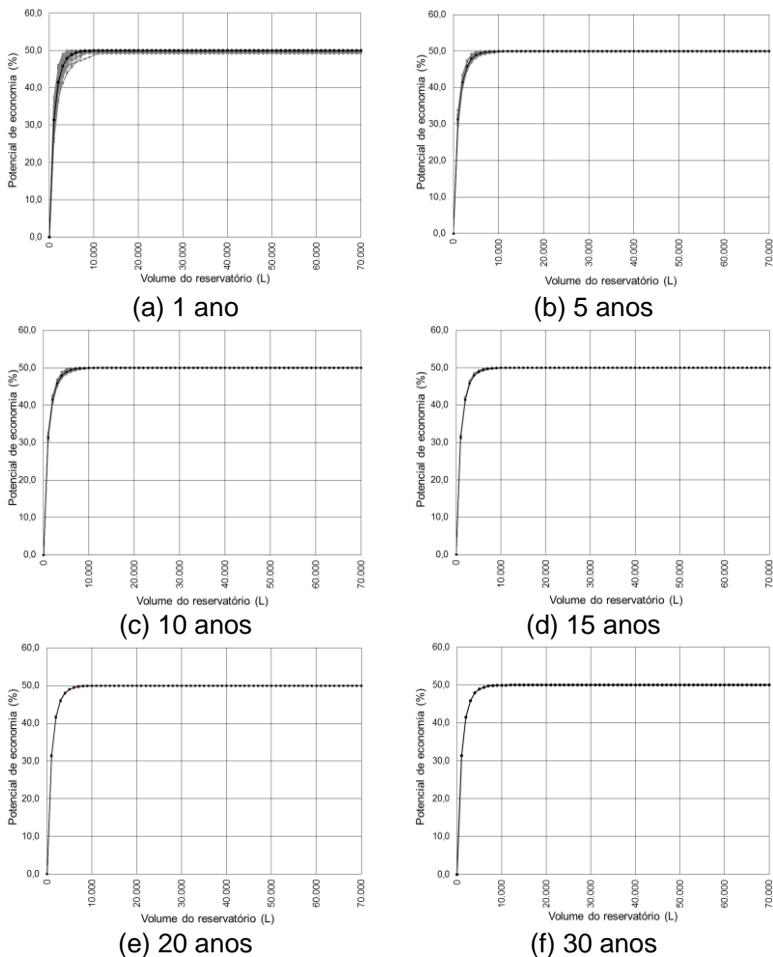


(e) 20 anos



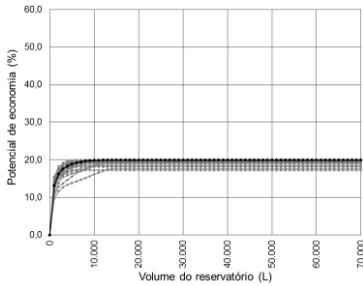
(f) 30 anos

Figura B.48 - Resultados das simulações de Santo Amaro, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

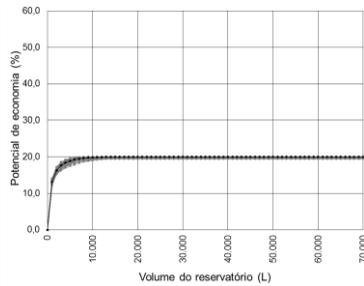


## SHANWEI

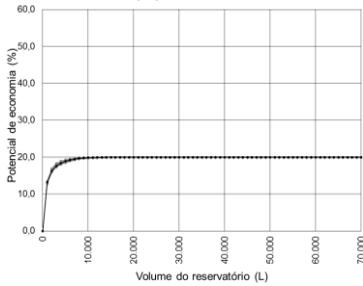
Figura B.49 - Resultados das simulações de Shanwei, para demanda de água pluvial de 20% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



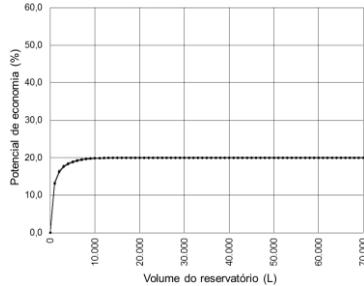
(a) 1 ano



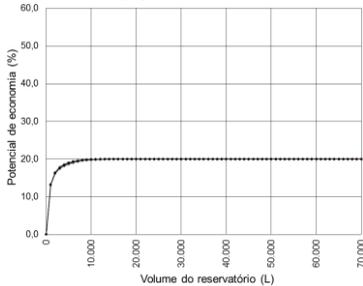
(b) 5 anos



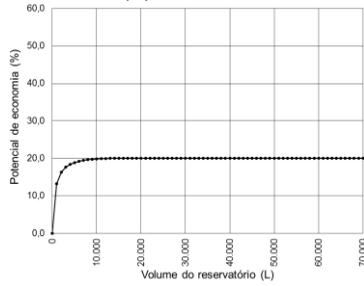
(c) 10 anos



(d) 15 anos



(e) 20 anos



(f) 30 anos

Figura B.50 - Resultados das simulações de Shanwei, para demanda de água pluvial de 30% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

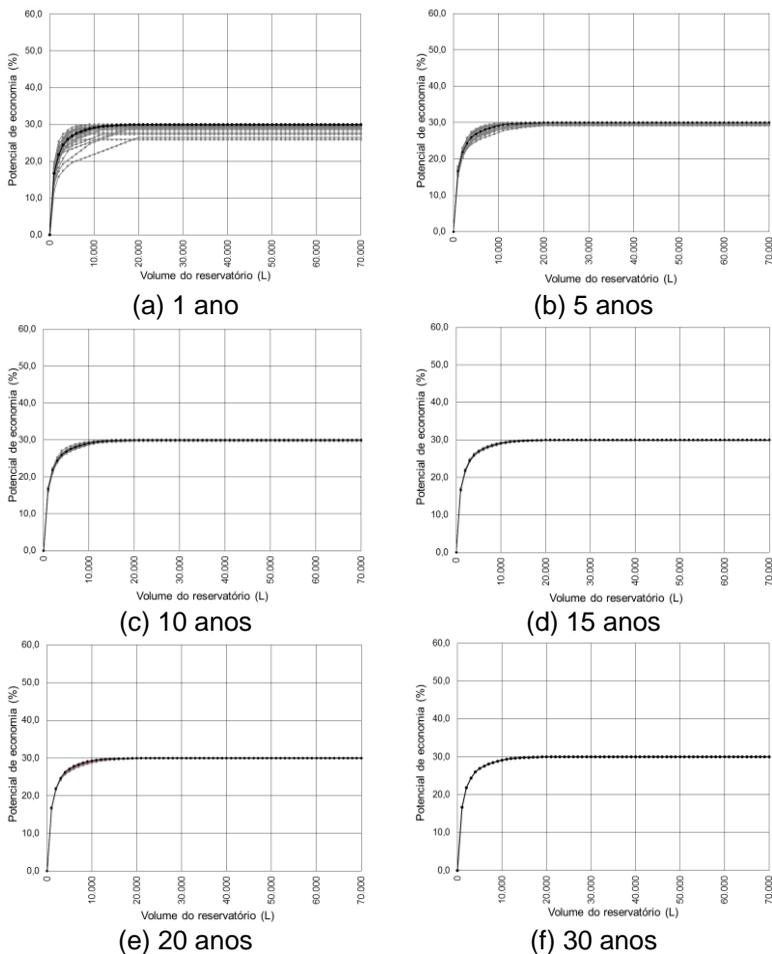


Figura B.51 - Resultados das simulações de Shanwei, para demanda de água pluvial de 40% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.

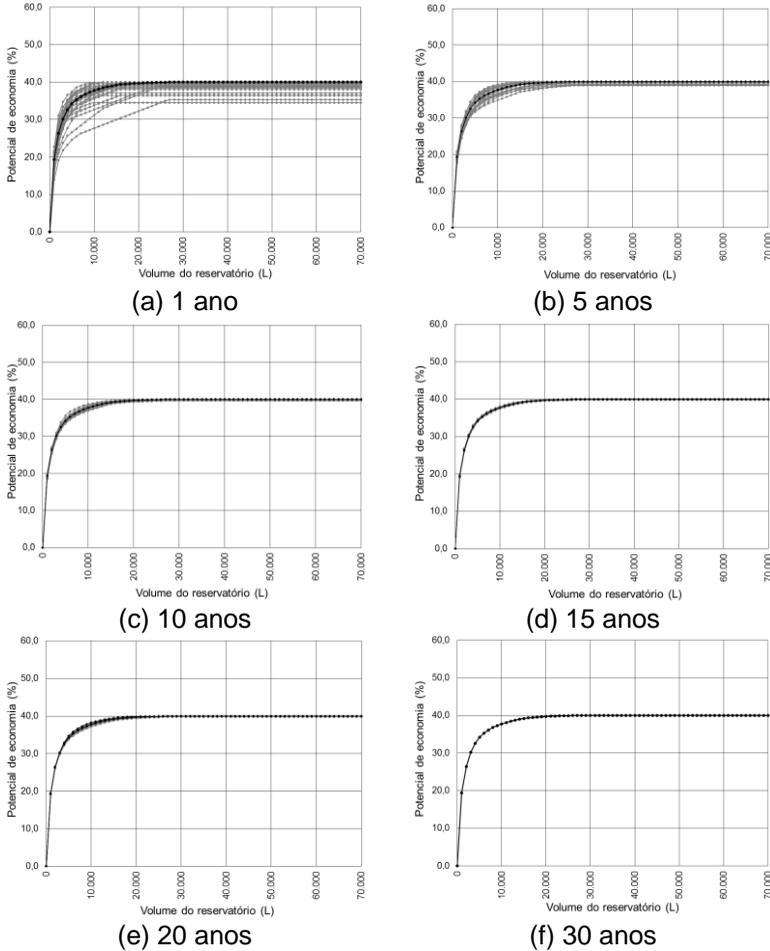
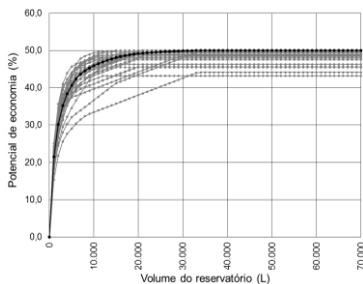
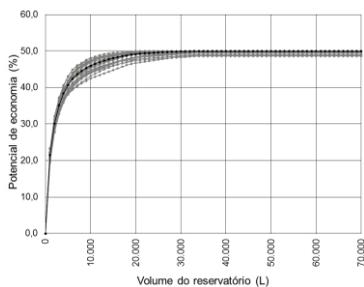


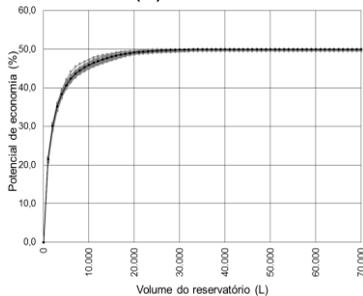
Figura B.52 - Resultados das simulações de Shanwei, para demanda de água pluvial de 50% da demanda total. Curvas em cinza são as séries curtas e as curvas em preto representam a série histórica.



