



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



JONAS ANDRADE DE SOUSA

**MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA E A INFLUÊNCIA DO TIPO DE
SÉRIE PLUVIOMÉTRICA**

Cajazeiras-PB
2020

JONAS ANDRADE DE SOUSA

**MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA E A INFLUÊNCIA DO TIPO DE
SÉRIE PLUVIOMÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Cícero de Souza Nogueira Neto

Cajazeiras-PB

2020

Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

S725m

Sousa, Jonas Andrade de

Métodos de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva e a influência do tipo de série pluviométrica / Jonas Andrade de Sousa; orientador Cícero de Souza Nogueira Neto.- 2020.

62 f.: il.

Orientador: Cícero de Souza Nogueira Neto.

TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

1. Água pluvial 2. Dimensionamento de reservatórios 3. ABNT NBR 15527, I. Título

628(0.067)

JONAS ANDRADE DE SOUSA

**MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA E A INFLUÊNCIA DO TIPO DE
SÉRIE PLUVIOMÉTRICA**

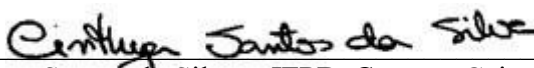
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 16 de dezembro de 2020.

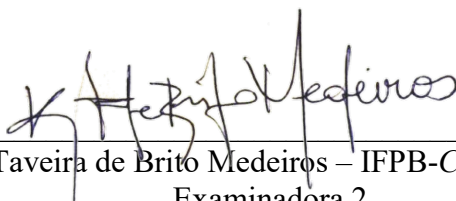
BANCA EXAMINADORA



Cícero de Souza Nogueira Neto – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador



Cinthya Santos da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinadora 1



Katharine Taveira de Brito Medeiros – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinadora 2

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conduzir até este momento e iluminar sempre o meu caminho.

Ao meu orientador Cicero de Souza Nogueira Neto, por todo auxílio que me tem dado nas atividades deste trabalho e todo companheirismo.

A banca de que compõe a avaliação desta pesquisa, Cinthya Santos da Silva e Katharine Taveira de Brito Medeiros.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba *Campus* Cajazeiras pela oportunidade de construir e elaborar esta pesquisa.

Aos meus pais, Maria das Dores e José Francisco, minha irmã, Ana Maria, e todos os meus familiares que me deram apoio moral.

Aos meus amigos, Luiz Ranyelson, Regina Maria e Roneide Martins, por toda paciência e cooperação nos estudos durante esses 5 anos.

Agradeço também a Dielho Mariano, Francisco Ygor e Judah Medeiros, companheiros que me apoiaram e ajudaram nos problemas cotidianos.

RESUMO

A água é um recurso natural essencial para toda vida, principalmente quando o assunto é disponibilidade de água potável, recurso que vem diminuindo com o crescimento da população, especialmente em países em desenvolvimento que possuem um crescimento acelerado e desordenado. Diante deste cenário desde final do século XIX que pesquisadores discutem acerca das variáveis envolvidas no aproveitamento da água de chuva em edificações, com o intuito de elaborar métodos que viabilizem o armazenamento desta água. O presente estudo vem analisar seis métodos de dimensionamento de reservatório para o uso da água de chuva para fins não potáveis, sendo: o método prático Australiano, o método comportamental com produção antes do enchimento (PAE) e com produção depois do enchimento (PDE), o método de Rippl, o método da simulação e simulação modificado. Além disso, foi levantada uma série histórica de chuva referente aos anos de 1994 a 2018 da Cidade de Cajazeiras no estado da Paraíba, resultando em quatro séries pluviométricas diferentes: a média mensal, a série sintética pelo método de Monte Carlo, a média diária e o total diário. Com isso, foram dimensionados os volumes de cisternas com auxílio dos métodos e das séries pluviométrica, para cinco área de captação distintas e cinco demandas de água diferentes. Então, foram comparados os resultados dos volumes encontrados entre os métodos e também os valores entres as séries de chuva utilizadas. Neste mesmo foco, analisou-se o volume de tanque em função da demanda utilizada e da área da captação. Em uma terceira etapa, verificou-se o comportamento da eficiência dos reservatórios. Em todas as análises, observou-se que quatro desses métodos geraram resultados considerados equivalentes, e que existem variações dos resultados dos volumes e eficiências dos reservatórios quando foram aplicadas séries pluviométricas diferentes.

Palavras-chaves: água pluvial; dimensionamento; reservatório.

ABSTRACT

Water is an essential natural resource for life, especially when it comes to the availability of drinking water, a resource that has been decreasing with population growth, especially in developing countries that have accelerated and disordered growth. In view of this scenario since the end of the 19th century, researchers have been discussing the variables involved in the use of rainwater in buildings, with the aim of developing methods that make it possible to store this water. The present study analyzes six methods of reservoir sizing for the use of rainwater for non-potable purposes, being: the Australian practical method, the behavioral method with production before filling (PAE) and with production after filling (PDE), the Rippl method, the simulation and modified simulation method. In addition, a historical series of rain was surveyed for the years 1994 to 2018 in the City of Cajazeiras in the state of Paraíba, resulting in four different rainfall series: the monthly average, the synthetic series by the Monte Carlo method, the daily average and the daily total. With that, the volumes of cisterns were dimensioned with the aid of the methods and the pluviometric series, for five different catchment areas and five different water demands. Then, the results of the volumes found between the methods were compared and also the values between the series of rain used. In this same focus, the volume of the tank was analyzed according to the demand used and the catchment area. In a third step, the efficiency of the reservoirs was verified. In all the analyzes, it was observed that four of these methods generated results considered equivalent, and that there are variations in the results of the volumes and efficiencies of the reservoirs when different rainfall series were applied.

Keywords: rainwater; sizing; reservoir.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Localização posto pluviométrico Cajazeiras	13
Figura 2 - Média da altura pluviométrica por mês (mm)	24
Figura 3 – Altura Pluviométrica por ano	25
Figura 4 - Série Sintética	26
Figura 5 – Série média diária.....	27
Figura 6 – Série total diário	27
Figura 7 - Média de volumes por caso e série pluviométrica.....	30
Figura 8 - Média dos volumes de cada método	31
Figura 9 - Gráfico de VPA por DPA, a) Média mensal, b) Série Sintética, c) Média diária e d) Total diário	33
Figura 10 - Gráfico do crescimento da eficiência para os métodos, a) Média mensal, b) Série Sintética, c) Média diária e d) Total diário.....	35
Figura 11 - Gráfico do crescimento da eficiência para os métodos utilizando a série Média mensal, a) caso 3 e b) caso 21	36

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Estimativa da população Brasileira e densidade demográfica do ano 2019.....	5
Tabela 2 - Coeficiente de <i>Runoff</i> médio	14
Tabela 3 - Composição da planilha auxiliar	15
Tabela 4 - Construção da planilha complementar para o método prático Australiano.....	17
Tabela 5 - Construção da planilha complementar para o método Comportamental	19
Tabela 6 - Construção da planilha complementar para o método de Rippl.....	21
Tabela 7 - Construção da planilha complementar para o método da simulação.	22
Tabela 8 - Construção da planilha complementar para o método da simulação modificado.	23
Tabela 9 – Totais para cada percentil das séries sintéticas.....	25
Tabela 10 - Descarte inicial aplicado	28
Tabela 11 - Demandas utilizadas.....	29
Tabela 12 - Numeração dos casos para referência	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas

ANA - Agência Nacional de Águas

Aus – Australiano

DPA – Demanda por área

EFE – significa exatamente a pronuncia, “f”

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Brasileira

PAE – Produção Antes do Enchimento

PDE – Produção Depois do Enchimento

Sim - Simulação

SimMod – Simulação Modificado

VPA – Volume por área

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1 HIDROLOGIA	4
3.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL.....	5
3.3 POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS E A NBR 15.527:2019	5
3.4 SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS	6
3.5 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO	7
4 MATERIAIS E MÉTODOS	12
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	12
4.2 PARÂMETROS DE ENTRADA	13
4.3 SÉRIES PLUVIOMETRICAS	15
4.4 MÉTODOS PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO	16
4.4.1 Australiano	16
4.4.2 Comportamental.....	18
4.4.3 Rippl.....	20
4.4.4 Simulação	21
4.4.5 Simulação Modificado	22
4.5 FATORES DE VOLUME E DEMANDA POR ÁREA DE CAPTAÇÃO.....	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1 PARÂMETROS DE ENTRADA	24
5.2 VOLUMES DE RESERVATÓRIO	29

5.3 ESTUDO DOS FATORES DE VOLUME E DEMANDA POR ÁREA DE CAPTAÇÃO	32
5.4 EFICIÊNCIA	34
6 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	39
APÊNDICE A	42
APÊNDICE B.....	43
APÊNDICE C	44
APÊNDICE D	48

1 INTRODUÇÃO

A água representa aproximadamente 70% da superfície do planeta que, de sua totalidade, 97% é composta pela água dos oceanos, 1,5% pelas geleiras ou nas calotas polares em forma de gelo. “A água doce de rios, lagos e aquíferos (reservatórios de água no subsolo) corresponde a menos de 1% do total” (COLLICHICON e TASSI, 2008, p. 6).

Conforme a Lei Federal nº 9.433 (BRASIL, 1997), “a água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado e dotado de valor econômico”. Segundo Tomaz (2011) o estudo sobre a água e seus usos atualmente é de grande importância, agravada pela situação atual do Brasil, que possui grandes reservas naturais, mas que não estão distribuídas igualmente pelo país. E ainda, apresenta algumas regiões de maior densidade demográfica, como o Sudeste e Nordeste, carentes de reservas hídricas, o que dificulta, na maioria dos casos, o transporte desse recurso que exige grandes obras de infraestrutura, com alto custo de implantação e manutenção.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 201-?.), o Nordeste, que em sua maior parte possui clima semiárido, nem sempre possui, em seus mananciais, água suficiente para o abastecimento humano devido à escassez e má distribuição das chuvas. Esta situação pode gerar dificuldades como problemas ambientais, a morte de plantas e animais, assim como o déficit na agricultura, redução na economia da região e até mesmo menores condições de vida, afirma Teixeira (2016).

Valer Salientar que o Brasil, por ser um país de climas predominantemente equatorial e tropical, recebe um volume significativo de chuva por ano, que pode variar entre 3.000mm na Amazônia a 1.300mm na região central do país. Entretanto, o índice pluviométrico do sertão nordestino varia de 600mm/ano a 250mm/ano, Tomaz (2011).

Neste Cenário, o ano de 2018, o Ministério da Integração Nacional, informou que 917 municípios do país estavam em estado de crise hídrica, a maioria deles no Nordeste. Inclusive, 196 das 223 cidades da Paraíba, ou seja, 87,89% dos municípios paraibanos sofriam com a seca, diz Oliveira (2018).

Werneck (2006) afirma que a captação de água pluviais pode ser uma alternativa para solucionar uma diversidade de problemas, mas ressalta que o ideal é utilizar uma quantidade menor de água com uma eficiência maior.

Diante dos possíveis benefícios do aproveitamento da água de chuva, surge a necessidade de se estudar os diversos métodos propostos e suas formas de aplicações. Raimondi e Becciu (2014) colocam que na literatura, nos estudos de dimensionamento de reservatório, existem diferentes propostas, que abordam sua modelagem e projeto. Tomaz (2011), cita que todos os métodos de dimensionamento de reservatórios de águas de chuva apresentam algum problema e comenta que: “O grande problema em aproveitamento de água de chuva é o dimensionamento do reservatório. Como achar o volume ideal?”.

Giffoni e Cohim (2019), Werneck (2006) e Thiesen et al (2017), discutem ainda acerca das variáveis envolvidas na otimização do dimensionamento do volume de reservatório, realizado na maioria dos casos por meio de simulações observando custo de implantação, retorno financeiro ou potencial econômico de água potável.

Logo, este trabalho vem mostrar a importância do aproveitamento da água de chuva no Semiárido Paraibano e vem estudar quais os métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais na literatura, com estudo de casos genéricos, para encontrar as diferenças entre os métodos nos problemas da escassez hídrica na região.

Este trabalho é dividido em 5 capítulos. O primeiro deles contempla uma breve introdução sobre o assunto, além da descrição dos objetivos propostos. O Capítulo 2 consiste na fundamentação teórica para o tema abordado. Os materiais e métodos utilizados neste estudo são tratados no terceiro capítulo, assim como o procedimento de cálculo de cada método de dimensionamento de cisterna utilizado e os valores de referências para aplicação dos modelos. Na sequência, o Capítulo 4 apresenta os resultados, além da discussão dos fatores comuns ou de interesse entre os métodos e os casos. Por fim, tem-se o Capítulo 5, composto pelas conclusões extraídas do trabalho e sugestões para pesquisas futuras.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar metodologias e as séries pluviométricas de precipitação para dimensionamento de reservatório de água de chuva no semiárido paraibano.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o comportamento dos volumes de reservatórios encontrados em situações diversas;
- Analisar o comportamento dos volumes de reservatórios a partir da adoção de diferentes tipos de séries pluviométricas;
- Verificar o comportamento da eficiência dos cenários propostos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica é constituída por 5 seções. A primeira aborda alguns pontos do tema hidrologia. A segunda seção discorre sobre a disponibilidade hídrica no Brasil e a densidade demográfica nas regiões do país. A Lei 9.443 (BRASIL, 1997) e NBR 15.527 (ABNT, 2019) são citadas na terceira seção. O item 2.4 apresenta algumas informações sobre as séries pluviométricas. Por último, fez-se um breve histórico sobre os métodos de dimensionamento de reservatórios.

3.1 HIDROLOGIA

A hidrologia é uma ciência que estuda água, o seu ciclo no planeta, como acontece cada fase e como são distribuídas todas as porções de água disponíveis, sejam essas águas doces ou não. Esta é uma ciência que sempre está em adaptação, crescendo junto aos “problemas que vem surgindo numa bacia hidrográfica como, impactos ambientais, o aumento da ocupação do solo e a demanda por água” (TUCCI, 2001, p.31).

Collichicon e Tassi (2008), apresentam o ciclo hidrológico, assim como suas fases (Evaporação, Condensação, Precipitação e a Percolação ou Escoamento). Observa-se que:

A água também sofre alterações de qualidade ao longo das diferentes fases do ciclo hidrológico. A água salgada do mar é transformada em água doce pelo processo de evaporação. A água doce que infiltra no solo dissolve os sais aí encontrados e a água que escoia pelos rios carrega estes sais para os oceanos, bem como um grande número de outras substâncias dissolvidas e em suspensão. (COLLICHICON e TASSI, 2008, p.6)

Para Tucci (2001), mesmo que esta ciência tenha se firmado apenas na segunda metade do século 20, ela está presente em diversos estudos que envolvem a disponibilidade de recursos essenciais nos dias atuais, como a geração de energia elétrica e abastecimento de água, assim como a navegação e impactos ambientais, a exemplo de enchentes. Além disso, é possível estudar diversas ênfases como a hidrometeorologia, o escoamento superficial, os fluxos de reservatórios, dentre outros, que também podem estar voltadas a hidrologia aplicada.

3.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL

Segundo Tomaz (2011), “a água é um recurso finito e praticamente constante nos últimos 500 milhões de anos”. No entanto, o pesquisador retrata o fato de que o Brasil possui aproximadamente 12% da produção hídrica da superfície do mundo, concentrando-se, aproximadamente, 68,5% na região Norte do país, que possui a menor taxa de população por km², quando comparada com as demais regiões (Tabela 1). Enquanto as regiões Centro-Oeste, Sul, Sudeste e Nordeste possuem disponibilidade hídrica de 15,7%; 6,5%, 6% e apenas 3,3%, respectivamente. Vale salientar que o Nordeste possui a segunda maior população dentre as regiões.

Tabela 1 - Estimativa da população Brasileira e densidade demográfica do ano 2019

Região	População (Habitantes)	Área (Km ²)	Densidade (habitantes/km ²)	Percentual da população (%)
Norte	15.864.454	3.850.509,943	4,12	8,32%
Nordeste	53.081.950	1.552.167,009	34,15	27,83%
Sudeste	80.364.410	924.565,478	86,92	42,13%
Sul	27.386.891	576.736,819	48,58	14,36%
Centro-Oeste	14.058.094	1.606.316,665	8,75	7,37%
Brasil	190.755.799	8.510.295,914	22,43	100,00%

Fonte: adaptado de IBGE, 2019

3.3 POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS E A NBR 15.527:2019

Dos objetivos que compõe a Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o Art. 2, Inciso IV diz: “Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais”.

No Brasil, a NBR 15.527 (ABNT, 2019), que regula a aplicação dos sistemas para a captação de água pluvial, descreve que os volumes de reservatórios devem ser dimensionados visando os critérios técnicos, econômicos e ambientais, não esquecendo as boas práticas da engenharia. A mesma NBR ainda coloca que nas concepções dos sistemas devem constar os estudos sobre os dados da “precipitação pluviométrica, área de captação, volume do

reservatório, mecanismos para melhoria da qualidade da água, demanda a ser atendida e percentual de atendimento estimado desta demanda” (NBR 15.527, 2019).