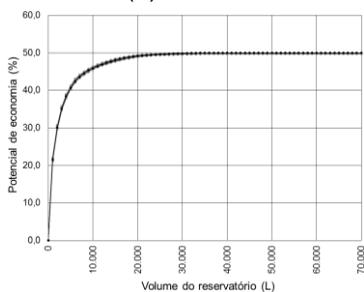
(a) 1 ano



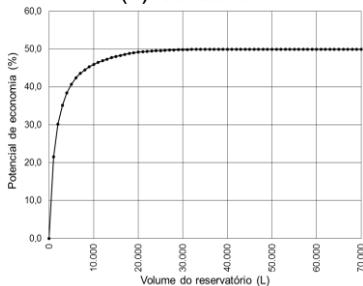
(b) 5 anos



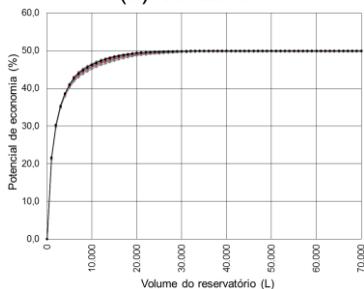
(c) 10 anos



(d) 15 anos



(e) 20 anos



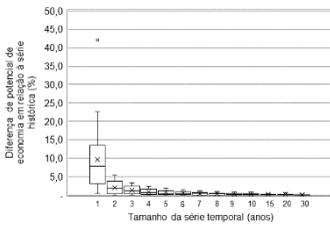
(f) 30 anos



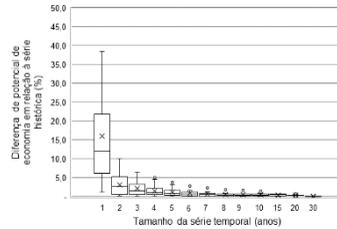
## **APÊNDICE C – RESULTADOS DA ANÁLISE QUANTITATIVA**

## ALEXANDRIA

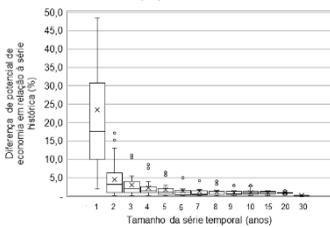
Figura C.1 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Alexandria, para as quatro demandas de água pluvial.



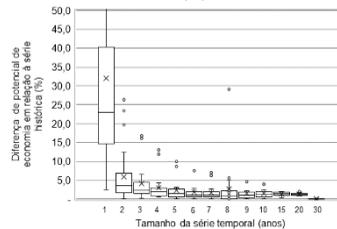
(a) 20%



(b) 30%



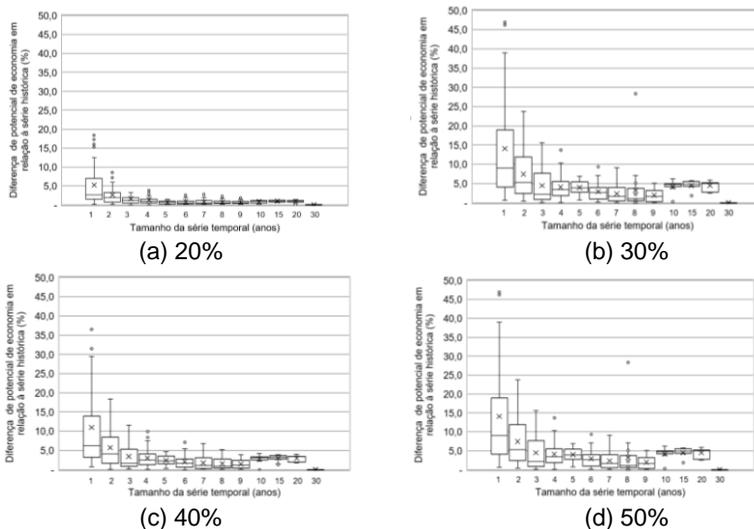
(c) 40%



(d) 50%

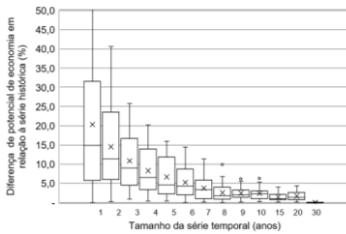
## BARCELONA

Figura C.2 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Barcelona, para as quatro demandas de água pluvial.

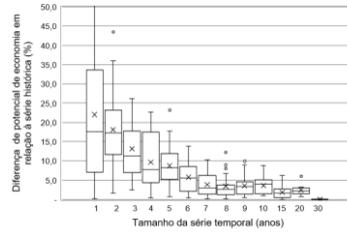


## BERLIM

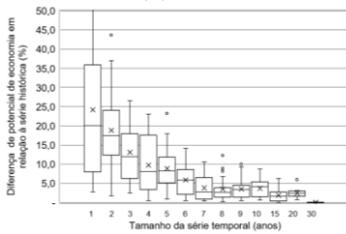
Figura C.3 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Berlim, para as quatro demandas de água pluvial.



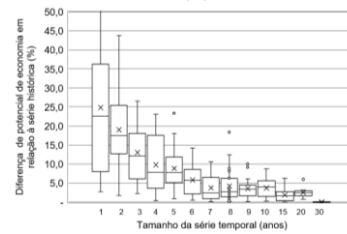
(a) 20%



(b) 30%



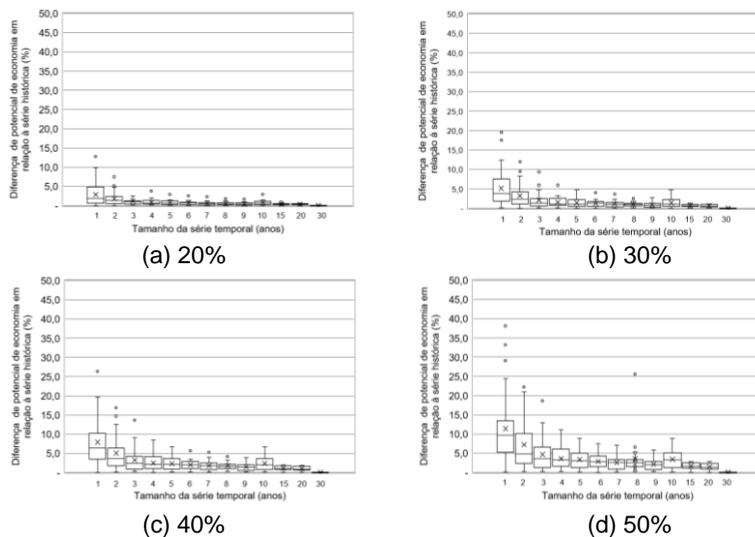
(c) 40%



(d) 50%

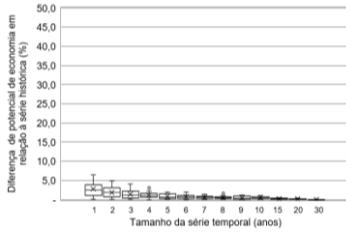
## DAR-EL-BEIDA

Figura C.4 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Dar-El-Beida, para as quatro demandas de água pluvial.

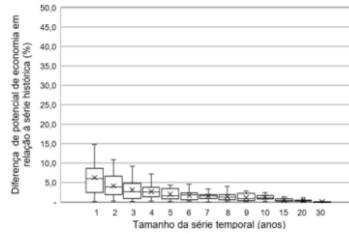


## DARWIN

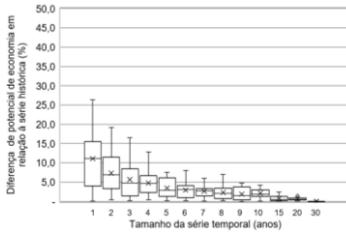
Figura C.5 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Darwin, para as quatro demandas de água pluvial.



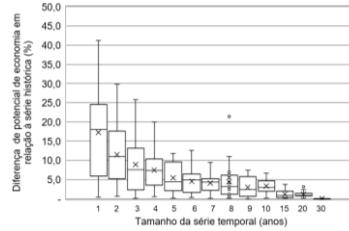
(a) 20%



(b) 30%



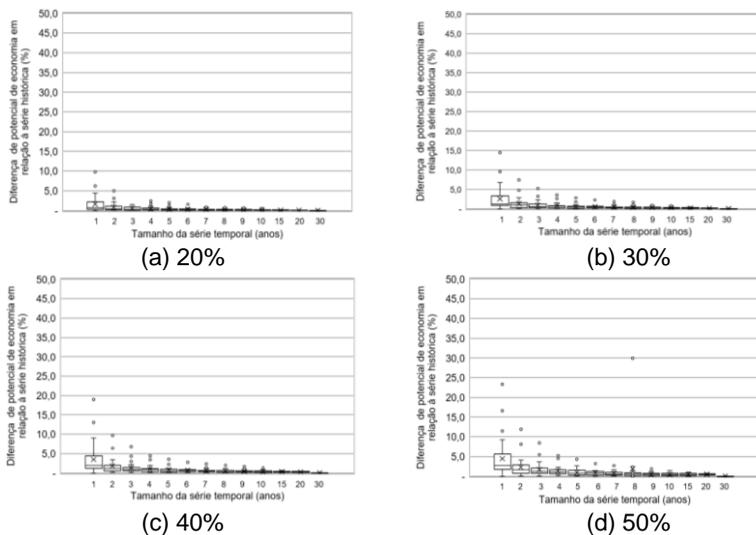
(c) 40%



(d) 50%

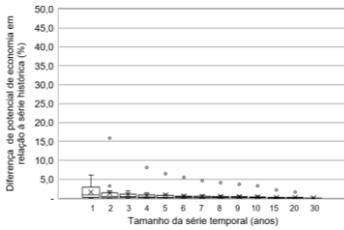
## ENCARNACIÓN

Figura C.6 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Encarnación, para as quatro demandas de água pluvial.

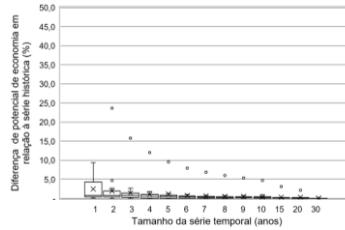


## MOSCOU

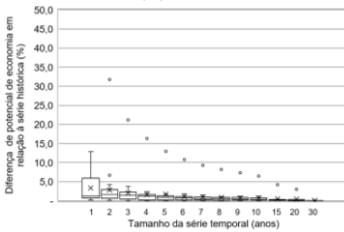
Figura C.7 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Moscou, para as quatro demandas de água pluvial.



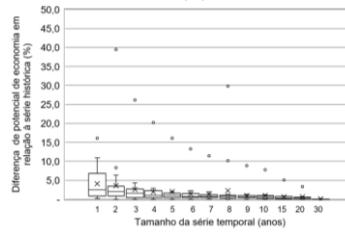
(a) 20%



(b) 30%



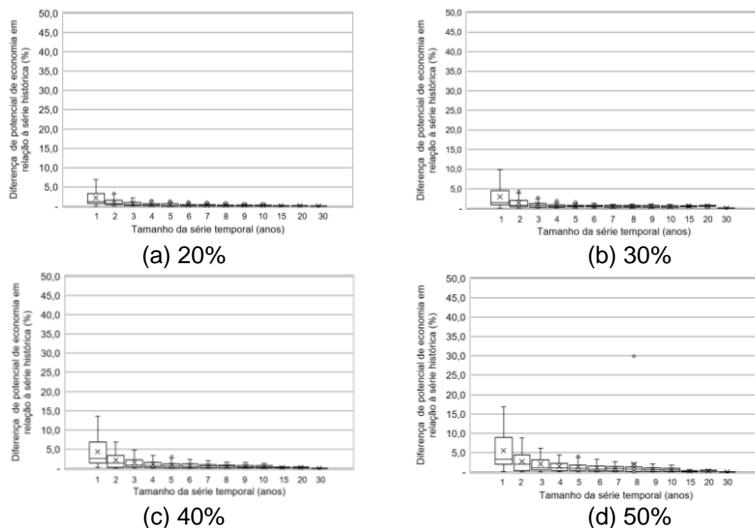
(c) 40%



(d) 50%

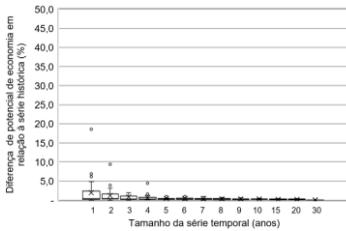
## NOVA IORQUE

Figura C.8 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Nova Iorque, para as quatro demandas de água pluvial.

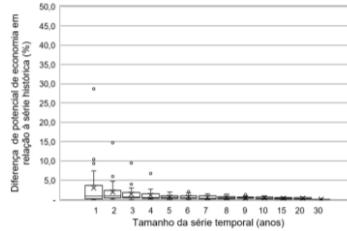


## PARIS

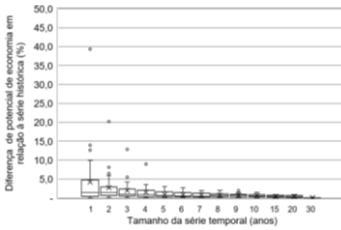
Figura C.9 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Paris, para as quatro demandas de água pluvial.



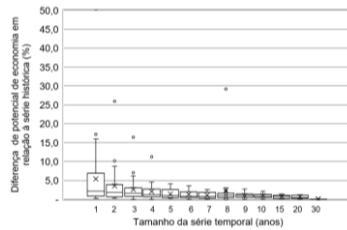
(a) 20%



(b) 30%



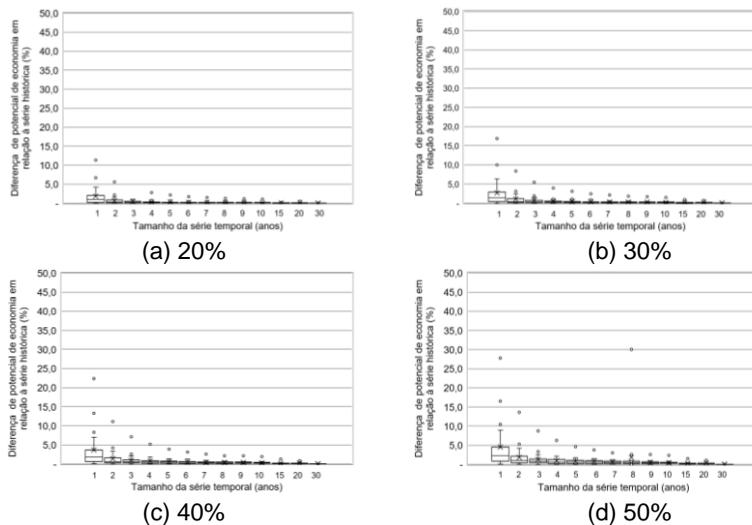
(c) 40%



(d) 50%

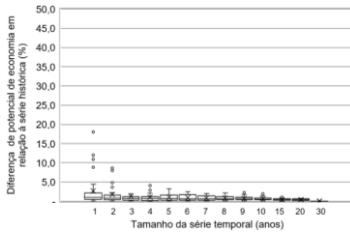
## QUEBEC

Figura C.10 – Diferença de potenciais d e economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Quebec, para as quatro demandas de água pluvial.

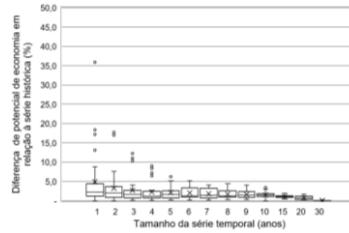


## SANTARÉM

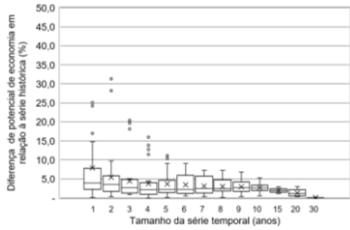
Figura C.11 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Santarém, para as quatro demandas de água pluvial.



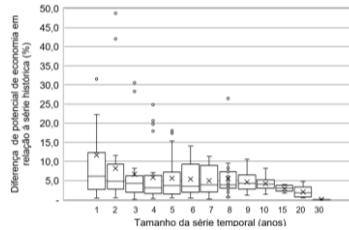
(a) 20%



(b) 30%



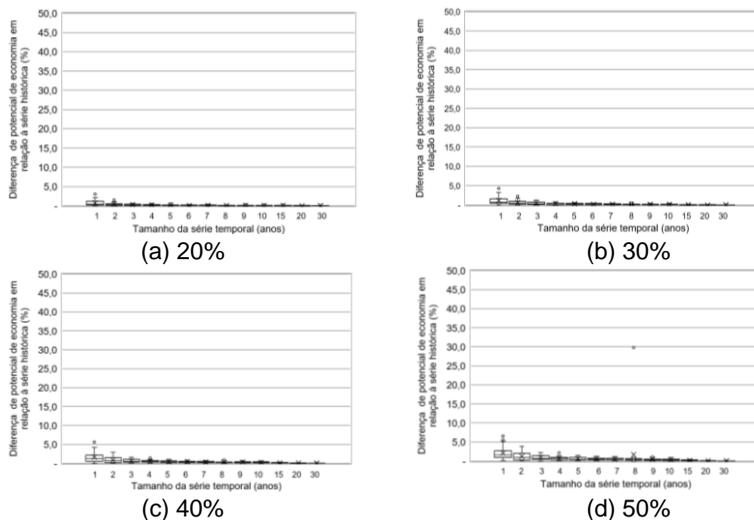
(c) 40%



(d) 50%

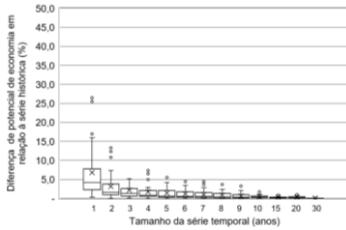
**SANTO AMARO**

Figura C.12 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Santo Amaro, para as quatro demandas de água pluvial.

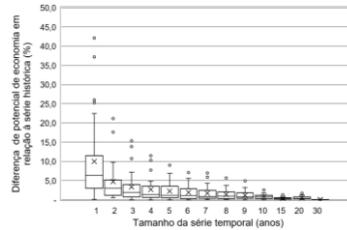


## SHANWEI

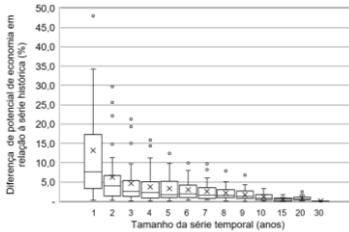
Figura C.13 – Diferença de potenciais de economia entre resultados de simulações com séries temporais curtas e série histórica, para a cidade de Shanwei, para as quatro demandas de água pluvial.



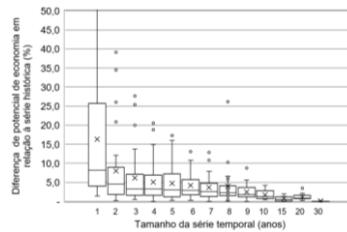
(a) 20%



(b) 30%



(c) 40%



(d) 50%

## **APÊNDICE D – RESULTADOS DA ANÁLISE POR INDICADORES**

## ALEXANDRIA

Figura D.1 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Alexandria, para cada demanda de água pluvial.

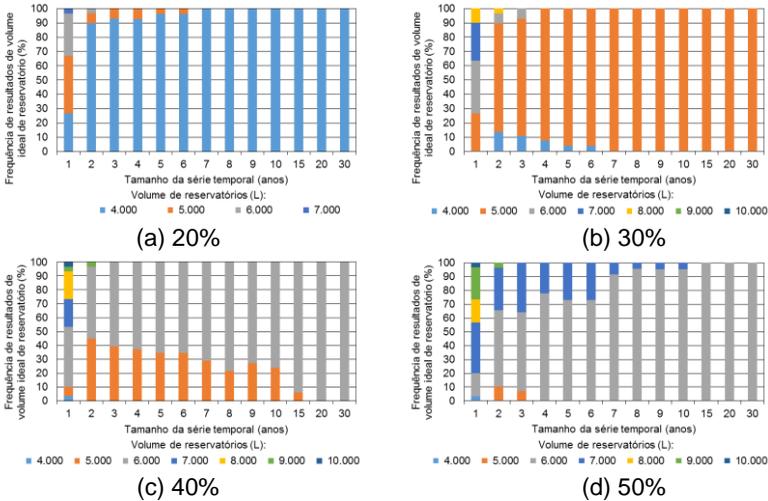


Figura D.2 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Alexandria, para cada demanda de água pluvial.

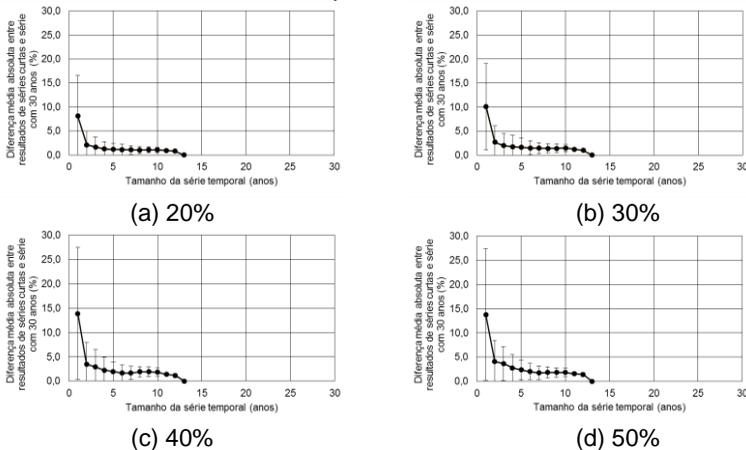
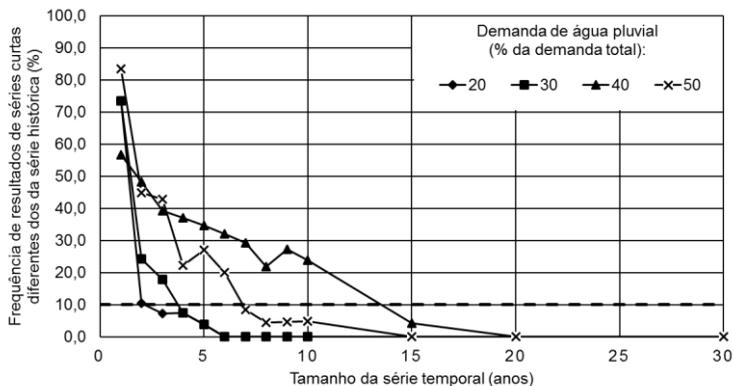
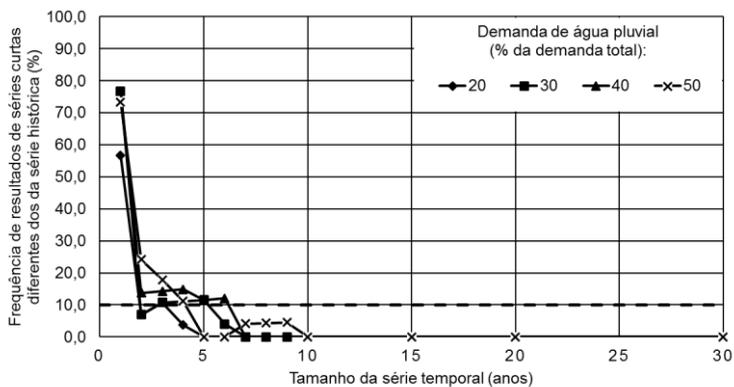


Figura D.3 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Alexandria.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

## BARCELONA

Figura D.4 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Barcelona, para cada demanda de água pluvial.