A NBR 15527 (ABNT, 2019) ainda recomenda a análise de viabilidade técnica-econômica da implantação do sistema, indicando que devem ser estudados também os parâmetros de qualidade específicos da água, conforme sua utilização, além da indicação dos locais onde podem ter o uso dessa água. Retrata também que a água deve ter um pré-tratamento antes de ir para o reservatório, como adoção de telas, grades e de dispositivos para o descarte inicial da água, e que o reservatório deve conter extravasor, dispositivos de esgotamento, inspeção e ventilação.

A NBR 15527 (ABNT, 2019) também trata, do item 4.3.4 ao 4.3.6, da qualidade da água captada. Como uma forma de pré-tratamento, recomenda-se a adoção de um sistema para o descarte dos primeiros milímetros de chuva, termo também conhecido por *first flush*, de forma que não atrapalhe no desempenho hidráulico do sistema e de preferência automatizado, onde Anecchini (2005) relata em sua pesquisa que 0,5 mm como descarte inicial já traz bons resultados, mas que 1,0 mm é onde observa uma redução considerável no acúmulo de lodo. Por outro lado, pesquisas levantadas por Tomaz (2011), apontam que na Florida é utilizado um descarte de apenas 0,4 mm, mas que num desacordo mundial, algumas outras referências relatam descartes entre 0,8 mm e 1,5 mm e até mesmo 8,5 mm.

3.4 SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS

Segundo Teixeira (2010), no estudo da hidrologia geralmente é mais utilizada a série de precipitação mensal ou anual, onde a precipitação é a altura uniforme de lâmina de água sobre uma determinada área, e que uma precipitação total mensal, é encontrada pelo valor acumulado de volume de chuva diário ocorrido no mês.

Outro tipo de série pluviométrica utilizada é a série sintética, que “é o resultado da associação de séries de dados reais com números aleatórios produzidos por algoritmos computacionais, com o propósito de gerar sequências de números aleatórios que se assemelhem aos dados climáticos reais” (WILKS, 1999, apud OLIVEIRA, 2014). Um dos métodos para construção de uma série sintética é o da simulação de Monte Carlo. De acordo com Tomaz (2011), o método supracitado fornece dados pluviométricos com série mensal de grande utilização dentre os hidrologistas, tendo como finalidade auxiliar no

dimensionamento de reservatório de abastecimento de água potável e também na produção de energia elétrica.

Segundo Anecchini (2005), o método não consiste em encontrar apenas um resultado, mas gera uma série para cada probabilidade de falha considerando a confiabilidade dos resultados. Com isso, Tomaz (2011), relata que o método de Monte Carlo apresenta dois problemas. Logo, o primeiro apresentado surge ao ter série histórica e buscar encontrar a série sintética, dividindo-se em duas formas de decisão. Na primeira, fixa-se o valor de volume de reservatório e verifica-se qual a confiabilidade da série sintética, resultando no valor mais próximo do volume. Na segunda forma de decisão, fixa-se o valor de confiabilidade e a partir deste, dimensiona-se o volume de reservatório. O segundo problema é quando não se possui a série histórica e se tem apenas as séries sintéticas, construídas a partir de várias probabilidades.

3.5 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO

O Quadro 1 resume as principais classificações dos métodos de dimensionamento de reservatório abordadas na literatura.

Quadro 1 – Classificações dos métodos de dimensionamento de reservatório

Autores	Classificações
Rainmondi e Becciu (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Método simplificado; • Método de simulações contínuas de balanço de massa; • Abordagens não paramétricas em métodos de matriz de probabilidade; • Métodos estatísticos.
McMahon e Mein (1978, <i>apud</i> PETERS, 2004)	<ul style="list-style-type: none"> • Método do período crítico; • Métodos comportamental; • Método de matriz de probabilidade.
Lopes e Santos (2002, <i>apud</i> ANNECCHINI, 2005)	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos determinísticos; • Modelos estocásticos.

Fonte: autoria própria, 2020

Rainmondi e Becciu (2014) classificam os métodos de dimensionamento em 4 tipos principais, sendo eles: o método simplificado, método de simulações contínuas de balanço de massa, abordagens não paramétricas em métodos de matriz de probabilidade e métodos estatísticos.

Rainmondi e Becciu (2014) afirmaram ainda que os métodos simplificados são mais simples de serem aplicados, mas, em contrapartida, não possuem resultados muito confiáveis, pois assumem que a quantidade de água que pode ser captada supre a demanda. No entanto, podem ser úteis em pré-projetos, apenas para se obter uma estimativa de valor. Os métodos que utilizam simulações do balanço de massa, geram resultados de maior confiança, cujo comportamento de tal sistema, gerado por meio de planilhas, segue mais fielmente a realidade da precipitação e da demanda do local de estudo, o modelo que representa tal classificação é o método comportamental proposto por Jenkins e Pearson (1978).

Segundo Abrantes (2017), o método da matriz de probabilidade, a exemplo do modelo de Moran, também conhecido por Teoria Estocástica dos Reservatórios, se utiliza da estatística e cálculos de probabilidade para o dimensionamento, além de possuir também aplicações em reservatórios superficiais.

Os métodos estatísticos são “baseados em análises da derivação de funções de distribuição de probabilidade de parâmetros de projeto, na qual, a modelagem probabilística do processo de armazenamento é possível sem a necessidade de simulações contínuas” (RAINMONDI E BECCIU, 2014, p.2)

McMahon e Mein (1978 apud PETERS, 2004) dividiram os métodos para dimensionamento de reservatório em três classes gerais, nomeados como método do período crítico, comportamental e método de matriz de probabilidade, citada acima. Segundo Anecchini (2005), o método do período crítico analisa a sequência de dados, nos pontos onde a demanda é maior do que o valor gerado e com base nesses pontos é calculado o volume da cisterna, um exemplo dessa metodologia é o método de Rippl. Já no método comportamental, os modelos simulam um reservatório, observando-se seu comportamento durante o tempo e o balanço hídrico do sistema nesse período.

Lopes e Santos (2002 apud Anecchini, 2005) concluíram que existem os modelos de cálculo determinísticos, que utilizam em suas análises séries históricas e trabalham com o resultado de maneira única, e os modelos de cálculo estocásticos, que trabalham utilizando uma provável ocorrência de falhas.

O Quadro 2 mostra um resumo histórico dos métodos e modelos de dimensionamentos de reservatório abordadas na literatura.

Quadro 2 - Histórico dos métodos

Referência	Método
Rippl (1883)	Método de Rippl
Jenkins e Pearson (1978)	Método Comportamental
McMahon (1983, <i>apud</i> TOMAZ, 2011)	Equação da continuidade a um reservatório finito
<i>Group Raindrops</i> (2002, <i>apud</i> AMORIM E PEREIRA, 2008)	Método de consideração dos dias consecutivos sem chuva
Anecchini (2005)	Método interativo
Novakoski et al (2013)	Método da simulação modificado
Andrade Neto (2015, <i>apud</i> SOUSA, 2017)	Método de Andrade Neto

Fonte: autoria própria, 2020

No final do século XIX foi criado, pelo engenheiro Austríaco W. Rippl, um dos primeiros métodos racionais para estimar o volume de reservatório. O método de Rippl também é conhecido como o método do diagrama de massas, que possui duas maneiras de análise, uma gráfica e outra analítica. Segundo Rippl (1883, *apud* GIACCHINI, 2010), a cisterna tem o objetivo de equilibrar as variações que acontecem entre a demanda e quantidade de água disponível ao longo prazo, sempre observando o período crítico de chuva no dimensionamento do tanque.

Segundo Giacchini (2010), no estudo do diagrama de massas, o volume do reservatório é encontrado observando o distanciamento entre a curva de demanda acumulada e a curva ou reta de volume captado acumulado. Este método não se aplica às situações cuja demanda total anual é maior do que o valor de suprimento de água. Caso isto ocorra, recomenda-se a redução do valor demanda ou aumento da área de captação. Além disso, os resultados podem ser duvidosos quando o suprimento de água for muito superior à demanda, já que não é possível observar o período crítico nestes casos.

Segundo Tomaz (2011), o método de Rippl, devido sua facilidade, é o mais utilizado quando o tema é aproveitamento de água de chuva e que em seus estudos percebeu diversos pontos acerca do método:

- Havia diversas aplicações inglesas e americanas;
- O volume de reservatório poderia resultar em um valor extremo em regiões que possui grande variação na distribuição de chuva, já que o cálculo visa um

volume de cisterna que atenda todo o período crítico de estiagem da série estudada (ANNECCHINI, 2005);

- O volume de reservatório poderia ser zero em regiões que possui pouca variação na distribuição de chuva;
- Existia aplicações tanto com as séries históricas, quanto com séries sintéticas, ou seja, séries probabilistas baseadas nas precipitações históricas;
- Possui duas formas de análise, a analítica e a gráfica, neste trabalho focaremos na analítica.
- O método deve ser aplicado apenas nos casos onde o somatório da demanda é menor que o somatório do volume de chuva gerado.

Nos anos de 1975 a 1977, Jenkins e Pearson (1978) realizaram um estudo com o objetivo de explorar alternativas para o suprimento de água na Califórnia, que resultou nos modelos comportamentais com Produção Antes do Enchimento (PAE) e Produção Depois do Enchimento (PDE). Estes modelos buscam estabelecer uma função que relaciona os dados de chuva, demanda, área de captação e o volume de reservatório. No modelo comportamental, é possível calcular o desempenho do sistema por dois parâmetros: o rendimento e o percentual de tempo de falha. O rendimento do sistema é a o produto produção total por 100, dividido pela demanda total. Por fim, o percentual de tempo de falha é a razão entre o número de meses onde a demanda não é totalmente atendida pelo total de meses da série aplicada.

Segundo Tomaz (2011), no ano de 1983 McMahon propôs a equação da continuidade a um reservatório finito, que é aplicado ao método da análise de simulação de reservatório e sua eficiência, empregando-se como parâmetros o volume de água no reservatório, o volume de chuva, o consumo de água, as perdas por evaporação e outras perdas, apesar de que Lopes (2012) e Andrade (2017) mostraram que grande parte da aplicação deste método não considera as variáveis de perdas. Tomaz (2011) ainda afirmou que este método leva em consideração os períodos críticos de seca e problemas sazonais, cujo volume do reservatório é arbitrado, além de ser capaz de verificar os volumes de água que sobram e extravasam, assim como o volume de água que falta e precisa ser suprido pela concessionaria ou outro meio. Tomaz (2011) afirma também que este é o melhor método para se analisar uma cisterna.

Segundo Lopes (2012), uma adaptação do método da simulação é o método Australiano, que, de maneira semelhante, predefine o volume de reservatório, mas que

acrescenta em sua análise a variável chamada interceptação, que representa as perdas por evaporação e interceptação que acontecem antes da chuva atingir a área de captação.

Existe também o método de consideração dos dias consecutivos sem chuva, apresentado pelo *group Raindrops* (2002, apud AMORIM E PEREIRA, 2008). Com base nos registros pluviométricos de vários anos, o método identifica os maiores períodos de dias consecutivos sem chuva e observa também a frequência com que cada período acontece. Nisto, o volume mínimo do reservatório é calculado a partir do produto do maior número de dias com seca pela demanda de água diária.

Annechhini (2005) traz em seu estudo uma adaptação do método de Rippl, da qual se faz necessário predeterminar o volume de reservatório que será computado, e que realiza o cálculo de volume de chuva captável por mês e por ano.

Outro método é o proposto por Novakoski et al (2013), que comparou o método da simulação com o método da simulação modificado que ele construiu derivado do primeiro, onde percebeu que, para a série pluviométrica diária, os reservatórios com pequenos volumes, inclusive zero, possuíam um bom atendimento da demanda, e que no balanço hídrico do método da simulação, a demanda é subtraída diretamente do volume de chuva captado e volume de água no reservatório. Como o método da simulação modificado utiliza uma série pluviométrica diária em seu balanço hídrico, não fazia sentido realizar esse cálculo de entrada e saída de água da cisterna na mesma equação. Portanto, a operação que era aplicada no balanço hídrico foi dividida em duas novas operações. Isto é, em um determinado momento acontece a captação da água de chuva para, somente em um segundo momento, acontecer o consumo desta água. Segundo o pesquisador, a separação destes processos permite uma melhor representação da situação real.

Segundo Souza (2017), Andrade Neto constituiu um balanço hídrico no ano de 2015, que compara a distribuição mensal de chuva ao longo do ano com os meses consecutivos que apresentaram déficit de água. O método é semelhante ao método de Rippl, pois verifica os pontos críticos e calcula, inicialmente, a precipitação crítica, ou seja, a quantidade mínima de chuva que deve acontecer em um mês para suprir a demanda. Feito isto, analisa-se quantos e quais meses possuem registro de chuva inferior a precipitação crítica para, a partir desses meses em déficit, realizar o cálculo do volume de reservatório de acordo com a quantidade necessária de água para suprir a demanda que faltou nesses meses.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção é composta pela caracterização da área de estudo abordada, parâmetros de entrada comuns ao desenvolvimento do balanço hídrico proposto nas metodologias analisadas, descrição dos tipos de séries utilizadas nestes balanços e o procedimento empregado em cada método para dimensionamento do reservatório com aproveitamento da água de chuva, avaliados neste estudo.

O dimensionamento de reservatório foi realizado utilizando os métodos descritos anteriormente: o método prático Australiano, o Comportamental com produção antes do enchimento (PAE) e com produção depois do enchimento (PDE), o método de Rippl, da simulação e da simulação modificado. Adotou-se também, 4 tipos de séries pluviométricas: a série resultante da pluviometria média mensal, média diária, total diária e a série sintética pelo método de Monte Carlo. Além disso, foram empregadas 5 diferentes áreas de captação, sendo adotados 100, 125, 150, 175 e 200 m², e 5 demandas distintas, adotando as situações com 4, 5, 6, 7 e 8 habitantes, com o intuito de diversificar os cenários envolvendo a captação da água de chuva.

Não foi considerado o sistema de tratamento, partindo-se da premissa da utilização da água para fim não potável, e que o descarte inicial, sendo utilizado como sistema de pré-tratamento, enquadre a qualidade da água dos parâmetros ditos pela NBR 15527 (ABNT, 2019). Logo, não foi incluído o fator da eficiência do sistema de tratamento na equação de volume de chuva gerado.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

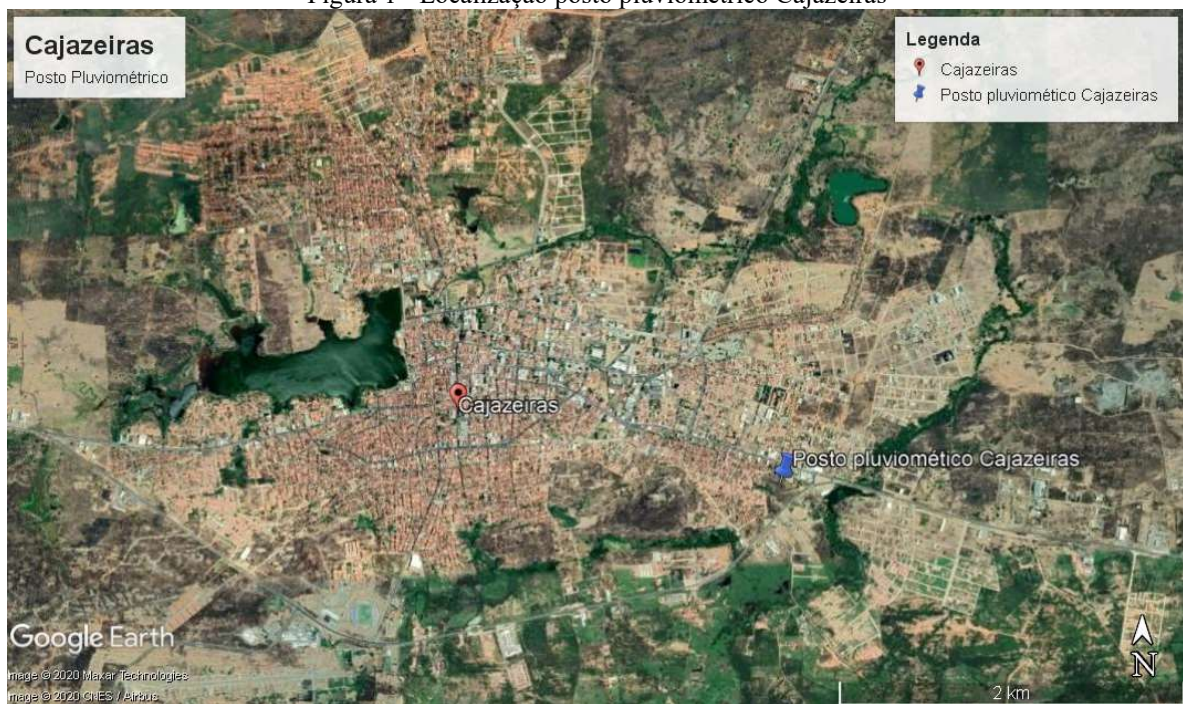
A área de estudo foi definida objetivando a padronização das séries pluviométricas analisadas e a aplicação destas séries aos métodos propostos. Logo, este trabalho pode ser aplicado a qualquer região que possua dados pluviométricos, minimamente consistentes, que permitam a elaboração de uma série histórica.

A localização escolhida foi a cidade de Cajazeiras que, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), teve sua população estimada para o ano de 2019 de 61.993 habitantes, sendo a sétima cidade mais populosa do estado da Paraíba, com uma área territorial de 565,899 km² e localizada a 468km de distância da Capital.

Foram coletados no site da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs, 2020) os dados diários pluviométricos de 25 anos, referentes aos anos de 1994 a 2018. Tomaz (2011) recomenda o uso de uma série histórica para a média diária ou mensal de pelo menos 10 anos, assim como Teixeira (2010), que em seus cálculos de análise de dados referentes às séries pluviométricas, faz uso de médias mensais de pelo menos 30 anos. Ambos afirmam que quanto maior o tamanho da série utilizada, maior a confiabilidade dos resultados.

Segundo o banco de dados da AESA (2020), é observado que na região da cidade de Cajazeiras existem 3 estações pluviométricas. No entanto, apenas um destes postos está situado na zona urbana do município. Os outros estão localizados nos açudes que abastecem a cidade, o açude Engenheiro Ávidos e açude Lagoa do Arroz. Então, foram considerados apenas os dados do posto que se encontra na zona urbana para o estudo. Sua localização se dá através das coordenadas de Latitude $6^{\circ}53'39.15''S$ e Longitude $38^{\circ}32'39.85''O$, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Localização posto pluviométrico Cajazeiras



Fonte: google earth, 2020

4.2 PARAMÊTROS DE ENTRADA

As demandas foram calculadas de acordo com Tomaz (2011), que retrata as dificuldades que se tem para a previsão do consumo de água potável, definindo valores que servem para diversas situações de consumo, e detalha possíveis consumos residenciais nas

partes interna e externa da edificação, assim como equações para o cálculo da demanda média mensal de água para diversas edificações. Entre elas, residências unifamiliares, que é o objeto deste trabalho, dada pela Equação 1.

$$D_{mensal} = 3,7 \cdot N_{hab} \quad (1)$$

Onde D_{mensal} é a Demanda mensal média da residência [m³] e N_{hab} é o número de habitantes da residência.

Tomaz (2011) estima ainda uma economia de 30% da água pública quando se utiliza água de chuva. Então, foi adotada uma demanda de água não potável, constante, que representa 30% da demanda de água potável (Equação 2).

$$D = 0,30 \cdot D_{mensal} = 1,11 \cdot N_{hab} \quad (2)$$

Onde D é a demanda de água não potável [m³].

A Tabela 2 apresenta os intervalos dos valores de referência para o coeficiente de escoamento do telhado de acordo com o material das telhas, adotados por Tomaz (2011), também chamado de coeficiente de *Runoff*, este valor indica a razão entre o volume precipitado e volume escoado.

Tabela 2 - Coeficiente de *Runoff* médio

MATERIAL	COEFICIENTE DE RUNOFF
Telhas cerâmicas	0,80 a 0,90
Telhas esmaltadas	0,90 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,80 a 0,90
Cimento amianto	0,80 a 0,90
Plástico	0,90 a 0,95

Fonte: Tomaz, 2011

Segundo a NBR 15527 (ABNT, 2019), o item 4.1.6 mostra que o cálculo da disponibilidade hídrica (Equação 3) varia em função de fatores diretamente proporcionais a precipitação, como a área de captação, o coeficiente de escoamento da cobertura e a eficiência do sistema de tratamento de captação.

$$V_{disp} = \frac{(P \cdot A \cdot C \cdot \eta)}{1000} \quad (3)$$

Onde V_{disp} é o volume disponível naquele intervalo de tempo [m³]; P é a altura pluviométrica registrada no intervalo de tempo [mm]; A é o valor da área de telhado [m²]; C é o valor do coeficiente de escoamento, e η é a eficiência do sistema.

De acordo com as recomendações da NBR 15527 (ABNT, 2019), é preciso também descartar a água das primeiras chuvas. Portanto, foi adotada uma estimativa para descarte inicial com base o estudo de Anecchini (2005).

Logo, foram utilizadas variáveis comuns para o cálculo de dimensionamento do reservatório de água de chuva, independentemente do método adotado, conforme observado nas colunas de 01 a 08 da Tabela 3.

Tabela 3 - Composição da planilha auxiliar

Coluna 01	Coluna 02	Coluna 03	Coluna 04	Coluna 05	Coluna 06	Coluna 07	Coluna 08
Período	Chuva (mm)	Descarte inicial (mm)	Chuva aproveitada (mm)	Demanda (m ³)	Área (m ²)	Runnof	Volume gerado (m ³)

Fonte: autoria própria, 2020

Onde:

Coluna 01: data ou período utilizado, a variar se a série é mensal ou diária;

Coluna 02: valor da altura pluviométrica do período estimado na coluna 01 (mensal ou diária, dependendo do tipo da série) [mm];

Coluna 03: valor de descarte inicial da chuva (*first flush*);

Coluna 04: valor da altura pluviométrica útil, ou seja, a precipitação no período menos o descarte inicial [mm]. Em caso de resultados negativos, adota-se zero altura pluviométrica útil.

$$P_{\text{útil}} = \text{máximo} \left\{ \begin{array}{l} \text{coluna 02} - \text{coluna 03} \\ 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

Coluna 05: valor da demanda de água não potável a ser atendida no intervalo de tempo estudado [m³];

Coluna 06: valor da área de coberta do edifício utilizado para captação da água de chuva [m²];

Coluna 07: valor do coeficiente de *Runnoff*, constante;

Coluna 08: cálculo do volume que pode ser captado conforme o método racional, item 4.1.6 da NBR 15527/2019 (Equação 5).

$$V_{\text{gerado}} = P_{\text{útil}} \cdot A \cdot C = \text{Coluna 04} \cdot \text{Coluna 06} \cdot \text{Coluna 07} \quad (5)$$

4.3 SÉRIES PLUVIOMETRICAS

Com intuito de avaliar os efeitos das séries pluviométricas aplicadas em cada método de dimensionamento, foram utilizadas as seguintes séries: média mensal, média diária, série total diária e série sintética pelo método de Monte Carlo utilizando valores totais mensais.

A série média mensal, como o próprio nome sugere, foi construída por meio da média do valor de chuva, durante o todo o período histórico apurado, de cada mês em estudo. De

maneira análoga, a série média diária foi elaborada a partir da média de chuva em cada dia do ano, durante todo o período da série. Na construção da série total diária, foram apenas utilizados os valores totais diários de precipitação, obtida do banco de dados da AESA (2020), do tempo total da série.

Segundo Tomaz (2011), para gerar uma série sintética mensal pelo método de Monte Carlo, os dados de entrada são as precipitações totais mensais registradas. Então, é utilizado a função percentil em cada mês, onde o valor de probabilidade se refere às chances de falhas naquele intervalo de tempo. Assim, para um valor 10% de falha referente ao mês de janeiro, sua confiabilidade será de 90%. Em todos os meses de janeiro foram registrados um valor maior ou igual ao de precipitação encontrada pela função percentil em 90% dos dados históricos.

Com os dados pluviométricos, foram geradas diversas séries sintéticas utilizando o método de Monte Carlo. Vikram Vyas (1999, apud Tomaz 2011) registrou alguns valores para confiabilidade do sistema, cujo autor classificou como extremamente confiável o resultado equivalente à 95% de probabilidade, confiável de 85% e tolerável com 75%.

4.4 MÉTODOS PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO

Os métodos do qual são retratados neste trabalho, foram escolhidos observando os critérios indicados pela NBR 15527 (ABNT, 2019), pois, conforme o item 4.4.2, o cálculo para dimensionamento do reservatório deve levar em consideração pelo menos a área de captação, a pluviometria e a demanda de água não potável.

4.4.1 Australiano

Segundo Favretto et al (2016), o método Australiano é realizado por tentativa, até chegar no volume máximo que pode ser obtido ou desejado. Os dados de entrada para esse método são os valores da pluviometria local, a área que será coletada a chuva, o coeficiente de escoamento e o volume de reservatório, analogamente podemos retirar como resultados, o volume de água extravasado total, o número de meses onde o reservatório termina vazio, conseqüentemente o cálculo de confiança. O balanço hídrico deste método é dado pelas equações 6 e 7.

$$V_{gerado(Aus)} = (P - I). A. C \quad (6)$$

$$V_t = V_{t-1} + V_{gerado(Aus)} - D \quad (7)$$

Onde $V_{gerado(Aus)}$ é o volume de água captada do método australiano (t) [m³]; V_t é o volume no reservatório no tempo (t) [m³]; V_{t-1} é o volume no reservatório no tempo (t-1) [m³], e I corresponde ao valor de Interceptação [mm].

Logo, a planilha complementar é composta de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Construção da planilha complementar para o método prático Australiano

Coluna 09	Coluna 10	Coluna 11
Volume no reservatório no tempo (t-1) (m ³)	Volume no reservatório no tempo (t) (m ³)	Volume extravasado (m ³)

Fonte: adaptado de Pereira, 2019

Onde:

Coluna 09: volume no reservatório no tempo (t-1), cujo valor da primeira linha é zero, enquanto as demais possuem o valor da coluna 10 na linha anterior.

Coluna 10: caso o valor de V_t seja negativo, então é adotado o valor zero, indicando que a demanda não foi totalmente atendida. Caso seja positivo, temos a demanda atendida, com um volume restante de água. Se este volume remanescente for maior que o volume de reservatório, então o valor de V_t é igual ao volume máximo do reservatório previsto, se não, mantem-se o valor de V_t , calculado conforme Equação 7, como a quantidade de água disponível.

$$\text{Resumo dos casos} \begin{cases} se V_t \leq 0, V_t = 0; \\ se V_t > V, V_t = V; \\ se não, V_t = V_{t-1} + V_{gerado} - D \end{cases} \quad (7)$$

Onde V é o Volume de Reservatório simulado [m³];

Coluna 11: o volume de água que é extravasado acontece quando $V_t > V$, cuja água captada restante não pode ser armazenada na cisterna. Logo, o volume da água extravasada é calculado conforme a Equação 8.

$$\text{Resumo dos casos} \begin{cases} se V_t \leq V, O_t = 0; \\ se não, O_t = V_{t-1} + V_{gerado} - D - V \end{cases} \quad (8)$$

Onde O_t é o volume de chuva extravasado (*Overflow*) no tempo t , quando todo o volume de chuva captado não pode ser armazenado devido a capacidade do reservatório [m³].

Este método coloca como uma forma de tomada de decisão para escolha do volume de reservatório através da confiança ou confiabilidade, definida por Silva e Orrico (2015) como a porcentagem de dias em que a demanda é atendida no período de análise, calculada na Equação 9.

$$C = \left(1 - \frac{Nr}{N}\right) * 100 \quad (9)$$

Onde C é a confiança [%]; Nr é o número de casos (meses ou dias), onde o reservatório não atendeu a demanda, ou seja, $V_t = 0$, e N é o total de dias ou meses a serem analisados, dependendo da série pluviométrica utilizada.

Assim como retrato por Favretto et al (2016) e Amorim e Pereira (2008), o valor indicado pelo método é que a confiança esteja entre 90% e 99%.

4.4.2 Comportamental

O modelo comportamental, semelhante ao método australiano, consiste na realização de tentativas para simulação do balanço hídrico do reservatório. De acordo com Jenkins e Pearson (1978), este modelo divide-se em duas regras operacionais, a Produção Depois do Enchimento (PDE), calculada de acordo com as equações 10 e 11, e a Produção Antes do Enchimento (PAE), conforme exposto nas equações 12 e 13. Estas se distinguem apenas por qual etapa é contabilizado a quantidade de água utilizada pelo sistema, onde pela operação PDE a água que vai suprir a demanda é retirada depois da captação da água de chuva e na operação PAE é retirada a água destinada para demanda antes.

$$V_{t(PDE)} = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1(PDE)} + V_{captado} - Y_{t(PDE)} \\ V - Y_{t(PDE)} \end{array} \right. \quad (10)$$

$$Y_{t(PDE)} = \min \left\{ \begin{array}{l} D \\ V_{t-1(PDE)} \end{array} \right. \quad (11)$$

Onde $V_{t(PDE)}$ é volume de reservatório naquele tempo (linha de cálculo) [m³]; $V_{t-1(PDE)}$ é volume de reservatório no tempo anterior (linha anterior de cálculo) [m³]; $V_{captado}$ é o volume que foi captado pelo sistema [m³]; $Y_{t(PDE)}$ é a produção que é obtida no tempo t [m³] que representa a quantidade de água que supriu a demanda.

$$V_{t(PAE)} = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1(PAE)} + V_{captado} - Y_{t(PAE)} \\ V \end{array} \right. \quad (12)$$

$$Y_{t(PAE)} = \min \left\{ \begin{array}{l} D \\ V_{t-1(PAE)} + V_{captado} \end{array} \right. \quad (13)$$

Onde $V_{t(PAE)}$ é volume de reservatório naquele tempo (linha de cálculo) [m³]; $V_{t-1(PAE)}$ é volume de reservatório no tempo anterior (linha anterior de cálculo) [m³]; $Y_{t(PAE)}$ é a produção que é obtida no tempo t [m³] que representa a quantidade de água que supriu a demanda.

Latham (1983 apud FEWKES, 1999), unifica o modelo para cálculo do reservatório impondo o parâmetro θ , este não necessariamente se torna um dado de entrada, mas que para esse trabalho será tratado para diferenciar os regimes de produções onde o modelo está sendo aplicado, como mostrado nas equações 14 e 15.

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} (V_{t-1} + V_{captado} - \theta Y_t) - (1 - \theta)Y_t \\ V - (1 - \theta)Y_t \end{array} \right. \quad (14)$$

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D \\ V_{t-1} + \theta V_{captado} \end{array} \right. \quad (15)$$

Onde θ é um parâmetro binário cujo valor zero representa a operação PDE e o número 1 indica a operação PAE.

Então, os dados de entrada exigidos para o método comportamental são a pluviometria local, a área de telhado, coeficiente de *Runoff* e o volume de reservatório. Com isso, é possível calcular a quantidade de água de chuva que foi utilizada na demanda junto a eficiência do sistema.

A Tabela 5 mostra a planilha auxiliar de cálculo para o modelo comportamental, onde é adotado volumes de reservatório no balanço hídrico para a simulação. Esta tabela atenderá tanto para o estado de PAE quanto o estado de PDE.

Tabela 5 - Construção da planilha complementar para o método Comportamental

Coluna 09	Coluna 10	Coluna 11	Coluna 12
Volume captado (m ³)	Volume de água no reservatório (m ³)	Suprimento de Chuva Y (m ³)	Demanda Atendida (%)

Fonte: adaptado de Annechini, 2005

Onde:

Coluna 09: volume máximo de água que pode ser captada pelo sistema e possa ser armazenado.

$$\text{Resumo dos casos} \left\{ \begin{array}{l} \text{se } V_{gerado} \geq V, V_{captado} = V \\ \text{se não, } V_{captado} = V_{gerado} \end{array} \right. \quad (16)$$

Coluna 10: coluna onde temos o balanço de água, dado pelo algoritmo citado na equação 14, cuja primeira linha consiste em $V_{t-1} = 0$, ou seja, considera-se que o reservatório está vazio no início da simulação. Para a análise PDE, sempre é levado em consideração a retirada da quantidade de água que foi utilizada na demanda, enquanto no PAE apenas a primeira opção do algoritmo considera essa subtração da produção, onde o volume de água

do reservatório de período anterior somado ao volume de água de chuva captado subtraído a produção de chuva é menor do que o volume da cisterna simulado.

Coluna 11: é dado pelo volume de água da chuva que foi utilizado na demanda, onde para o PDE temos a escolha o menor valor entre a demanda e o resultante do volume de água no reservatório para o período anterior, já para o PAE a segunda parte do algoritmo leva soma o volume de chuva que foi captado ao volume de água do tanque no tempo anterior($t-1$), como mostra a Equação 15.

Coluna 12: valor que representa a porcentagem da demanda que foi suprida naquele período, dado pela razão entre a produção e a demanda, ou seja, a coluna 11 e a coluna 05, assim como mostra a Equação 17.

$$E = \frac{Y_t}{D} \cdot 100 = \frac{\text{Coluna 11}}{\text{Coluna 05}} \cdot 100 \quad (17)$$

Onde E equivale à eficiência do sistema (%);

A eficiência do sistema para simulação do reservatório é dada pela média dos valores da coluna 12, este valor será dado como a eficiência do reservatório. O sistema atinge 100% da eficiência quando todos os valores da coluna 12 foram 100 %.