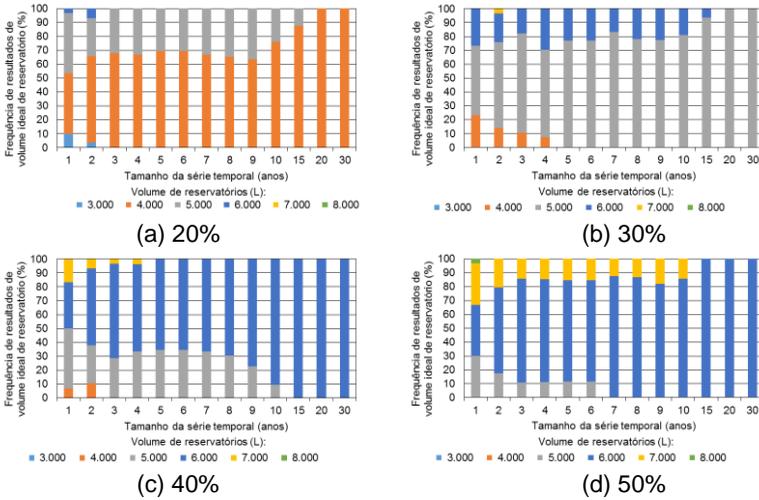


Figura D.5 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Barcelona, para cada demanda de água pluvial.

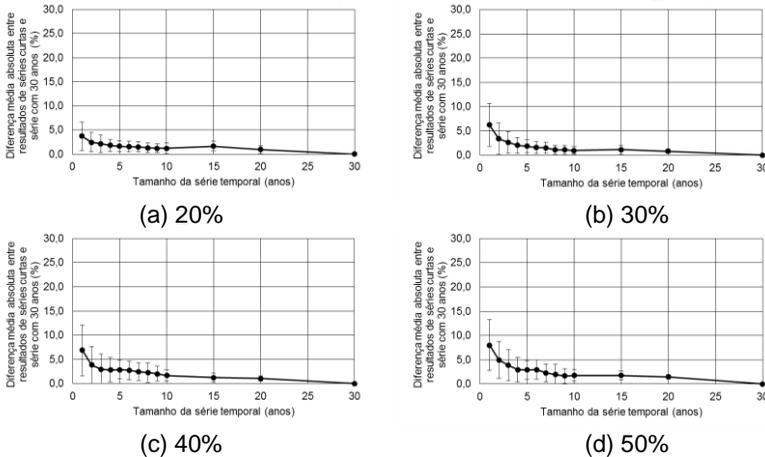
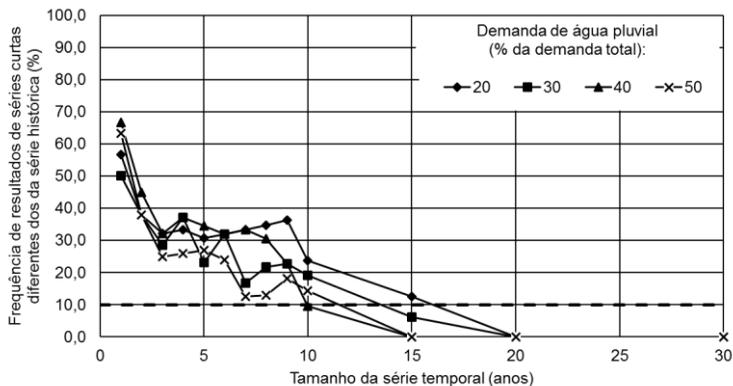
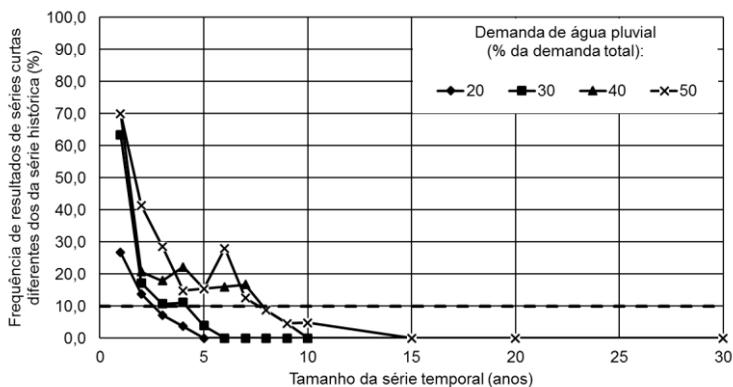


Figura D.6 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Barcelona.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

## BERLIM

Figura D.7 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Berlim, para cada demanda de água pluvial.

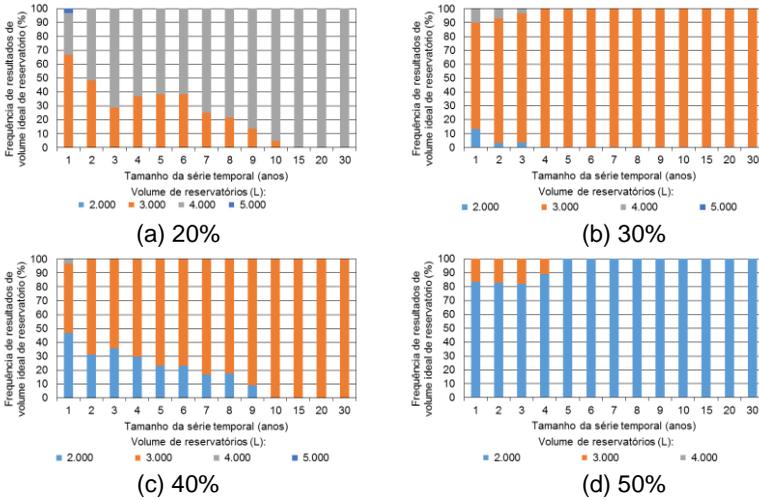


Figura D.8 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Berlim, para cada demanda de água pluvial.

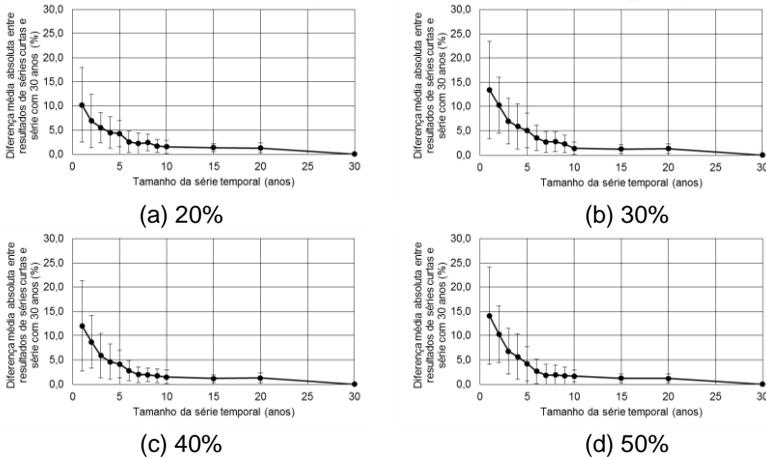
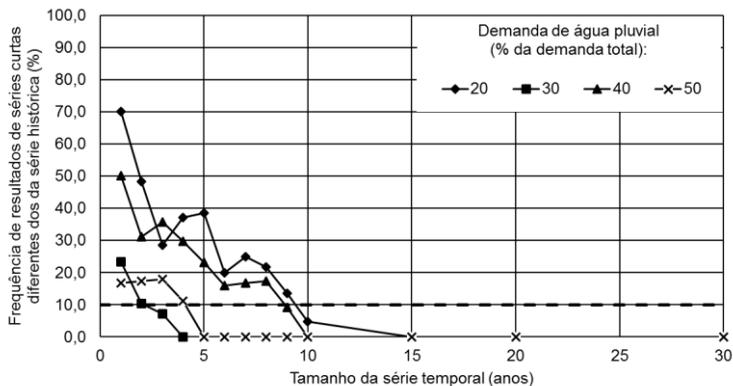
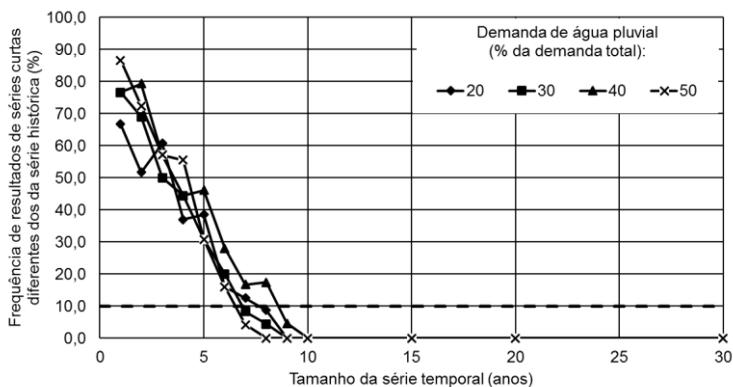


Figura D.9 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Berlim.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

## DAR-EL-BEIDA

Figura D.10 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Dar-El-Beida, para cada demanda de água pluvial.

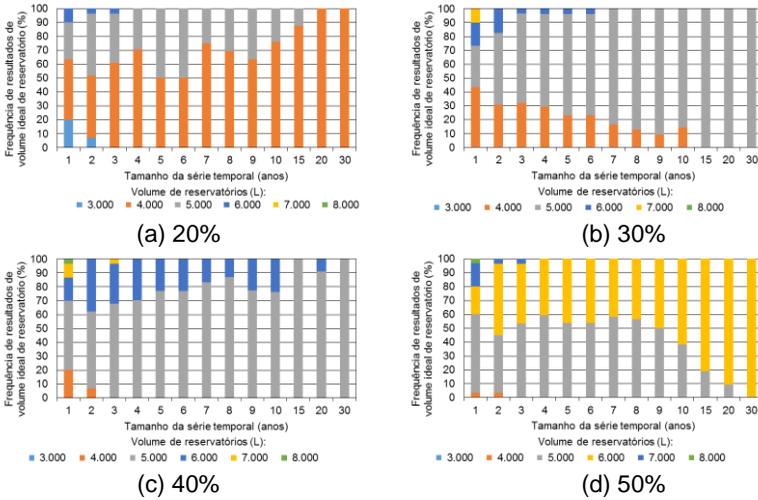


Figura D.11 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Dar-El-Beida, para cada demanda de água pluvial.

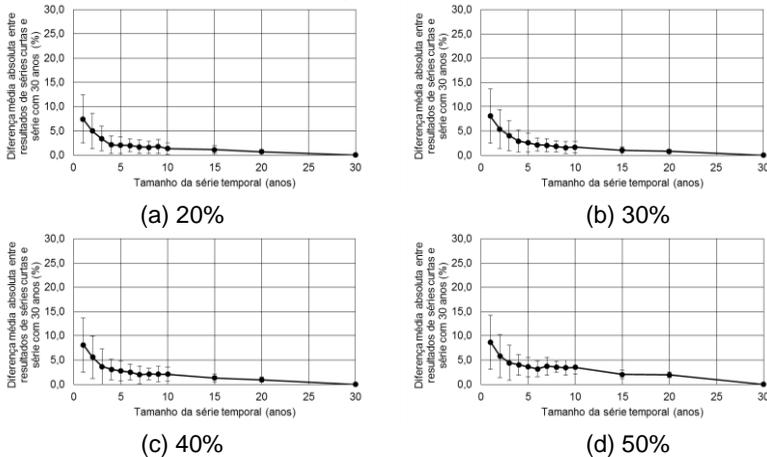
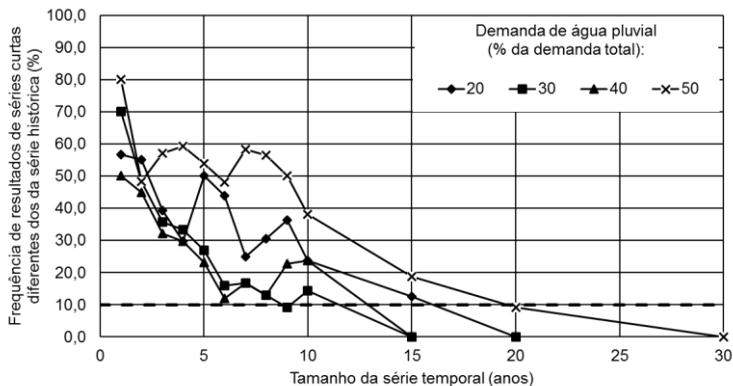
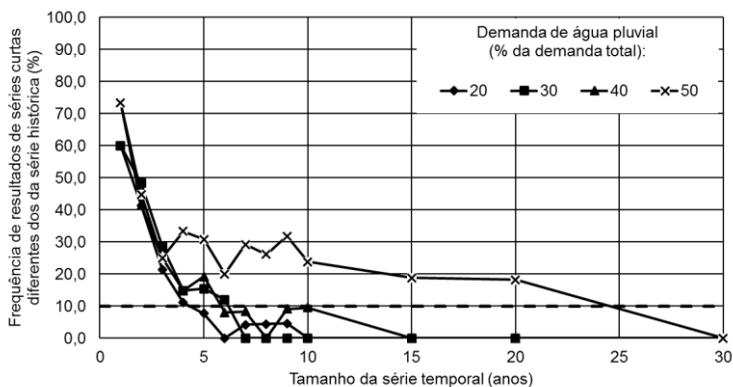


Figura D.12 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Dar-El-Beida.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

## DARWIN

Figura D.13 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Darwin, para cada demanda de água pluvial.

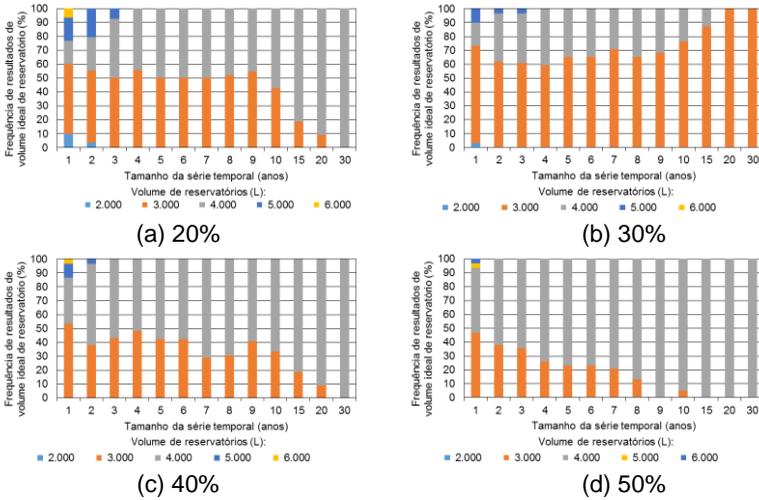


Figura D.14 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Darwin, para cada demanda de água pluvial.

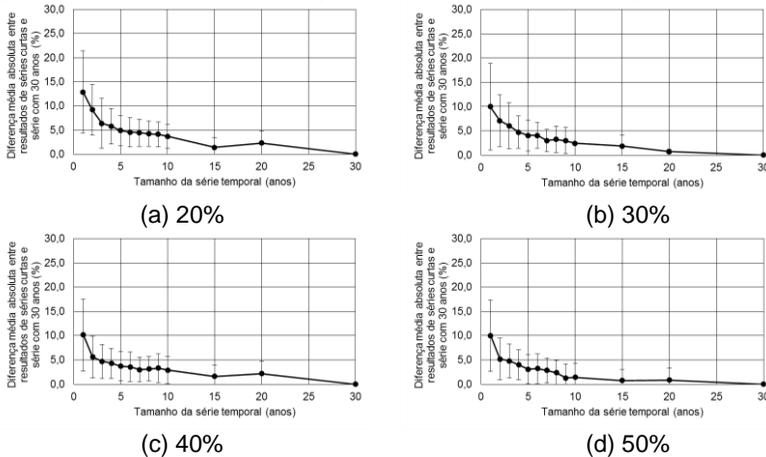
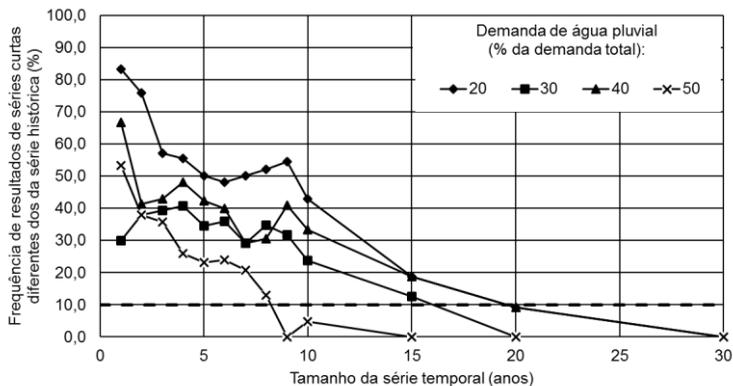
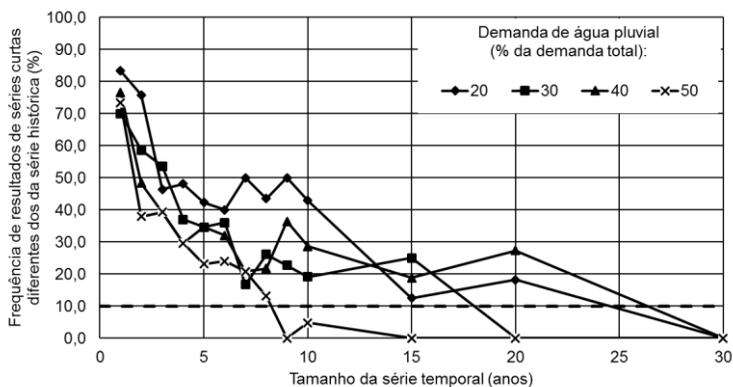


Figura D.15 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Darwin.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

## ENCARNACIÓN

Figura D.16 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Encarnación, para cada demanda de água pluvial.

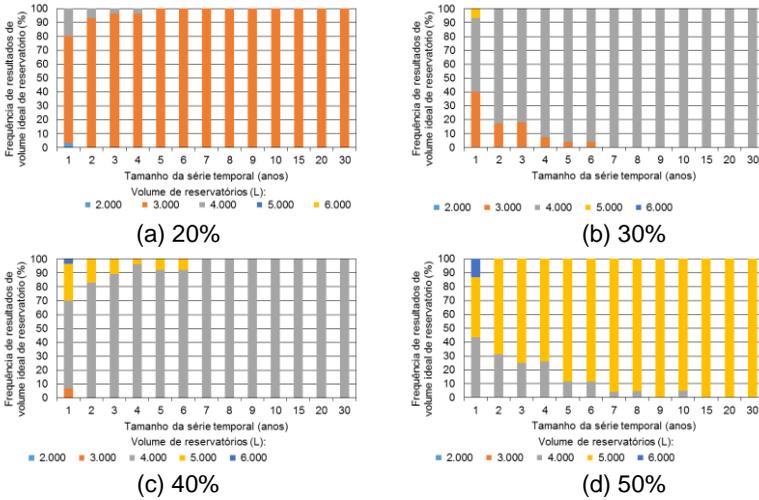


Figura D.17 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Encarnación, para cada demanda de água pluvial.