4.4.3 Rippl

Para estudo do volume do tanque obtido pelo método de Rippl, assim como mostra Sousa (2017), obtendo o volume de reservatório observando o acumulo dos déficits, assim tem-se a seguintes equações:

$$S_t = D - V_{gerado} \quad (18)$$

$$V_{(Rippl)} = \sum S_t, \text{ quando } S_t > 0 \quad (19)$$

Onde S_t é a diferença da demanda pelo gerado [m^3];

Este método considera o reservatório cheio no início do balanço hídrico e tem como dados de entrada os valores de altura pluviométrica da região, área de captação, coeficiente de escoamento e a suposta demanda. Como resposta, o método de Rippl visa o cálculo do volume de tanque de acordo com as colunas 09 e 10 da Tabela 6, que complementam a planilha de cálculo da Tabela 3.

Tabela 6 - Construção da planilha complementar para o método de Rippl

Coluna 09	Coluna 10
Diferença da demanda pelo gerado (m ³)	Acumulados positivos (m ³)

Fonte: adaptado de Tomaz, 2011

Onde:

Coluna 09: diferença entre coluna 05 e a coluna 08, dado pela Equação 18, se considerado apenas uso naquele período da linha. Para os resultados negativos temos uma sobra de água, e para os positivos tem-se um déficit, ou seja, o quanto faltou para suprir a demanda de água não potável.

Coluna 10: acúmulo apenas dos valores positivos encontrado na coluna 09, caso a soma da coluna 09 (da linha atual, tempo t) com a coluna 10 (da linha anterior, tempo t-1) for negativa, adota-se 0. Caso contrário, é feito registro de valor da soma. O valor de volume de reservatório é feito observando o maior valor positivo da coluna 10, que indica o período mais crítico.

$$\text{Resumo dos casos } \begin{cases} \text{se } AC_{t-1} + S_t < 0, AC_t = 0 \\ \text{se não, } AC_t = AC_{t-1} + S_t \end{cases} \quad (m^3) \quad (20)$$

Onde AC_t é o valor acumulado positivo da linha atual [m³], e AC_{t-1} indica o valor acumulado positivo da linha anterior [m³].

4.4.4 Simulação

Observa-se na Equação 21 o volume de água gerado e, em sequência, a equação da continuidade de um reservatório finito (Equação 22), ou balanço de massa hídrico, aplicada no método.

$$V_{gerado(Sim)} = (P - ff) \cdot A \cdot C \quad (21)$$

$$V_t = V_{t-1} + V_{gerado(Sim)} - D \quad (22)$$

Onde $V_{gerado(Sim)}$ é o volume de água que pode ser captada conforme o método da simulação [m³]; ff é o descarte inicial da chuva.

Este método tem como parâmetros de entrada a precipitação local, a área de telhado, o coeficiente de *Runoff*, a demanda e volume de reservatório que se deseja simular, gerando como resultados o volume de água que foi extravasada, a quantidade de água que foi utilizada da concessionária para suprir com totalidade a demanda de água não potável e o valor da

eficiência do sistema para o volume de cisterna predefinido. A Tabela 7 apresenta a planilha, em complemento a Tabela 3, que compõe o processo lógico de estudo do método.

Tabela 7 - Construção da planilha complementar para o método da simulação.

Coluna 09	Coluna 10	Coluna 11	Coluna 12	Coluna 13
Volume de reservatório simulado-fixo (m ³)	Volume no reservatório no tempo t-1 (m ³)	Volume no reservatório no tempo t (m ³)	Volume extravasado (m ³)	Suplemento de água externo (m ³)

Fonte: adaptado Tomaz, 2011

Onde:

Coluna 09: volume de reservatório que se deseja simular [m³];

Coluna 10: volume no reservatório no tempo (t-1). Tem na sua primeira linha o valor zero, para as demais, atribui-se o valor da coluna 11 da linha anterior.

Coluna 11: volume de água que tem no reservatório no tempo (t), ou seja, ao fim do mês ou dia. A lógica de cálculo é igual a coluna 10 do método prático australiano, dados pela Equação 22 e resumo de casos da Equação 7.

Coluna 12: volume de água que é extravasado (*Overflow*). Volume gerado que não pode ser armazenado devido o reservatório ter atingido a capacidade máxima. Tem o mesmo funcionamento lógico da coluna 11 do método prático australiano, dado pela Equação 8.

Coluna 13: volume abastecido por uma fonte externa, naquele tempo, que foi necessário para suprir a demanda de água não potável, ou seja, quando $V_t < 0$, então este valor negativo representa a quantidade água que é utilizada da concessionária.

$$\text{Casos } \begin{cases} \text{se } V_{t-1} + V_{gerado(Sim)} < D, sup = D - V_{t-1} - V_{gerado(Sim)} (m^3) \\ \text{se não, } sup = 0 \end{cases} \quad (23)$$

Onde *sup* é o suplemento de água externo [m³];

4.4.5 Simulação Modificado

De maneira análoga ao método da simulação, observa-se que as colunas 09 e 10 são calculadas da mesma maneira em ambos os métodos. Já, as colunas 13 e 14 deste método são equiparadas às colunas 12 e 13 do método da simulação, respectivamente. Assim como ambos os métodos possuem os mesmos dados de entrada e saída.

A Tabela 8 mostra a planilha complementar à Tabela 3, para o método da simulação modificado.

Tabela 8 - Construção da planilha complementar para o método da simulação modificado.

Coluna 09	Coluna 10	Coluna 11	Coluna 12	Coluna 13	Coluna 14
Volume de reservatório simulado-fixo (m ³)	Volume no reservatório no tempo t-1 (m ³)	Volume no reservatório no tempo t (m ³)	Volume no reservatório no tempo t+1 (m ³)	Volume extravasado (m ³)	Suplemento de água externo (m ³)

Fonte: adaptado NOVAKOSKI et al , 2013

Onde:

Coluna 11: volume de reservatório no tempo t (Equação 24), onde é somado o volume gerado (Equação 21) ao valor de água no reservatório no tempo $(t-1)$, caso o resultado seja menor do que o volume simulado. Caso contrário, adota-se o valor da coluna 09 [m³].

$$\text{Casos } \begin{cases} \text{se } V_{t-1} + V_{gerado(Sim)} > V, V_t = V \\ \text{se não, } V_t = V_{t-1} + V_{gerado(Sim)} \end{cases} \quad (24)$$

Coluna 12: volume de reservatório no tempo $(t+1)$, calculado por meio da subtração do valor da demanda no tempo t no volume da cisterna para o mesmo período. Caso o resultado seja negativo, adota-se que o volume para este período é zero, isto é, se faz necessário utilizar água da rede externa para o atendimento total da demanda, caso contrário temos como resposta o valor positivo calculado pela Equação 21.

$$\text{Casos } \begin{cases} \text{se } V_t - D < 0, V_{t+1} = 0 \\ \text{se não, } V_{t+1} = V_t - D \end{cases} \quad (25)$$

Onde V_{t+1} é o volume no reservatório no tempo $(t+1)$ [m³];

4.5 FATORES DE VOLUME E DEMANDA POR ÁREA DE CAPTAÇÃO

Silva e Orrico (2015) calcularam dois fatores, cujo primeiro (Equação 26) representa a razão entre o volume de reservatório e a área de captação da água de chuva (VPA), e o segundo (Equação 27) indica a razão entre a demanda e a mesma área de captação (DPA).

$$VPA = \frac{V}{A} \quad (26)$$

$$DPA = \frac{D}{A} \quad (27)$$

Onde, VPA é o volume por área [m³/m²]; DPA é a demanda por área [m³/m²]; V é o volume e reservatório [m³]; D é demanda de água não potável [m³]; e A é a área de captação [m²].

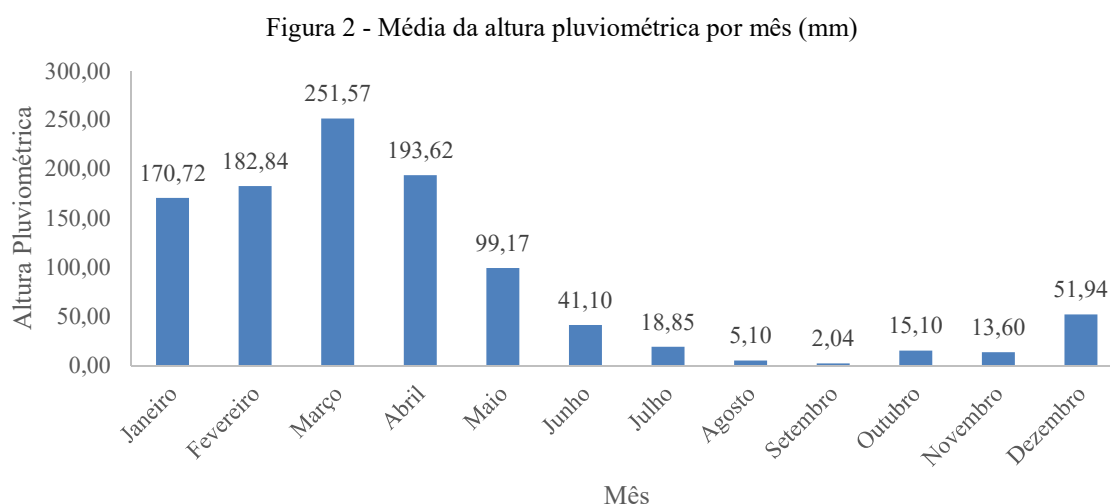
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção é composta pelos parâmetros de entradas levantados e calculados, os volumes calculados de reservatórios, as análises dos fatores VPA e DPA e o estudo do crescimento da eficiência de acordo com o volume de reservatório.

5.1 PARÂMETROS DE ENTRADA

Com os dados de chuva referentes a cidade de Cajazeiras na Paraíba, foram extraídos 4 tipos séries pluviométricas distintas, sendo elas: média mensal, série sintética, média diária e total diário.

A Figura 2 representa a média da altura pluviométrica para cada mês.

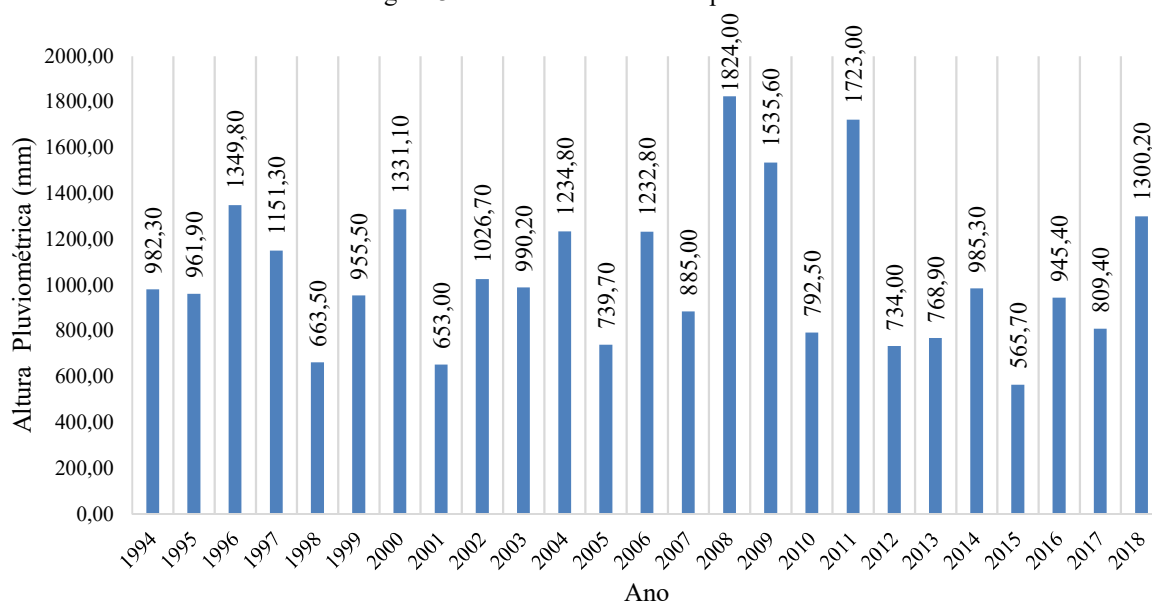


Fonte: adaptado de AESA, 2020

É possível observar que, na região, entre os meses de janeiro e abril encontra-se a maior concentração de chuva, consistindo em seu período chuvoso. Em contrapartida, nos meses de junho a novembro, em comparação aos demais meses, foram registrados valores menores, principalmente para os meses de agosto e setembro. Mesmo apresentando grandes variações de chuva durante um ano, a média pluviométrica anual da cidade de Cajazeiras para o período de 1994 a 2018 foi de 1045,66 mm.

Segundo Teixeira (2016) a região do semiárido é conhecida por seu baixo índice de chuva, apresentando o período de chuvoso restrito a três ou quatro meses.

Figura 3 – Altura Pluviométrica por ano



Fonte: adaptado de AESA, 2020

De acordo com a Figura 3, nota-se uma grande variação nos valores pluviométricos totais anuais. Por exemplo, os anos de 2001 e 2015 apresentam valores muito baixos, com 653,00 mm e 565,70 mm, respectivamente. No entanto, foram registrados 1824,00 mm em 2008 e 1723,00 mm em 2011. Vale ressaltar que, para o período analisado, a razão entre a pluviometria total anual máxima e a mínima é superior a 3.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados totais anuais de chuva para série sintética calculada pelo método de Monte Carlo (Apêndice A).

Tabela 9 – Totais para cada percentil das séries sintéticas

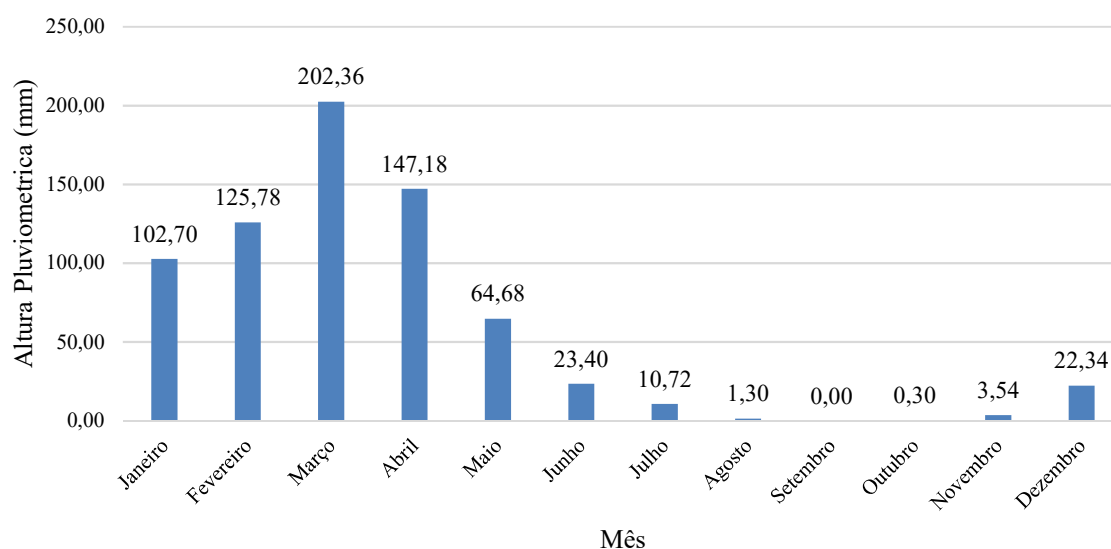
Percentil	Total anual (mm)	Percentil	Total anual (mm)
95%	242,48	45%	968,08
90%	338,60	40%	1034,04
85%	450,38	35%	1106,16
80%	521,74	30%	1243,88
75%	567,80	25%	1389,20
70%	630,66	20%	1466,36
65%	661,46	15%	1643,08
60%	704,30	10%	1895,68
55%	806,86	5%	2259,28
50%	910,40		

Fonte: autoria própria, 2020

Tomaz (2011) afirmou que a análise sobre a confiabilidade é algo subjetivo. Por isso, foi observada uma divergência nos valores totais anuais das séries que foram geradas (Tabela 9) em relação ao registrado na Figura 3. O valor da pluviometria total anual resultante dos

percentis de 95% a 80% possuem valores inferiores aos totais anuais mínimos registrados, enquanto que, para os percentis de 10% e 5%, as chuvas totais anuais apresentaram valores superiores ao valor máximo dado pela série histórica. Então, foi adotado o valor de 60% de confiabilidade como referência para calcular a série sintética, que se enquadra dentro dos valores anuais que foram observados e que representa maior parte de todos os registros, pois é menor que 88% dos totais anuais. Na Figura 4, tem-se os valores recalculados.