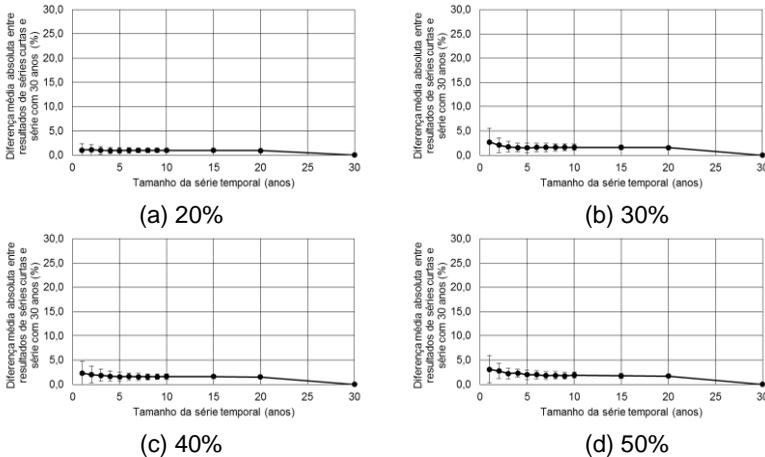
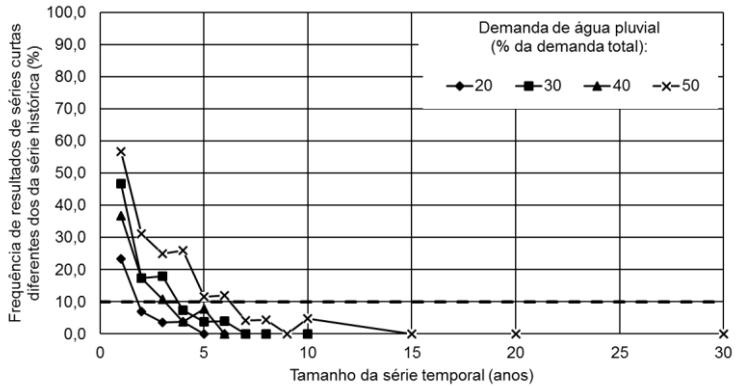
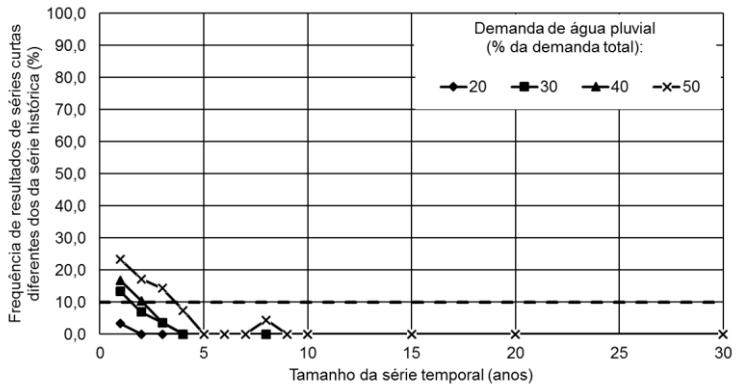


Figura D.18 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Encarnación.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

## MOSCOU

Figura D.19 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Moscou, para cada demanda de água pluvial.

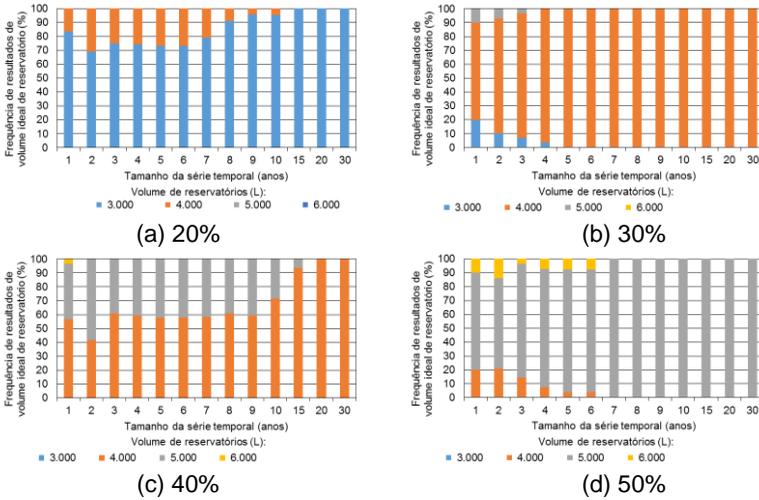


Figura D.20 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Moscou, para cada demanda de água pluvial.

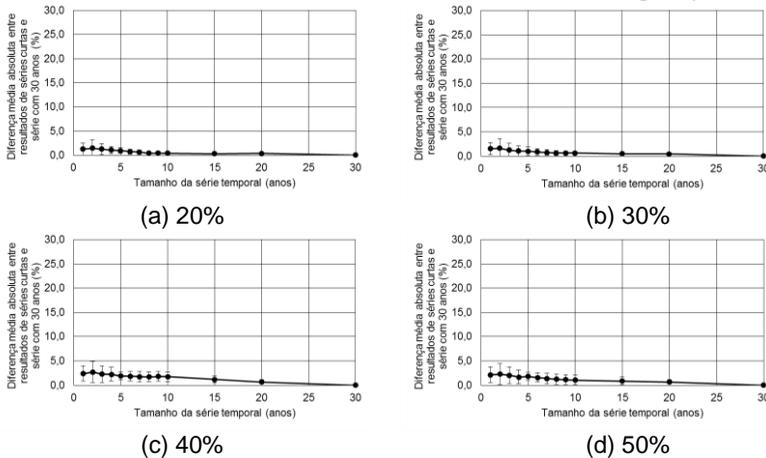
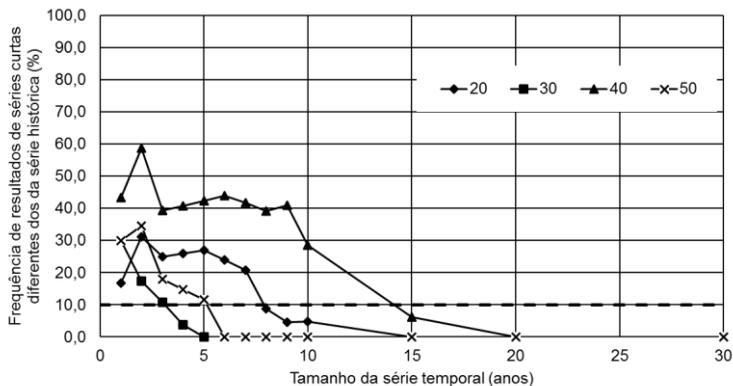
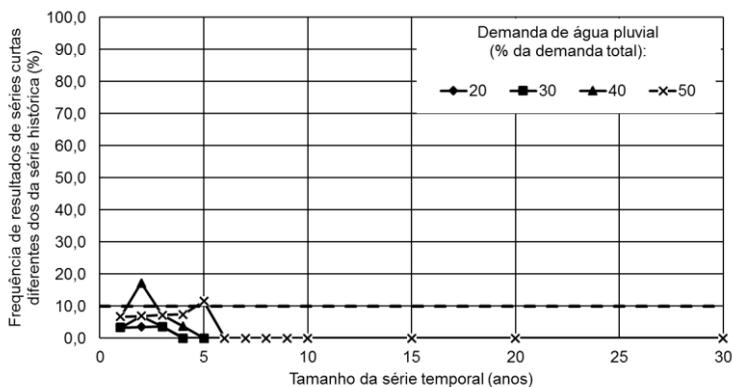


Figura D.21 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Moscou.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

## NOVA IORQUE

Figura D.22 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Nova Iorque, para cada demanda de água pluvial.

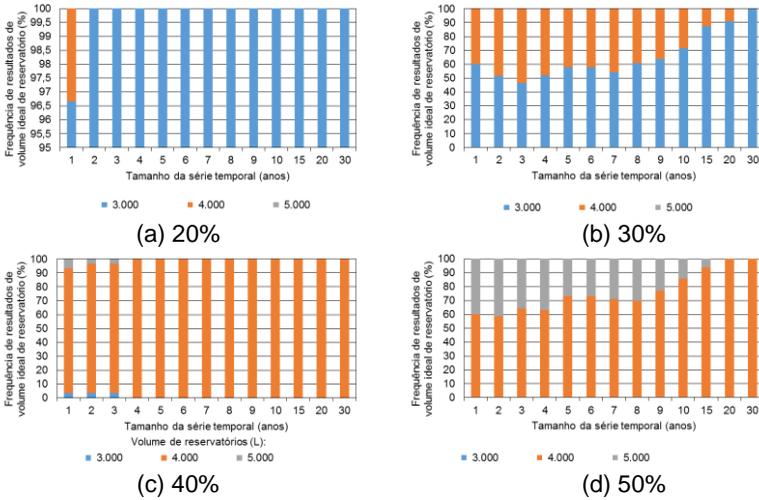


Figura D.23 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Nova Iorque, para cada demanda de água pluvial.

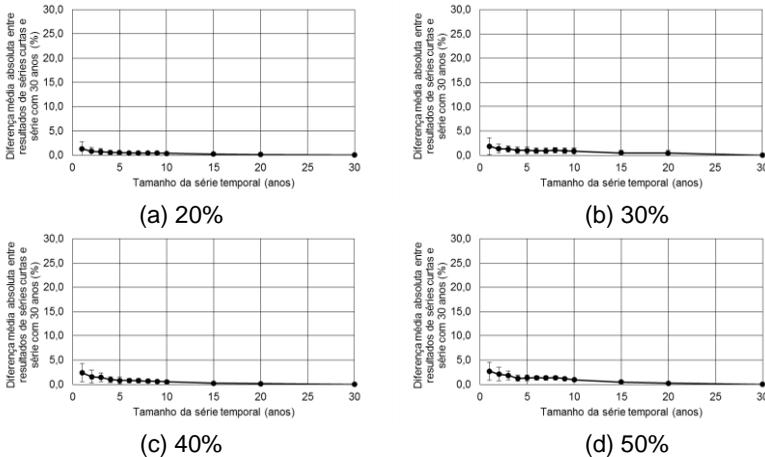
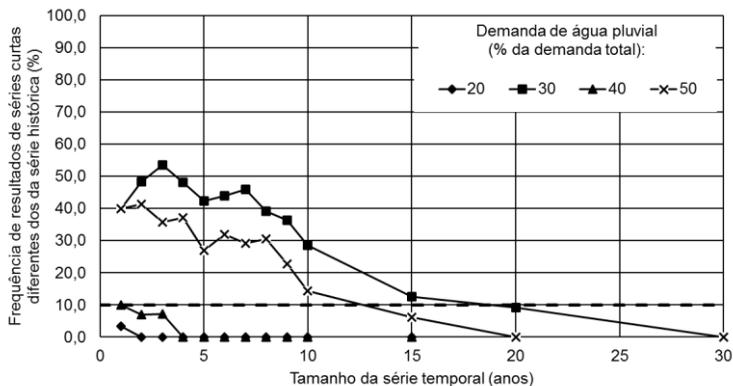
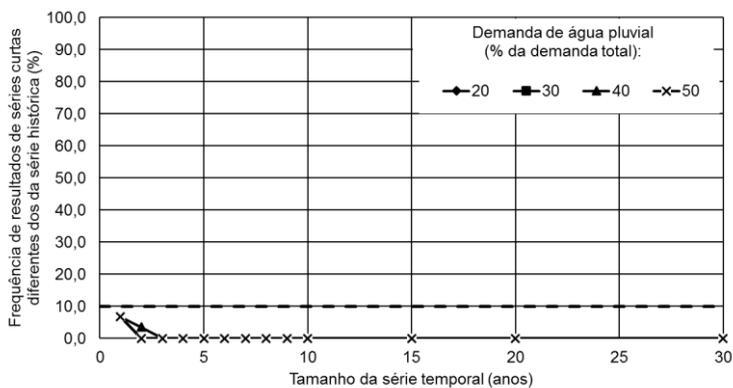


Figura D.24 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Nova Iorque.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

PARIS

Figura D.25 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Paris, para cada demanda de água pluvial.