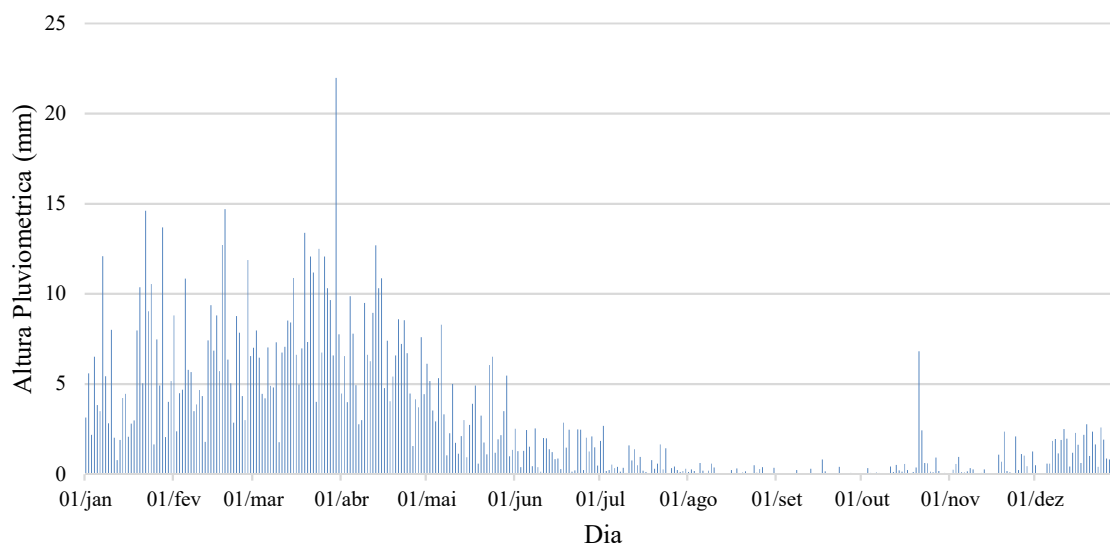
Figura 4 - Série Sintética



Fonte: autoria própria, 2020

De acordo com a Figura 4, no mês de março, por exemplo, foi calculado um valor de 202,36 mm, logo 60% dos 25 anos estudados registraram para o mês de março no mínimo um valor de 202,36 mm, onde nos demais 40% foi observado valores inferiores. A Figura 5 apresenta o gráfico com os valores que foram utilizados na série média diária.

Figura 5 – Série média diária

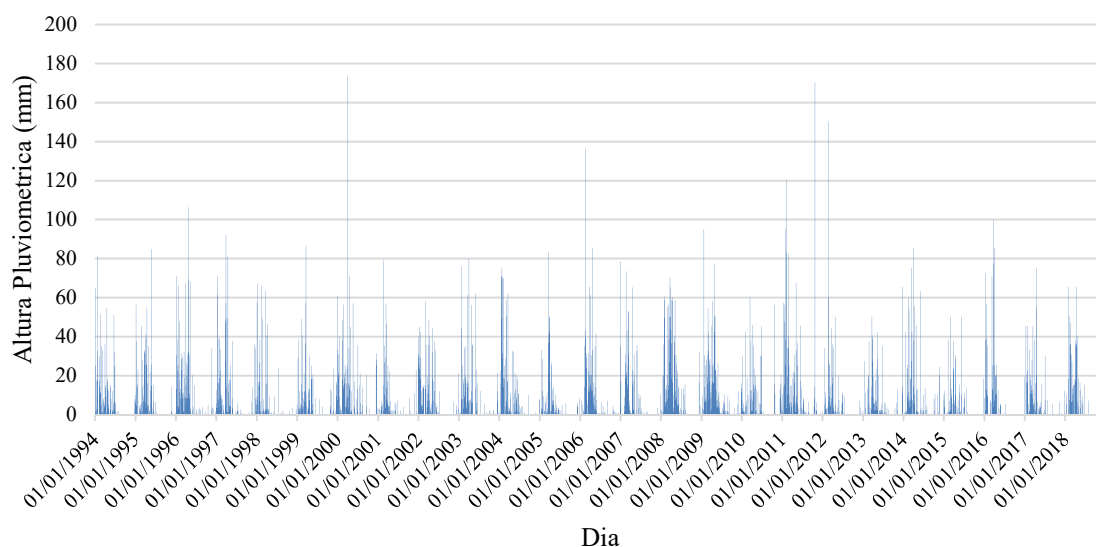


Fonte: adaptado de AESA, 2020

É percebido que o gráfico da Figura 5 apresentou uma tendência semelhante à Figura 2, porém, com mais detalhes no que se refere aos dados das alturas pluviométricas, já que a mesma possui intervalos menores.

A Figura 6 representa a altura pluviométrica para cada dia no intervalo de 25 anos, utilizada na série total diário.

Figura 6 – Série total diário



Fonte: adaptado de AESA, 2020

Com base na pesquisa realizada por Anecchini (2005), que discutiu acerca do volume empregado no descarte inicial, foi aplicado 1mm da chuva para o dispositivo de descarte em todos os métodos analisados, como forma de representar o pré-tratamento da

água que foi coletada, conforme indicação da NBR 15527 (ABNT, 2019). Então, com o intuito de manter uma análise equânime, independentemente do tipo da série, o cálculo do descarte inicial nas séries compostas pela pluviometria média diária e pelo total diário foi realizado a partir da subtração de 1 mm para os dias em que houve registro de chuva maior do que 1mm. Enquanto nos dias que houve chuva inferior a 1mm, o descarte foi o valor da chuva do dia.

Já, para série média mensal, procedeu-se o cálculo do descarte inicial por meio da quantificação da média de dias com chuva em cada mês.

Para o descarte na série sintética, foi utilizado o método de Monte Carlo (Apêndice B), explanado no item 3.3, porém, o parâmetro de entrada foi substituído pela quantificação de dias com chuva em cada mês. A Tabela 10 expõe os valores do descarte inicial para a série média mensal e série sintética.

Tabela 10 - Descarte inicial aplicado

Meses	Média mensal (mm)	Série Sintética (mm)
Janeiro	10,20	8,6
Fevereiro	12,20	11,6
Março	15,56	15
Abril	13,24	11,6
Maio	9,04	8
Junho	5,24	4,6
Julho	3,92	3
Agosto	1,76	1
Setembro	0,40	0
Outubro	1,48	0,6
Novembro	1,72	1
Dezembro	4,40	3
Total	79,16	68,00

Fonte: autoria própria, 2020

Assim, pela Tabela 10, é exposto para o mês de maio, por exemplo, que choveu em média 9,02 dias, e de acordo como os valores de descarte para a série sintética, tem-se que para o mês de maio choveu pelo menos 8 dias em 60% dos 25 anos em estudo. As demandas foram calculadas para os valores de consumo, para fins não potáveis, em uma residência unifamiliar com 4, 5, 6, 7 e 8 habitantes respectivamente, utilizando a Equação 1 (Tabela 11).

Tabela 11 - Demandas utilizadas

Habitantes	Demanda mensal (m ³)
4	4,44
5	5,55
6	6,66
7	7,77
8	8,88

Fonte: autoria própria, 2020

Para o material do telhado foi considerado a telha cerâmica, telha mais comum utilizada na região. Logo, de acordo com a Tabela 2, o coeficiente do material adotado foi de 0,85.

Como citado inicialmente, também foram simuladas situações com variadas áreas de telhado, sendo esses: 100, 125, 150, 175 e 200 m² de área para captação de água de chuva. Dos valores escolhidos para área de captação e número de habitantes, foi observado da pesquisa de Rupp et. al (2011), que utilizou 3 valores de área de captação distintos, sendo 100 m², 200 m² e 300 m², e 9 demandas distintas, que variam igualmente entre 1,8 m³/mês e 9 m³/mês. Muzzuri et. al (2008) e Souza e Mumbach (2013), também analisaram a variação de volumes de reservatórios para casos distintos, adotando 80 m², 120 m² e 200 m², para valores de área de telhado e 2,7 m³/mês, 3,6 m³/mês e 4,5 m³/mês, com valores de demanda. A Tabela 12 permite identificar os casos simulados neste estudo variando a demanda e a área de captação.

Tabela 12 - Numeração dos casos para referência

Área (m ²)	Demanda (m ³)				
	4,44	5,55	6,66	7,77	8,88
100	1	2	3	4	5
125	6	7	8	9	10
150	11	12	13	14	15
175	16	17	18	19	20
200	21	22	23	24	25

Fonte: Autoria própria, 2020

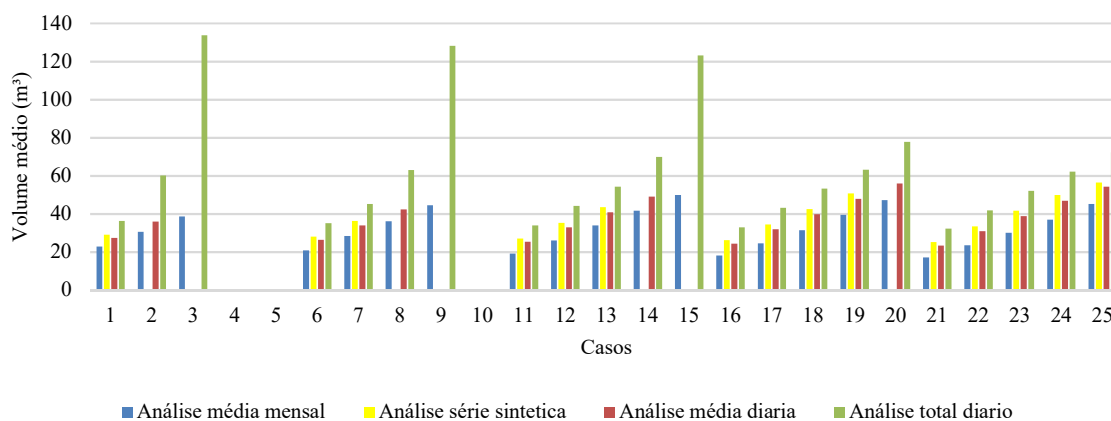
5.2 VOLUMES DE RESERVATÓRIO

Com o objetivo de comparar o dimensionamento dos reservatórios que atendessem integralmente as situações propostas, só foram analisados os valores encontrados pelo método de Rippl, nos casos onde o somatório da demanda é menor que o somatório do volume de chuva gerado, e os casos cujo cálculo da cisterna atingiu 100% de eficiência (onde atende toda a demanda) para o método comportamental PAE, comportamental PDE, método da simulação e simulação modificado (Apêndice D). Analogamente foi utilizado este critério

para o método prático australiano, mas usando 100% da confiança (onde atende à demanda todo intervalo de tempo).

Tendo em vista, de maneira geral, a análise dos volumes das cisternas em função do tipo de série pluviométrica e do caso aplicado, a Figura 7 apresenta as médias dos volumes resultantes de todos os métodos, em cada caso, agrupada para cada tipo de série empregada.

Figura 7 - Média de volumes por caso e série pluviométrica



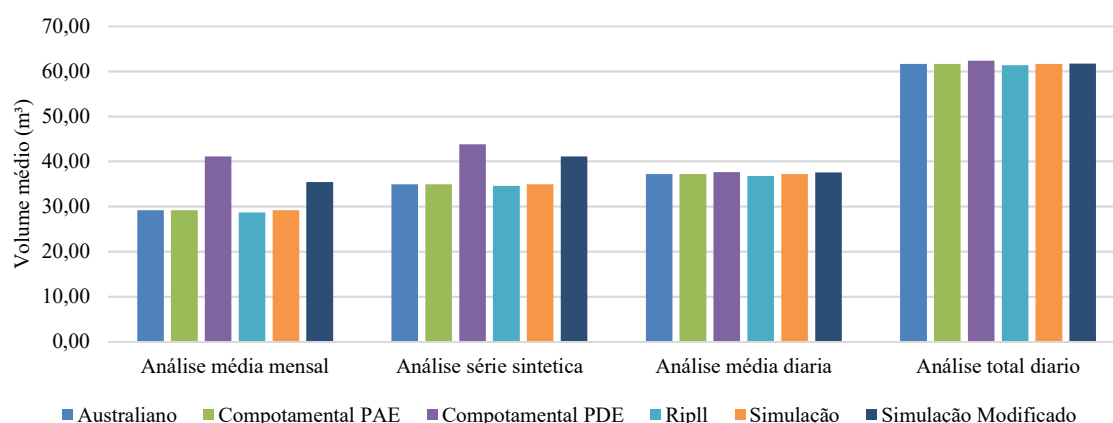
Fonte: autoria própria, 2020

Observou-se que o maior dos resultados se encontra na série total diária, chegando a atingir 133,77 m³ no caso 3, de área correspondente de 100 m² com demanda mensal de 6,66 m³, considerada a situação mais desfavorável para o cálculo do volume. Por outro lado, a série pluviométrica média mensal apresentou os menores volumes em todos os casos, em comparação com as demais séries.

Os casos 4, 5 e 10 não foram considerados na análise comparativa, pois não foi possível atingir 100% da eficiência ou confiança para nenhum dos métodos, já que se trata dos piores cenários analisados, cuja demanda total anual é maior do que o valor que pode ser coletado da água de chuva. Também existem casos com resultados incompletos, a exemplo dos casos 3 e 15, cuja série média diária e sintética não geraram resultados com 100% de eficiência.

Buscou-se também o volume médio resultante de cada método proposto, independente do caso, em função do tipo de série (Figura 8).

Figura 8 - Média dos volumes de cada método



Fonte: autoria própria, 2020

De acordo com os resultados expostos na Figura 8, os maiores volumes foram computados quando a série aplicada foi a total diária, para todos os métodos, com volumes de aproximadamente 60m^3 , cuja diferença entre os resultados obtidos pode ser desprezada. No entanto, quando comparados com os volumes resultantes das outras séries envolvidas, a diferença entre os volumes pode ser superior a 50%. É o caso dos reservatórios calculados pelos métodos Australiano, Comportamental PAE, de Rippl e da Simulação, para séries pluviométricas com médias mensais.

É possível notar também uma correlação entre os volumes obtidos nas séries média mensal e sintética, porém com uma diferença de aproximadamente 16,5% maior nos resultados gerados pela série sintética. Já, em se tratando da ordem de grandeza, os resultados da série sintética estão mais próximos da análise com a média diária do que os resultados das médias mensais.

Foi percebido também, nas series média mensal e série sintética, uma notória diferença entre os valores dos volumes dos reservatórios obtidos pelos métodos comportamental PDE e simulação modificado, em comparação com os demais métodos. O método comportamental PDE apresentou uma diferença média de $12,44\text{ m}^3$ na série média mensal e $9,26\text{ m}^3$ na série sintética. Já, para a simulação modificada há uma diferença média de $6,76\text{ m}^3$ e $6,59\text{ m}^3$ para as séries média mensal e sintética, respectivamente, em relação aos demais métodos, com valores praticamente iguais em ambas as séries, fato que não aconteceu para o método comportamental PDE.

De forma geral, a Figura 8 mostrou ainda, para a região estudada, uma tendência do aumento do volume em função do aumento da quantidade de intervalos de discretização da série, em todos os métodos. Isto é, as séries com pluviometria total diária, que possuem 9.131

intervalos, resultam no dimensionamento de cisternas maiores do que as séries com médias diárias, que possuem 365 intervalos. Ao mesmo passo que séries utilizando médias diárias tendem a produzir volumes superiores às análises com médias mensais, com apenas 12 intervalos. É provável que isto ocorra devido os longos períodos de estiagem na região, pois os métodos de dimensionamento visam o atendimento dos períodos críticos e as médias geralmente “escondem” os valores máximos e mínimos.

5.3 ESTUDO DOS FATORES DE VOLUME E DEMANDA POR ÁREA DE CAPTAÇÃO

Após o dimensionamento dos volumes de cisterna, foi feita uma análise por meio de indicadores que permitissem entender melhor a correlação do volume de reservatório com os dados de demanda e da área de captação. Silva e Orrico (2015) calculam dois fatores, cujo primeiro (Equação 26) representa a razão entre o volume de reservatório e a área de captação da água de chuva (*VPA*), e o segundo (Equação 27) indica a razão entre a demanda e a mesma área de captação (*DPA*).