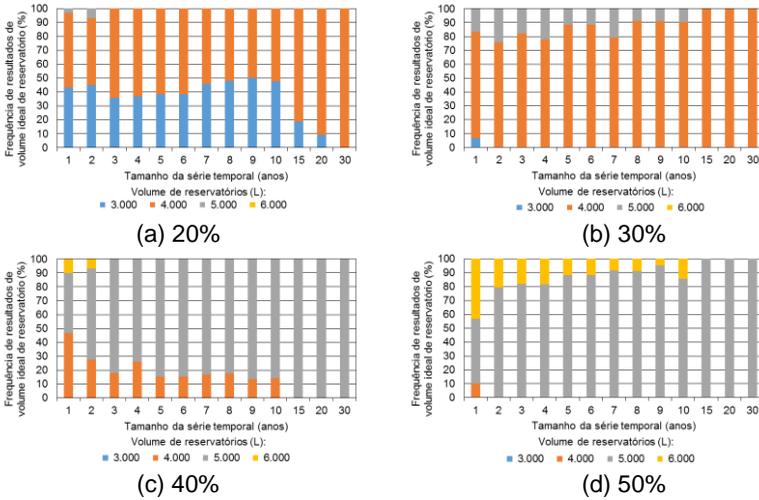


Figura D.26 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Paris, para cada demanda de água pluvial.

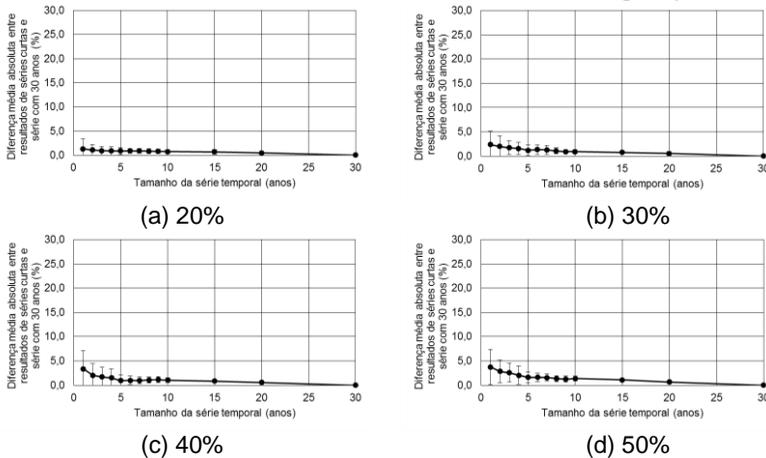
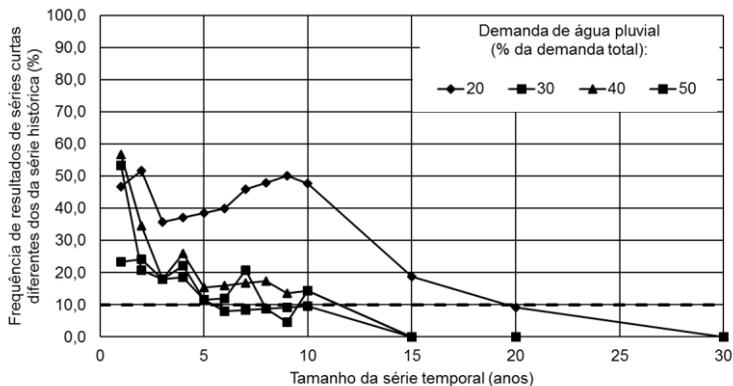
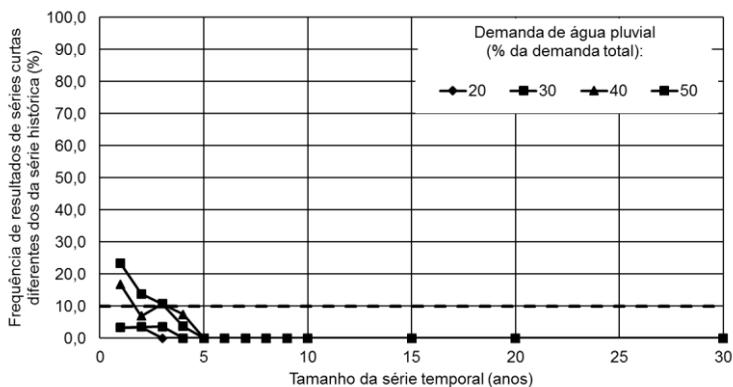


Figura D.27 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Paris.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

## QUEBEC

Figura D.28 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Quebec, para cada demanda de água pluvial.

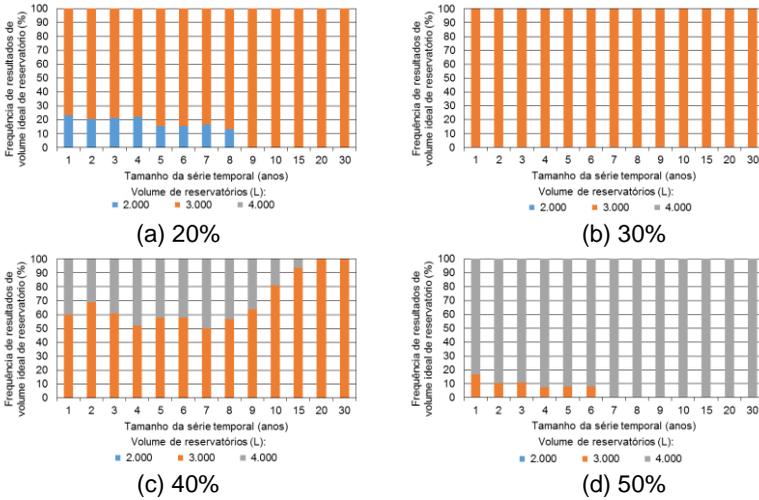


Figura D.29 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Quebec, para cada demanda de água pluvial.

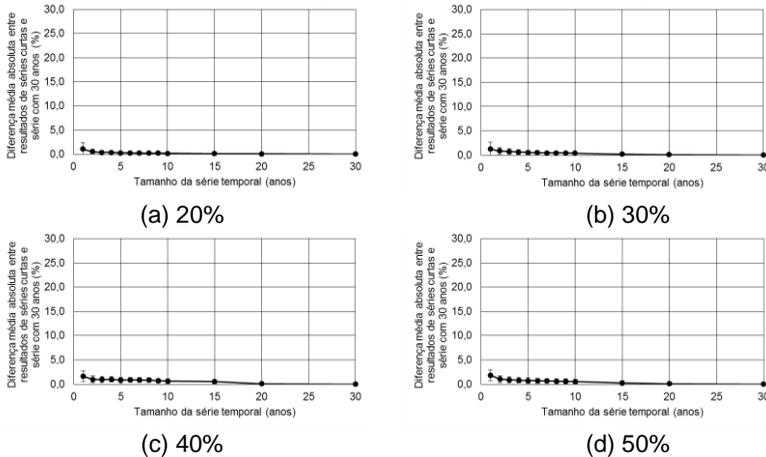
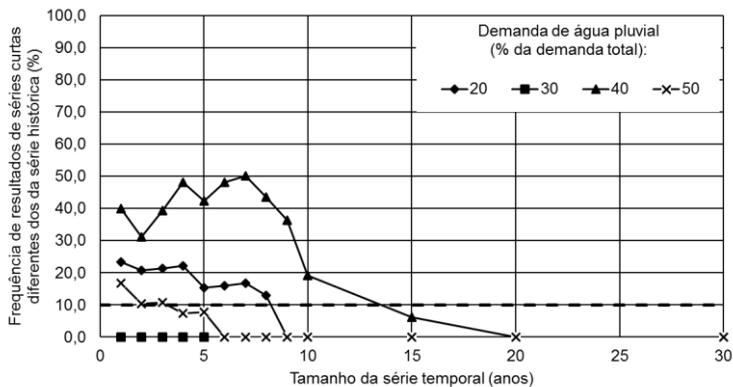
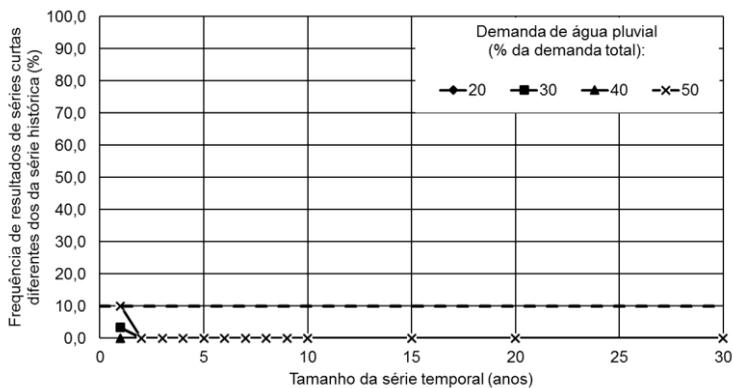


Figura D.30 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Quebec.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

## SANTARÉM

Figura D.31 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Santarém, para cada demanda de água pluvial.

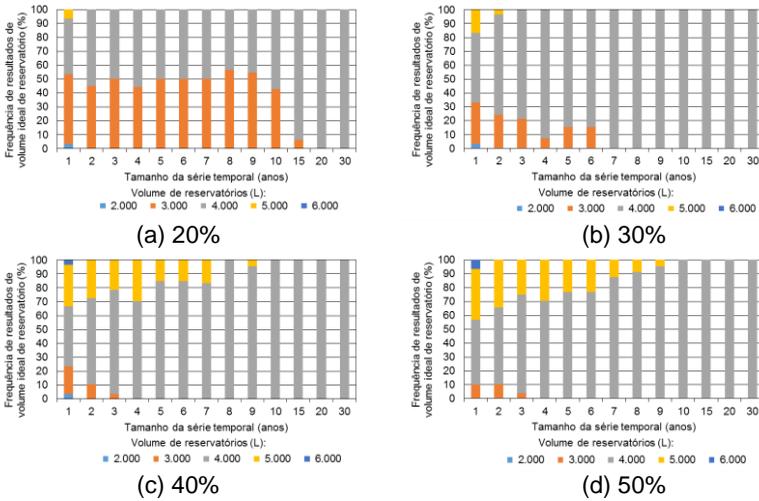


Figura D.32 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Santarém, para cada demanda de água pluvial.