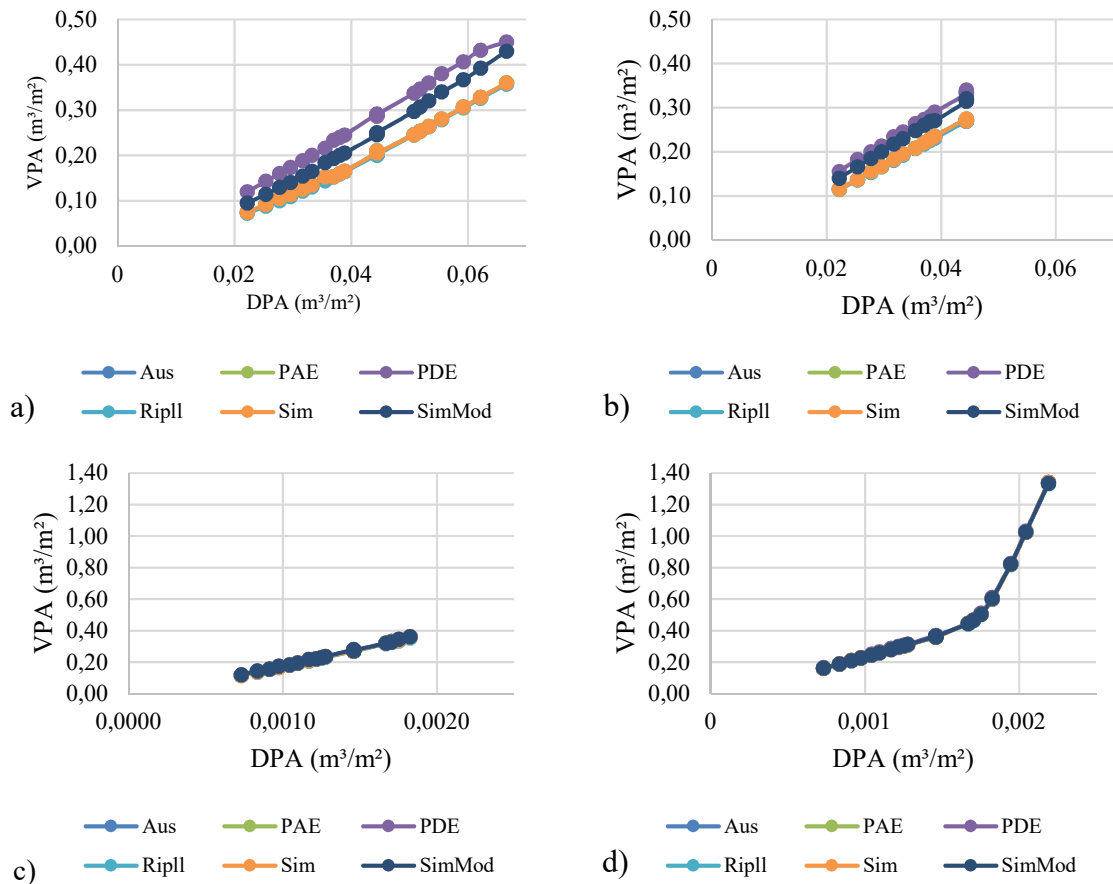
$$VPA = \frac{V}{A} \quad (26)$$

$$DPA = \frac{D}{A} \quad (27)$$

Onde, *VPA* é o volume por área [m^3/m^2]; *DPA* é a demanda por área [m^3/m^2]; *V* é o volume e reservatório [m^3]; *D* é demanda de água não potável [m^3]; e *A* é a área de captação [m^2].

Com isso, foi possível construir um gráfico de dispersão (Figura 9) no qual cada caso gerou um ponto, composto pelo valor da *DPA* em x e do *VPA* em y, aplicado à cada método e série pluviométrica possibilitando, assim, a análise do comportamento dos métodos a depender do caso analisado, a comparação dos métodos e a influência do tipo de série empregada.

Figura 9 - Gráfico de VPA por DPA, a) Média mensal, b) Série Sintética, c) Média diária e d) Total diário



Fonte: autoria própria, 2020

Na Figura 9 pode-se notar que os gráficos seguem tendências lineares na maioria dos casos, exceto na Figura 9d, referente à série total diária, onde existe inicialmente uma reta até o valor de DPA igual à 0,0015, aproximadamente, seguido de uma deflexão até o ponto 0,0018 para, em seguida, voltar a ser uma reta de maior inclinação.

É perceptível na Figura 9a, referente à média mensal, uma maior dispersão entre as retas que representam os métodos, excetuando-se os métodos Australiano, Comportamental PAE, Rippl e Simulação, que tiveram resultados equivalentes.

O gráfico equivalente à análise da série sintética (Figura 9b) apresentou uma dispersão para os resultados de cada método inferior ao da média mensal.

Já os gráficos gerados pelos resultados dos indicadores usando a média diária e o total diário, figuras 9c e 9d, respectivamente, indicaram que todos os métodos apresentaram os mesmos resultados. Ou seja, na região de estudo, o método para dimensionamento de reservatório para captação de água de chuva é indiferente quando a análise é realizada a partir de séries históricas com precipitações médias diárias ou total diária.

Outro ponto que foi percebido durante os dimensionamentos, é que quando se encontram casos com o mesmo fator de DPA, em todos os métodos e séries, os valores de VPA eram os mesmos, por isso que se observa uma reta construída como acima mostrada, *outliers*. Analogamente, independentemente do método que foi aplicado no trabalho, se utilizado um determinado caso com valor de área de telhado A e demanda D, a partir dessas variáveis é obtido um valor V para o volume da cisterna. Contudo, se o caso analisado dispuser de uma área equivalente a 2A e Demanda 2D, o volume de reservatório seria igual ao dobro do primeiro caso em comparação, ou seja, 2V.

5.4 EFICIÊNCIA

Foi observado também o comportamento da eficiência ou confiança de cada método, em função do volume do reservatório, a depender do caso e série aplicada. A exceção se aplica ao método de Rippl que foi excluído desta análise, já que este método se torna idêntico ao método da simulação quando a eficiência é inferior a 100%.

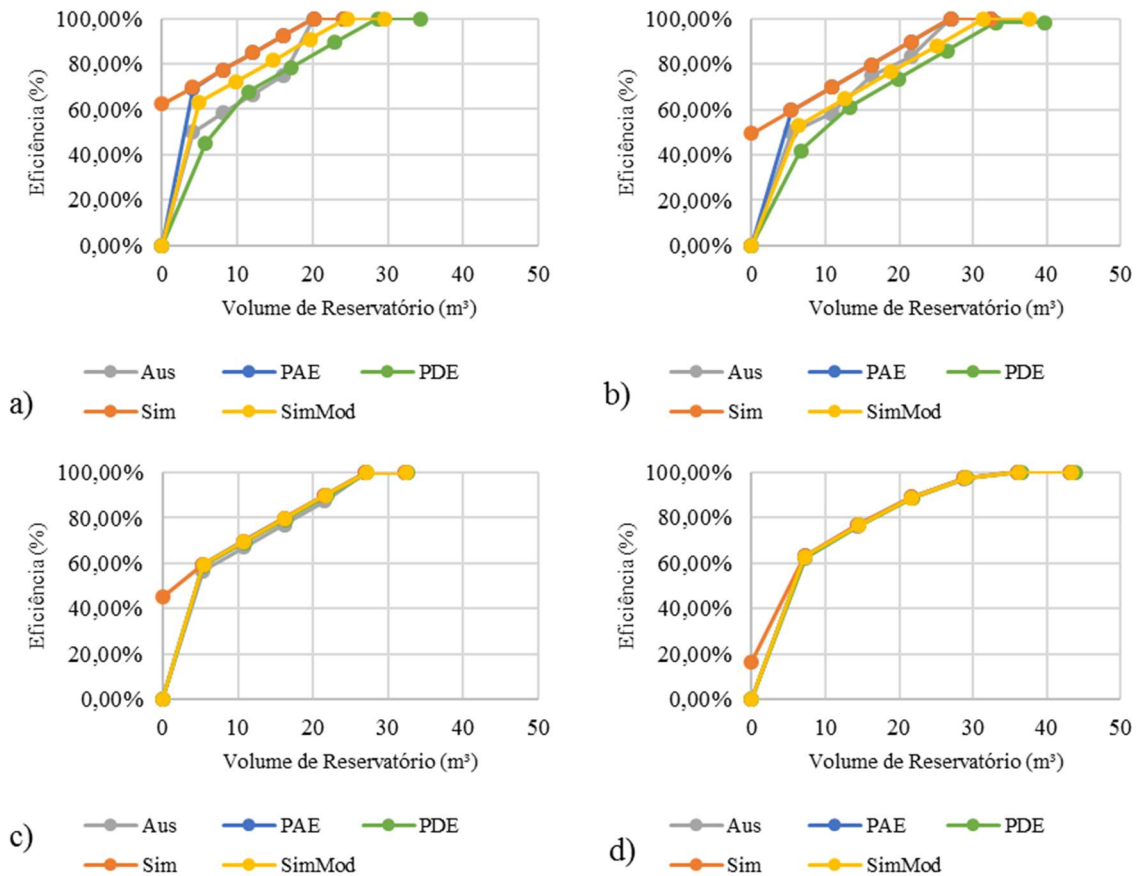
Na tentativa de simplificação da análise, foram selecionados apenas 9 casos que mais representassem os 25 cenários desenvolvidos anteriormente para cada série. Desses tem-se os 4 casos que representam os máximos e mínimos, sendo os seguintes casos:

- Menor área de captação e menor demanda (Caso 1);
- Menor área de captação e maior demanda (Caso 5);
- Maior área de captação e menor demanda (Caso 21);
- Maior área de captação e maior demanda (Caso 25);

Dos demais casos, foram escolhidos os valores médios entre os extremos mencionados, são eles: caso 3, 11, 13, 15 e 23.

A Figura 10 é ilustrativa da análise e demonstra o crescimento da eficiência em função do volume da cisterna para todos os métodos, aplicados ao caso 1, variando-se o tipo de série. Os gráficos referentes aos demais casos compõem o Apêndice C.

Figura 10 - Gráfico do crescimento da eficiência para os métodos, a) Média mensal, b) Série Sintética, c) Média diária e d) Total diário



Fonte: autoria própria, 2020

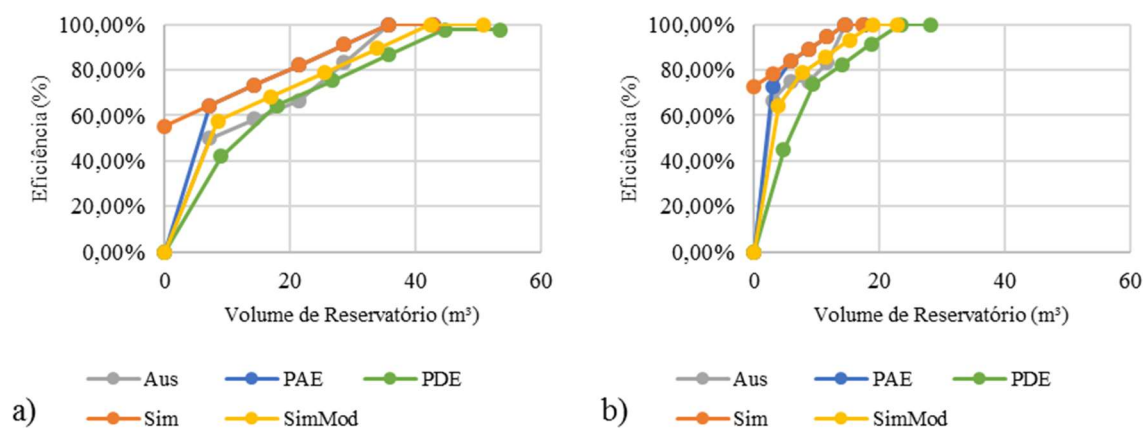
Foi visto na Figura 10 que, dependendo da série utilizada, a diferença do crescimento da eficiência entre os métodos se comporta de maneira diferente. Para as séries compostas pela média mensal e pela média mensal sintética, figuras 4a e 4b, respectivamente, foi observada uma clara distinção entre os comportamentos das curvas geradas para cada método. Já, as séries elaboradas pela média diária e o total diário apresentaram uma sobreposição das curvas obtidas em cada método.

A exceção ocorreu no ponto de partida da eficiência para o método da simulação, que foi o único método que apresentou valores positivos, inclusive com um valor superior a 60% na Figura 10a, calculado para um reservatório de volume igual a zero, isto é, sem a existência de cisterna. Uma possível explicação para esta falha está na forma de cálculo do balanço hídrico, cuja entrada e retirada de água do sistema acontecem na mesma equação, ou seja, o consumo de água acontece no momento que está ocorrendo a coleta da água de chuva.

Notou-se também que a série total diária resultou em gráficos cuja dispersão dos pontos mostrou uma tendência mais semelhante a uma curva do que as demais séries.

A Figura 11, também ilustrativa da análise, mostra o comportamento da curva da eficiência para cada método em dois casos distintos, desenvolvidas pelo mesmo tipo de série pluviométrica, a média mensal. O caso 3 possui a maior demanda que pode se obter uma eficiência de 100%, com valor de 6,66 m³/mês, e menor área de captação, com 100 m², enquanto o caso 21 tem a menor demanda e a maior área de captação, com 4,44 m³/mês e 200 m², respectivamente. A escolha da demonstração destes 2 casos se deu por apresentarem os limites superiores e inferiores destes dados analisados.

Figura 11 - Gráfico do crescimento da eficiência para os métodos utilizando a série Média mensal, a) caso 3 e b) caso 21



Fonte: autoria própria, 2020

Foi possível observar na Figura 11a que o caso 3 atingiu o dobro dos valores de volumes de reservatório em relação ao caso 21 utilizando a série média mensal. Já no caso 21 (Figura 11b), notou-se uma inclinação bem mais acentuada na primeira parte dos gráficos, resultando em maiores valores de eficiência, para todos os métodos, quando baixos valores de volume de reservatório, em comparação ao caso 3.

6 CONCLUSÃO

De acordo com a análise comparativa entre os valores resultantes para o volume do reservatório, em cada método proposto, a partir da variação da demanda, da área de captação e do tipo de série aplicada, pôde-se concluir que:

No que se refere aos resultados obtidos para os métodos prático australiano, de Rippl, comportamental PAE e o da simulação, os volumes dos reservatórios calculados podem ser considerados equivalentes ou com diferenças irrelevantes, independente da série pluviométrica ou variáveis aplicadas.

Notou-se que, para as séries média mensal e série sintética, houve uma maior diferença entre os volumes calculados por cada método. Observou-se também que os menores reservatórios calculados foram obtidos pela média mensal, pois os períodos críticos pontuais tendem a não aparecer na análise utilizando valores médios de intervalos maiores.

Foi possível observar também que são mínimas as diferenças entre os volumes de reservatórios gerados por cada método utilizando a série média diária e total diário. Possivelmente, o acréscimo de dados, referentes aos intervalos registrados, possam ter minimizados os fatores que diferenciam os métodos, já que as séries média diária e total diária possuem 365 e 9131 interações em seu balanço hídrico, respectivamente.

A série total diária, devido sua capacidade de representar mais fielmente a real necessidade de armazenamento da água de chuva na região estudada, em todo período da série, resultou em volumes duas vezes maiores, em média, em relação aos resultados da média mensal. Pois, na região estudada, ao contrário da série média mensal, os períodos de estiagem influenciaram fortemente no volume do reservatório na série total diário.

Quando analisando os fatores VPA e DPA, é notória a diferença do gráfico obtido para série total diária em relação as demais, principalmente no que diz respeito à mudança de inclinação do gráfico. Isto mostra que, a partir de uma certa demanda, se faz necessário um reservatório bem maior para suprir o volume demandando, devido à baixa pluviosidade da região. Em contrapartida, todos os métodos apresentaram os mesmos valores da curva, não havendo distinção na escolha do método quando aplicada a série com totais diários.

Com relação ao comportamento da eficiência dos métodos, comparando o tipo de série aplicada, viu-se a tendência de uma curva na série total diário, enquanto as demais se assemelham a um conjunto de duas ou três retas.

Vale ressaltar que se faz necessária uma análise mais aprofundada destes dados, inclusive em regiões com pluviometrias distintas, para discutir de forma mais acurada os fatores que influenciam no comportamento dos resultados destes métodos, com uso da série total diária.

Por fim, como sugestões para futuras pesquisas acerca do tema abordado, recomenda-se a realização de análises com grupo de cidades em que a pluviometria apresente variação, como também em regiões na qual o índice pluviométrico seja mais constante. Assim como, com o intuito de estudar a otimização de reservatórios para região do semiárido, devem ser analisadas as variáveis custo-benefício, análise matemática e análise gráfica da eficiência, para obtenção de um reservatório satisfatório.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, Leidson Allisin da Silva. **Matrizes De Probabilidade De Transição De Um Reservatório No Semiárido**. João Pessoa: UFPB, 09 jun. 2017.

Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba -AESA. **Meteorologia - Chuva**. 2020. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>>. Acesso em: mai. de 2020.

AGÊNCIA EFE. México mostra como captar da água da chuva ajuda a enfrentar a crise hídrica. Cidade do México, 2018. Disponível em: <https://www.efe.com/efe/brasil/tecnologia/mexico-mostra-como-captar-da-agua-chuva-ajuda-a-enfrentar-crise-hidrica/50000245-3765817#> Acesso em: 18 mar. 2020.

AMORIM, Simar Vieira de; Daniel José de Andrade. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água. *Pluvial. Ambiente Construído*. v. 8, n. 2, p. 53-66, Porto Alegre, 2008.

ANDRADE, Vanessa Helena de. **Ferramenta gráfica para o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de águas pluviais. estudo de caso na região norte de Rondônia**. Londrina: UTFPR, 2017.

ANNECCHINI, Karla Ponzio Vaccari. **Aproveitamento de Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)**. Vitória: UFES, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA-ABNT. **NBR 15.527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis**. Rio de Janeiro, 2019.

BRASIL-AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Abastecimento. [201-?]. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/usos-da-agua/abastecimento>>. Acesso em: 16 mar. 2020.

_____. **Lei Federal Nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 15 mar. 2020.

_____-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama de Cajazeiras**, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/cajazeiras/panorama>. Acesso em: 28 fev. 2020.

_____. **Censo Demográfico: Censo 2010 - Sinopse**, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=resultados>. Acesso em: 07 jun. 2020.

COLLICHICON, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo Hidrologia**. 1. ed. v. 5. IPH UFRGS, mai. 2008.

FAVRETTO, C. R.; CASTRO, A.S.; QUADRO, M. S.; LEANDRO, D.; DAMÉ, R. C. Dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água pluvial: Estudo de caso no município de Bento Gonçalves (RS). **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**. v.2 , n.2 , p. 17-24, dez. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBES/article/view/8257>. Acesso em: 24 jun. 2020.

FEWKES, A. *The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system*. **Building and Environment**. v. 34, p. 765-772. Nottingham, 1999.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

GIACCHINI, Margolaine. Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos. UFPR: Curitiba, 2010.

GIFFONI, Vinícius Velanes; COHIM, Eduardo. Otimização de volumes de reservatórios de água da chuva para uso pecuário. **Gesta**. v. 7, n. 2, p. 151-159, dez. 2019. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/30775/20198>. Acesso em: 28 fev. 2020.

JENKINS, David; PEARSON, Frank. Feasibility of Rainwater Collection Systems in California. Washington: **Office of Water Research and Technology**, ago. 1978.

LOPES, Gabriela Bernardi. **estudo de viabilidade técnica do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG)**. UFU: Uberlândia, 02 ago. 2012.

MORUZZI, Rodrigo Braga; OLIVEIRA, Samuel Conceição de; CARVALHO, Gabriela. Volume do reservatório de aproveitamento de água pluvial baseado no conceito do balanço de vazões para uma residência unifamiliar. **Exatas Terra, Ci. Agr. Eng.** Ponta Grossa, v. 14, n.3, p. 217-227. 2008.

NOVAKOSKI, Carolina K.; MARQUES, Marcelo G.; CONTERATO, Eliane. Análise do método da simulação para dimensionamento de reservatórios de águas pluviais em residências unifamiliares. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, dez. 2013.

OLIVEIRA, Kelly. País tem 917 municípios em crise hídrica; maioria está no Nordeste: o ministro da Integração Nacional, Helder Barbalho, defendeu, **Agência Brasil**, Brasília, 20 mar. 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.etc.com.br/geral/noticia/2018-03/pais-tem-917-municipios-em-crise-hidrica-maioria-esta-no-nordeste>. Acesso em: 16 mar. 2020.

OLIVEIRA, João Paulo Bestete. **Séries sintéticas de precipitação para estimar a erosividade das chuvas**. Viçosa: UFV, 2014.

PEREIRA, Mariane Machado. **Aproveitamento de água da chuva no pavilhão de aula 1 da UFRB: possibilidades e limitações**. Cruz das Almas. UFRB, 2019.

PETERS, E.J. Sizing Criteria for Domestic Rainwater Cisterns in The Grenadines. **West Indian Journal of Engineering** v.27, n.1, p. 68 – 78, jul. 2004.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAINMONDI, A.; BECCIU, G. Probabilistic modeling of rainwater tanks. **Procedia Engineering**, p. 1493-1499, 2014.

RUPP, Ricardo Forgiarini; MUNARIM, Ulisses; GHISI, Enedir. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64. 2011.

SILVA, Eduardo Henrique Borges Cohim; ORRICO, Sílvio Roberto Magalhães. A confiabilidade do volume das cisternas da zona rural para reservar água de chuva. **GESTA**. v.3, n.2, p. 91-99. 2015.

SOUSA, Amanda Berreza. **Dimensionamento de cisternas e proposta de tipologias de volume para regiões pluviais homogêneas**. Natal: UFRN, 10 mar. 2017.

SOUZA, Luiz Antonio Farani de; MUMBACH, Guilherme Davi. Estudo de modelos para o cálculo do volume de reservatório de sistema de aproveitamento de água pluvial para casa unifamiliar. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, dez. 2013.

TEIXEIRA, Celimar Azambuja. **Apostila de Hidrologia Aplicada**. Curitiba:UTFPR, 2010.

TEIXEIRA, Mylene Nogueira. O sertão semiárido: Uma relação de sociedade e natureza numa dinâmica de organização social do espaço. **Sociedade e Estado**, Brasília, v.31 n.3, p.769-797, set/dez 2016

THIESEN, Stephanie et al. Simulador online para dimensionamento otimizado de reservatório de água da chuva associado à economia financeira. **In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, nov. 2017.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. São Paulo, jan. 2011.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. v. 4. UFRGS: Porto Alegre, 2001.

WERNECK, Guilherme Augusto Miguel. **Sistemas de utilização de água da chuva nas edificações: o estudo de caso de aplicação em escolas de Barra do Piraí, RJ**. Rio de Janeiro: UFRJ/FAU, 2006.

APÊNDICE A

Tabela A1 – Simulação de Monte Carlo construído com a série histórica da cidade de Cajazeiras dos anos de 1994 a 2018 (mm).

Percentil	Meses												Total anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
95%	16,36	42,52	100,68	66,06	9,02	2,14	2,54	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16	242,48
90%	29,32	58,88	118,80	86,54	28,46	4,78	5,02	0,00	0,00	0,00	0,00	6,80	338,60
85%	48,10	85,58	165,78	91,76	33,56	9,82	5,80	0,00	0,00	0,00	0,00	9,98	450,38
80%	65,90	97,10	186,34	97,40	40,88	14,62	6,88	0,00	0,00	0,00	0,00	12,62	521,74
75%	74,60	98,70	193,90	108,80	51,90	19,10	7,40	0,00	0,00	0,00	0,00	13,40	567,80
70%	92,46	113,44	194,02	124,02	61,42	20,14	7,84	0,00	0,00	0,00	1,40	15,92	630,66
65%	97,06	117,68	194,50	136,74	63,18	21,18	9,04	0,40	0,00	0,00	3,12	18,56	661,46
60%	102,70	125,78	202,36	147,18	64,68	23,40	10,72	1,30	0,00	0,30	3,54	22,34	704,30
55%	141,38	139,82	213,44	159,66	78,40	28,88	11,20	2,46	0,00	1,22	3,78	26,62	806,86
50%	157,90	183,30	231,70	166,20	84,20	33,10	12,00	3,00	0,00	1,60	5,60	31,80	910,40
45%	162,22	193,32	244,58	173,68	92,44	38,74	13,18	3,84	0,00	2,28	6,62	37,18	968,08
40%	172,90	199,28	258,42	176,36	111,72	39,34	14,66	4,00	0,00	3,08	7,30	46,98	1034,04
35%	199,18	203,90	269,28	180,80	120,12	41,98	17,06	4,90	0,00	3,56	9,52	55,86	1106,16
30%	247,54	228,06	285,48	195,64	121,48	47,70	21,98	5,90	0,32	4,76	10,96	74,06	1243,88
25%	262,30	258,70	298,30	245,50	136,70	49,50	24,20	6,20	0,50	8,20	15,50	83,60	1389,20
20%	271,28	262,92	320,68	256,92	145,48	56,58	28,08	9,58	1,36	9,64	18,24	85,60	1466,36
15%	290,84	277,48	328,88	304,96	180,36	77,14	36,72	10,46	3,36	14,76	29,08	89,04	1643,08
10%	316,34	305,44	385,64	377,44	198,78	82,72	40,08	15,98	6,72	20,76	40,54	105,24	1895,68
5%	388,26	350,72	433,60	419,32	212,50	112,92	44,48	19,74	9,44	70,44	53,10	144,76	2259,28

APÊNDICE B

Tabela B1 – Simulação de Monte Carlo construído com número de dias com chuva da cidade de Cajazeiras para auxiliar no descarte inicial dos anos de 1994 a 2018.

Percentil	Meses												Total anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
95%	3,20	5,20	10,20	8,00	3,00	1,20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	3,20
90%	4,00	6,00	11,40	8,40	3,80	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	4,00
85%	4,00	7,20	12,00	9,00	5,00	2,60	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	4,00
80%	4,80	8,00	12,80	9,00	5,80	3,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	4,80
75%	7,00	9,00	14,00	9,00	6,00	3,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	7,00
70%	7,20	9,20	14,00	9,20	7,00	4,00	3,00	0,00	0,00	0,00	1,00	3,00	7,20
65%	8,00	10,40	14,40	10,40	7,40	4,00	3,00	0,40	0,00	0,00	1,00	3,00	8,00
60%	8,60	11,60	15,00	11,60	8,00	4,60	3,00	1,00	0,00	0,60	1,00	3,00	8,60
55%	9,00	12,00	15,00	12,00	8,00	5,00	3,00	1,00	0,00	1,00	1,00	3,80	9,00
50%	9,00	13,00	15,00	12,00	9,00	5,00	3,00	1,00	0,00	1,00	1,00	4,00	9,00
45%	10,40	13,00	15,00	13,00	9,00	5,00	3,00	1,20	0,00	1,00	2,00	4,00	10,40
40%	12,00	13,00	15,40	13,00	9,00	5,00	3,40	2,00	0,00	1,00	2,00	4,40	12,00
35%	12,00	13,60	16,60	14,20	9,00	5,60	4,00	2,00	0,00	1,60	2,60	5,60	12,00
30%	12,80	14,80	17,00	15,00	9,80	6,00	4,00	2,00	0,80	2,00	3,00	6,00	12,80
25%	14,00	15,00	17,00	16,00	11,00	7,00	5,00	3,00	1,00	2,00	3,00	6,00	14,00
20%	15,20	15,20	18,20	17,20	11,20	7,20	5,40	3,00	1,00	3,00	3,00	6,20	15,20
15%	16,00	16,80	19,00	18,40	13,20	8,40	7,40	3,40	1,00	3,00	3,00	7,00	16,00
10%	16,00	18,60	19,60	20,20	15,00	9,00	8,60	4,00	1,00	3,60	3,60	7,60	16,00
5%	17,60	19,80	20,00	21,00	18,20	9,80	9,00	4,80	1,80	4,00	4,00	8,80	17,60

APÊNDICE C

Figura C1 - Gráfico do crescimento da eficiência para os métodos, utilizando a série média mensal: a) Caso 1, b) Caso 3, c) Caso 11, d) Caso 13, e) Caso 15, f) Caso 21, g) Caso 23 e h) Caso 25.

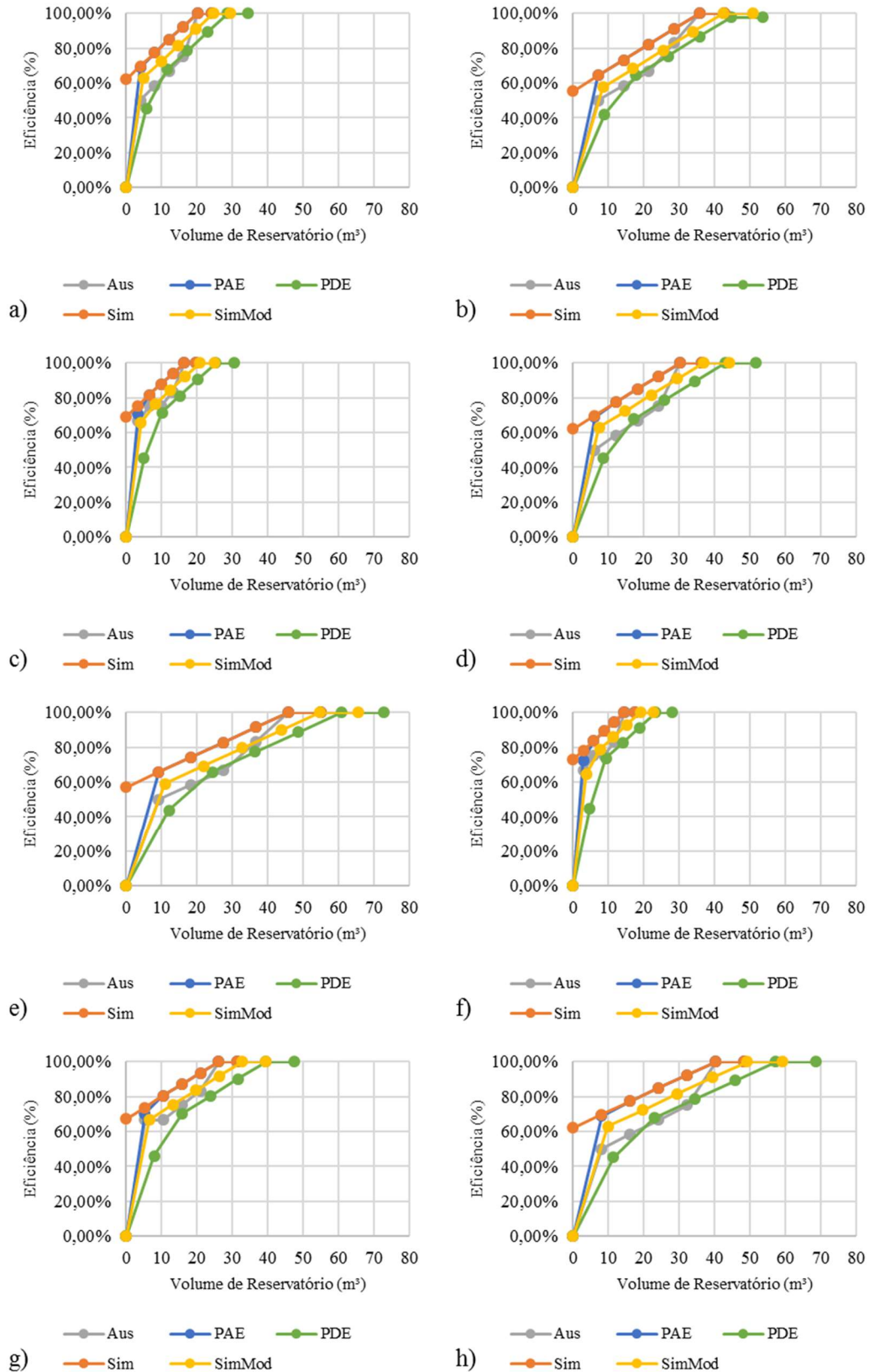


Figura C2 - Gráfico do crescimento da eficiência para os métodos, utilizando a série sintética:
a) Caso 1, b) Caso 11 c) Caso 13, d) Caso 21 e) Caso 23 e f) Caso 25.

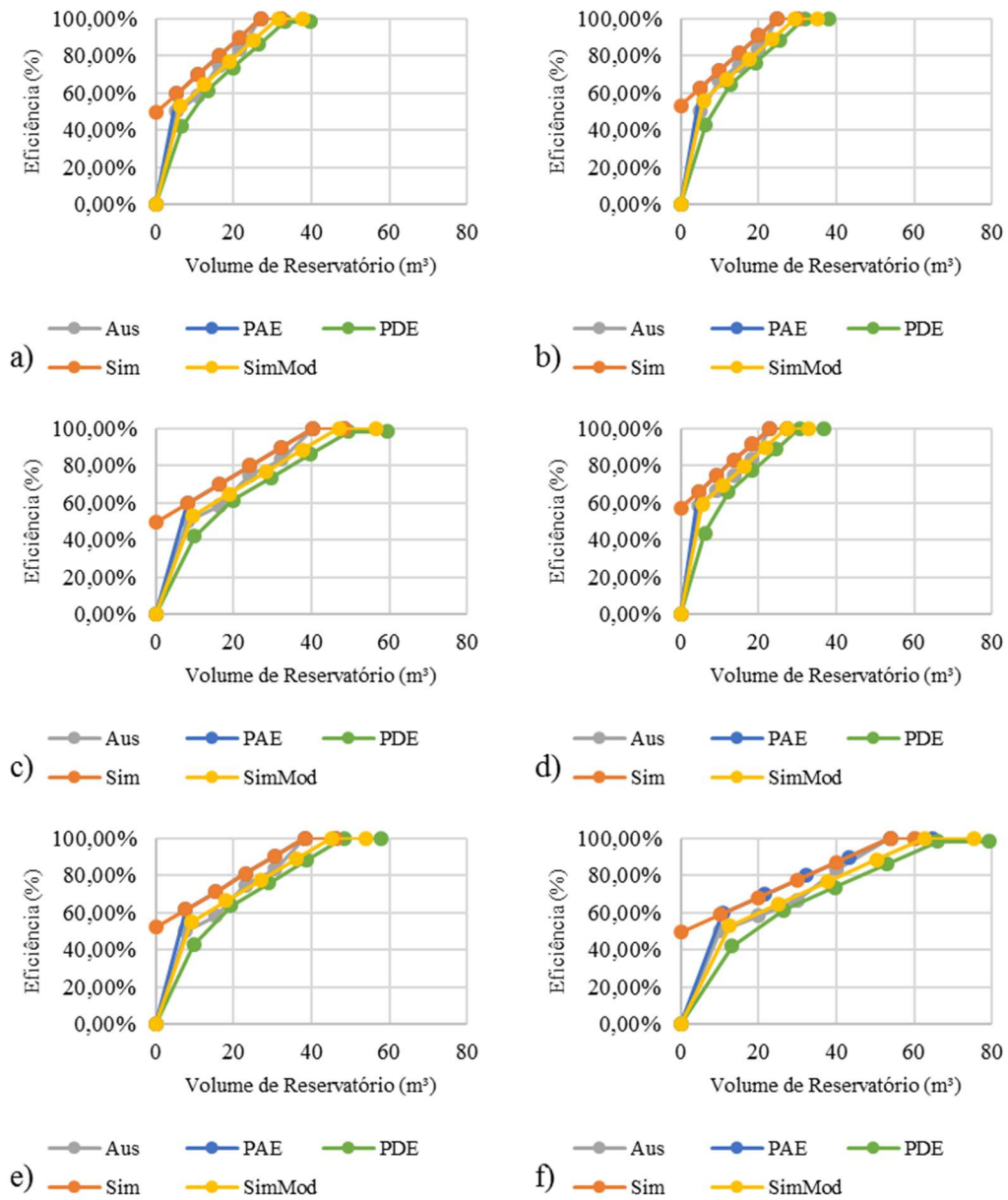


Figura C3 - Gráfico do crescimento da eficiência para os métodos, utilizando a série média diária: a) Caso 1, b) Caso 11 c) Caso 13, d) Caso 21 e) Caso 23 e f) Caso 25.