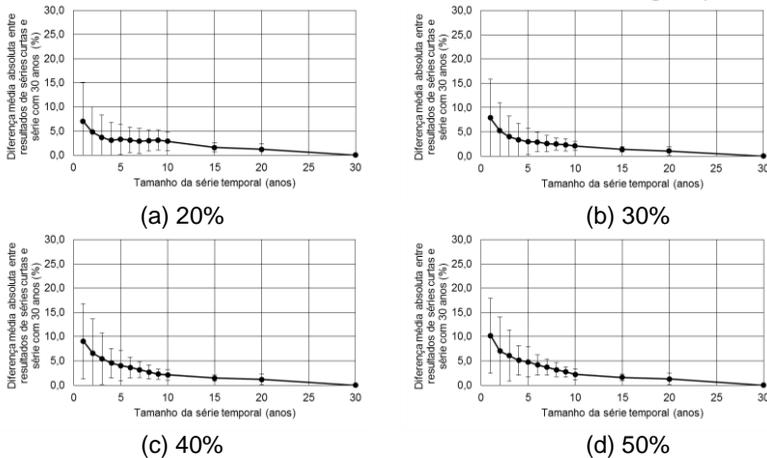
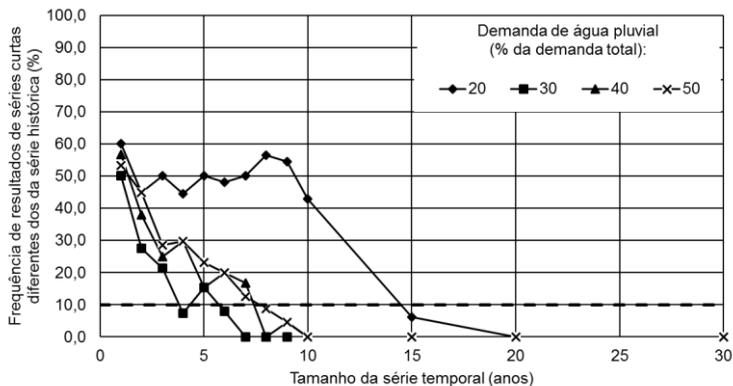
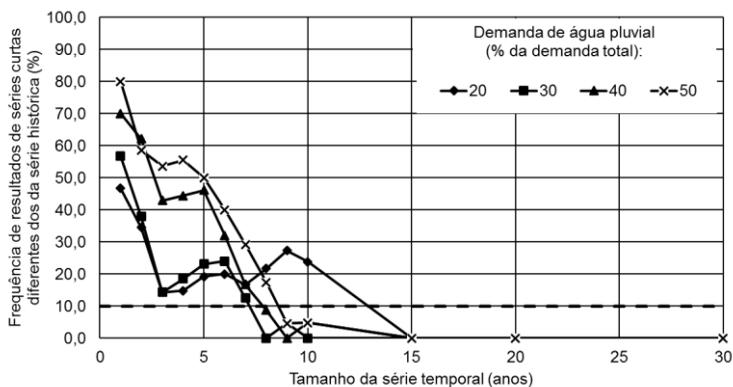


Figura D.33 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Santarém.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

## SANTO AMARO

Figura D.34 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Santo Amaro, para cada demanda de água pluvial.

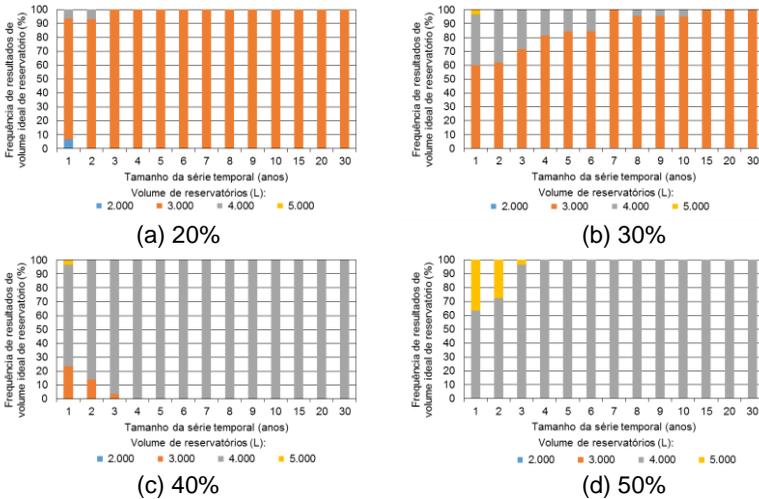


Figura D.35 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Santo Amaro, para cada demanda de água pluvial.

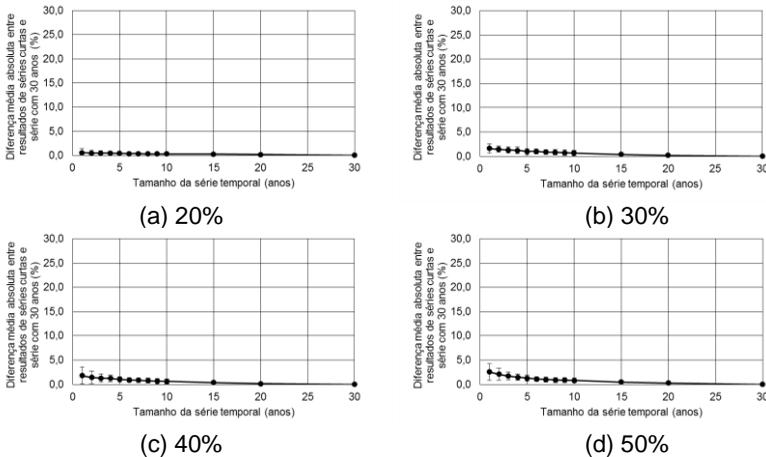
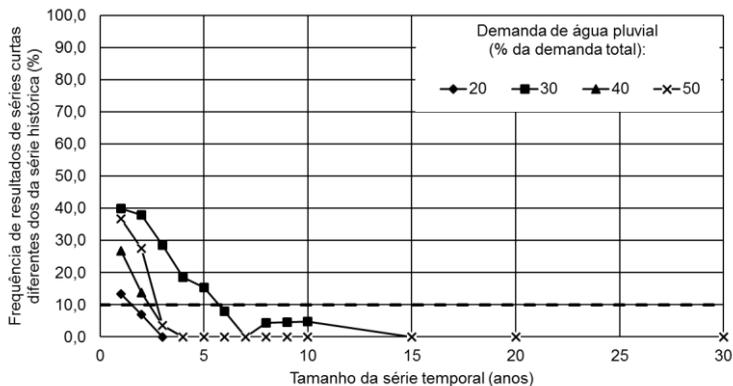
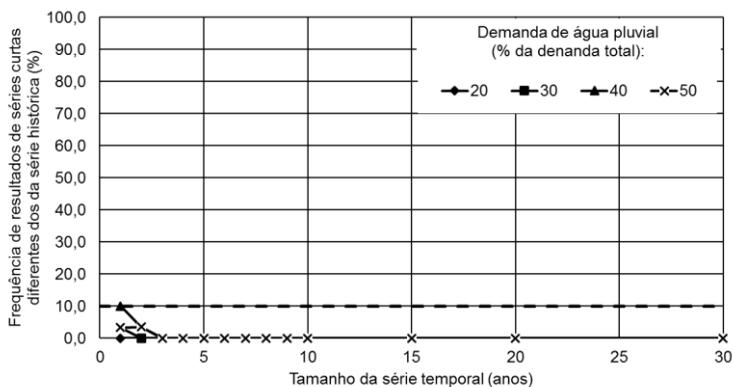


Figura D.36 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Santo Amaro.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal

SHANWEI

Figura D.37 – Resultados de volume ideal de reservatório, para a cidade de Shanwei, para cada demanda de água pluvial.

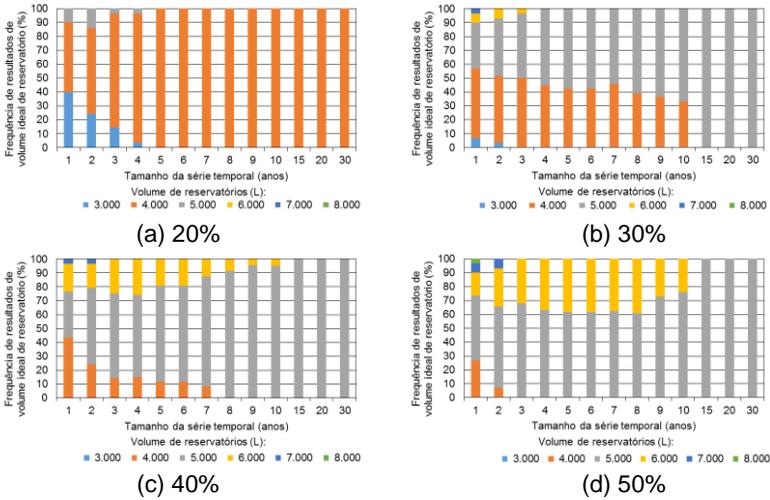


Figura D.38 – Resultados de Potencial de economia ideal, para a cidade de Shanwei, para cada demanda de água pluvial.

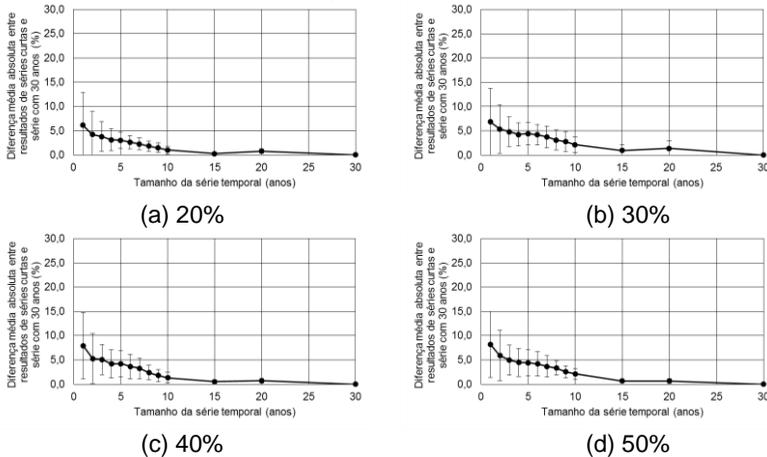
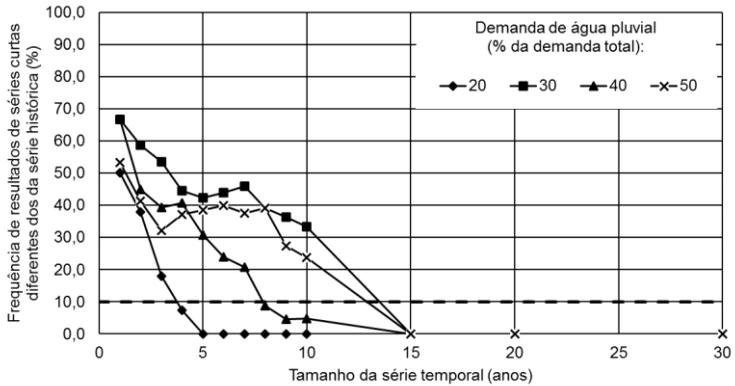
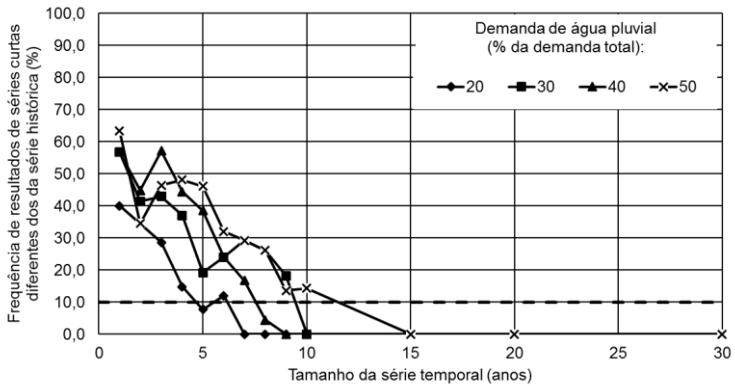


Figura D.39 – Frequência com a qual os indicadores de dimensionamento de séries temporais curtas foram diferentes ao da série histórica em Shanwei.



(a) Volume ideal de reservatório.



(b) Potencial de economia ideal