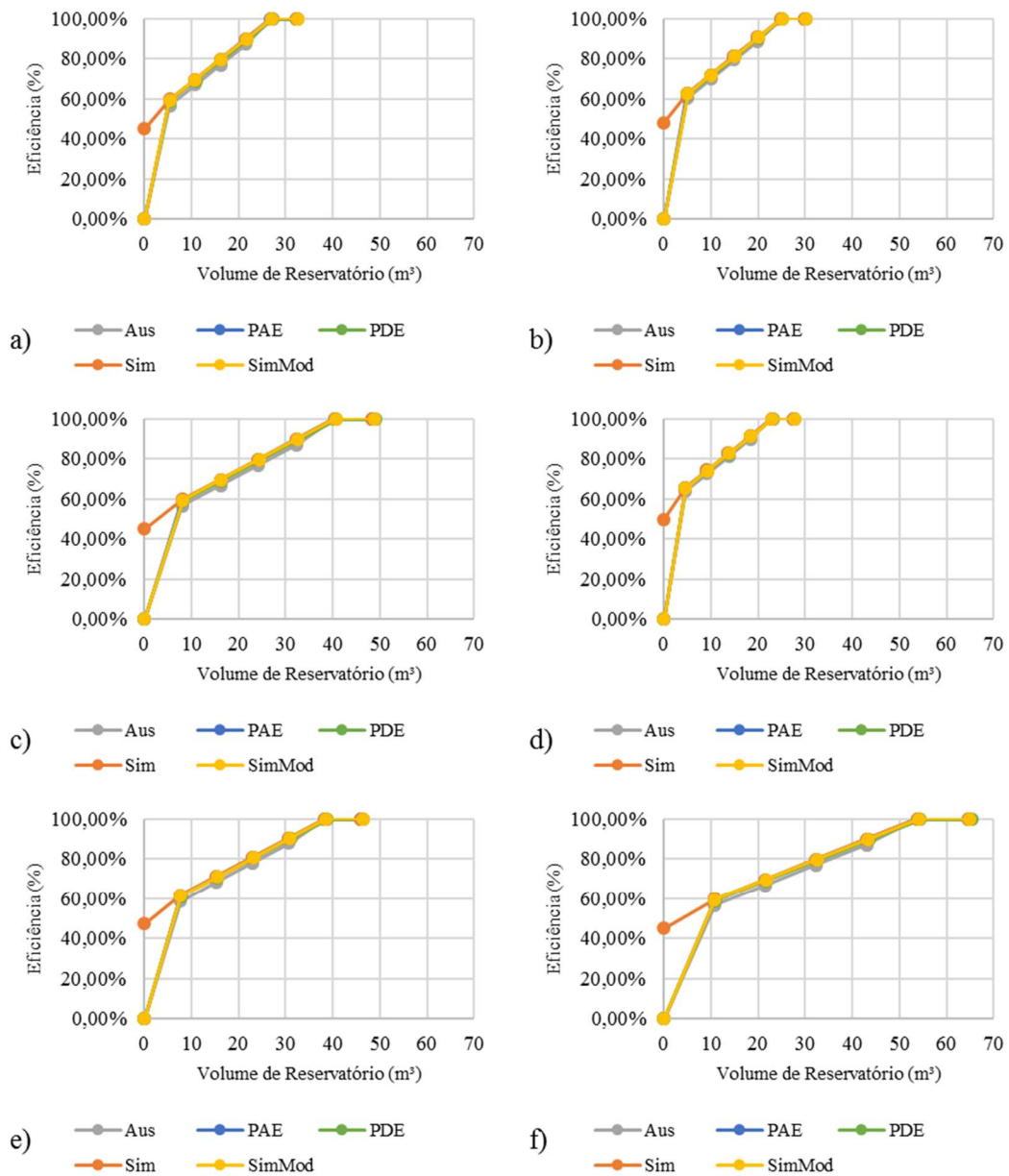
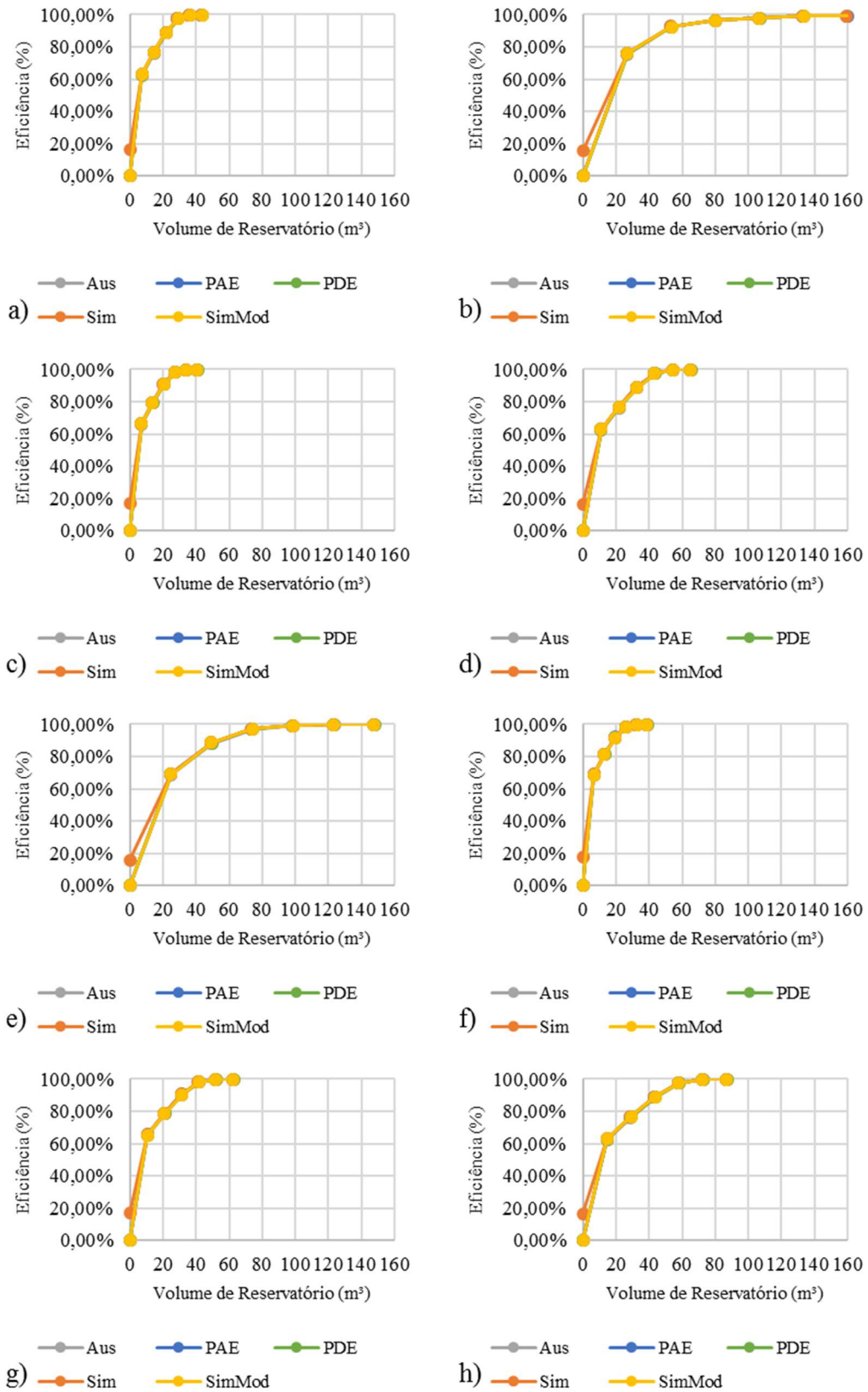


Figura C4 - Gráfico do crescimento da eficiência para os métodos, utilizando a série total diário: a) Caso 1, b) Caso 3, c) Caso 11, d) Caso 13, e) Caso 15, f) Caso 21, g) Caso 23 e h) Caso 25.



APÊNDICE D

Tabela D1- Valores de volumes de reservatório calculados utilizando a série média mensal.

Dados		Método					
Área (m ²)	Demanda (m ³)	Australiano	Comportamental PAE	Comportamental PDE	Rippl	Simulação	Simulação Modificado
100	4,44	21,00	21,00	29,00	20,13	21,00	25,00
	5,55	28,00	28,00	38,00	27,90	28,00	34,00
	6,66	36,00	36,00	45,00	35,67	36,00	43,00
	7,77	-	-	-	-	-	-
	8,88	-	-	-	-	-	-
125	4,44	19,00	19,00	27,00	18,00	19,00	23,00
	5,55	26,00	26,00	36,00	25,16	26,00	31,00
	6,66	33,00	33,00	45,00	32,93	33,00	40,00
	7,77	41,00	41,00	54,00	40,70	41,00	49,00
	8,88	-	-	-	-	-	-
150	4,44	17,00	17,00	26,00	16,41	17,00	21,00
	5,55	23,00	23,00	35,00	22,94	23,00	29,00
	6,66	31,00	31,00	43,00	30,20	31,00	37,00
	7,77	38,00	38,00	52,00	37,97	38,00	46,00
	8,88	46,00	46,00	61,00	45,74	46,00	55,00
175	4,44	16,00	16,00	25,00	15,44	16,00	20,00
	5,55	22,00	22,00	33,00	21,21	22,00	27,00
	6,66	28,00	28,00	42,00	27,87	28,00	35,00
	7,77	36,00	36,00	51,00	35,23	36,00	43,00
	8,88	43,00	43,00	59,00	43,00	43,00	52,00
200	4,44	15,00	15,00	24,00	14,48	15,00	19,00
	5,55	21,00	21,00	32,00	20,03	21,00	26,00
	6,66	27,00	27,00	40,00	26,14	27,00	33,00
	7,77	33,00	33,00	49,00	32,80	33,00	41,00
	8,88	41,00	41,00	58,00	40,26	41,00	50,00

Tabela D2- Valores de volumes de reservatório calculados utilizando a série sintética.

Dados		Método					
Área (m ²)	Demanda (m ³)	Australiano	Comportamental PAE	Comportamental PDE	Rippl	Simulação	Simulação Modificado
100	4,44	27,00	27,00	34,00	26,94	27,00	32,00
	5,55	-	-	-	-	-	-
	6,66	-	-	-	-	-	-
	7,77	-	-	-	-	-	-
	8,88	-	-	-	-	-	-
125	4,44	26,00	26,00	33,00	25,91	26,00	31,00
	5,55	34,00	34,00	42,00	33,68	34,00	40,00
	6,66	-	-	-	-	-	-
	7,77	-	-	-	-	-	-
	8,88	-	-	-	-	-	-
150	4,44	25,00	25,00	32,00	24,87	25,00	30,00
	5,55	33,00	33,00	41,00	32,64	33,00	39,00
	6,66	41,00	41,00	50,00	40,41	41,00	48,00
	7,77	-	-	-	-	-	-
	8,88	-	-	-	-	-	-
175	4,44	24,00	24,00	32,00	23,84	24,00	29,00
	5,55	32,00	32,00	41,00	31,61	32,00	38,00
	6,66	40,00	40,00	49,00	39,38	40,00	47,00
	7,77	48,00	48,00	58,00	47,15	48,00	55,00
	8,88	-	-	-	-	-	-
200	4,44	23,00	23,00	31,00	22,80	23,00	28,00
	5,55	31,00	31,00	40,00	30,57	31,00	37,00
	6,66	39,00	39,00	49,00	38,34	39,00	46,00
	7,77	47,00	47,00	58,00	46,11	47,00	54,00
	8,88	54,00	54,00	67,00	53,88	54,00	63,00

Tabela D3- Valores de volumes de reservatório calculados utilizando a série média diária.

Dados		Método					
Área (m ²)	Demanda (m ³)	Australiano	Comportamental PAE	Comportamental PDE	Rippl	Simulação	Simulação Modificado
100	4,44	27,00	27,00	28,00	26,90	27,00	28,00
	5,55	36,00	36,00	36,00	35,26	36,00	36,00
	6,66	-	-	-	-	-	-
	7,77	-	-	-	-	-	-
	8,88	-	-	-	-	-	-
125	4,44	26,00	26,00	27,00	25,89	26,00	27,00
	5,55	34,00	34,00	34,00	33,63	34,00	34,00
	6,66	42,00	42,00	43,00	41,92	42,00	43,00
	7,77	-	-	-	-	-	-
	8,88	-	-	-	-	-	-
150	4,44	25,00	25,00	26,00	24,88	25,00	26,00
	5,55	33,00	33,00	33,00	32,62	33,00	33,00
	6,66	41,00	41,00	41,00	40,36	41,00	41,00
	7,77	49,00	49,00	50,00	48,59	49,00	49,00
	8,88	-	-	-	-	-	-
175	4,44	24,00	24,00	25,00	23,87	24,00	25,00
	5,55	32,00	32,00	32,00	31,61	32,00	32,00
	6,66	40,00	40,00	40,00	39,34	40,00	40,00
	7,77	48,00	48,00	48,00	47,08	48,00	48,00
	8,88	56,00	56,00	56,00	55,25	56,00	56,00
200	4,44	23,00	23,00	24,00	22,86	23,00	24,00
	5,55	31,00	31,00	31,00	30,59	31,00	31,00
	6,66	39,00	39,00	39,00	38,33	39,00	39,00
	7,77	47,00	47,00	47,00	46,07	47,00	47,00
	8,88	54,00	54,00	55,00	53,81	54,00	55,00

Tabela D4- Valores de volumes de reservatório calculados utilizando a série total diário.

Dados		Método					
Área (m ²)	Demanda (m ³)	Australiano	Comportamental PAE	Comportamental PDE	Rippl	Simulação	Simulação Modificado
100	4,44	36,00	36,00	37,00	35,99	36,00	36,25
	5,55	60,00	60,00	61,00	59,95	60,00	60,25
	6,66	134,00	134,00	134,00	133,13	134,00	133,50
	7,77	-	-	-	-	-	-
	8,88	-	-	-	-	-	-
125	4,44	35,00	35,00	36,00	34,84	35,00	35,00
	5,55	45,00	45,00	46,00	44,99	45,00	45,25
	6,66	63,00	63,00	64,00	62,57	63,00	63,00
	7,77	128,00	128,00	129,00	127,98	128,00	128,25
	8,88	-	-	-	-	-	-
150	4,44	34,00	34,00	34,00	33,69	34,00	34,00
	5,55	44,00	44,00	45,00	43,84	44,00	44,25
	6,66	54,00	54,00	55,00	53,98	54,00	54,25
	7,77	70,00	70,00	70,00	69,32	70,00	69,75
	8,88	123,00	123,00	124,00	122,83	123,00	123,25
175	4,44	33,00	33,00	33,00	32,62	33,00	33,00
	5,55	43,00	43,00	44,00	42,69	43,00	43,00
	6,66	53,00	53,00	54,00	52,83	53,00	53,25
	7,77	63,00	63,00	64,00	62,98	63,00	63,25
	8,88	78,00	78,00	78,00	77,30	78,00	77,75
200	4,44	32,00	32,00	33,00	31,98	32,00	32,25
	5,55	42,00	42,00	42,00	41,54	42,00	41,75
	6,66	52,00	52,00	53,00	51,69	52,00	52,00
	7,77	62,00	62,00	63,00	61,83	62,00	62,25
	8,88	72,00	72,00	73,00	71,98	72,00	72,50