

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Joana Lovison

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE
APROVEITAMENTO PLUVIAL EM CIDADES REPRESENTATIVAS
DAS DIFERENTES REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL**

Santa Maria, RS
2023

Joana Lovison

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO PLUVIAL
EM CIDADES REPRESENTATIVAS DAS DIFERENTES REGIÕES DO RIO
GRANDE DO SUL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,
RS), como requisito parcial para obtenção do
grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

Orientadora: Profa Dra. Vanessa Sari

Santa Maria, RS
2023

Joana Lovison

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO PLUVIAL
EM CIDADES REPRESENTATIVAS DAS DIFERENTES REGIÕES DO RIO
GRANDE DO SUL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,
RS), como requisito parcial para obtenção do
grau de **Engenheira Sanitarista e Ambiental.**

Aprovado em 21 de dezembro de 2023:

Vanessa Sari, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Alexandre Swarowsky, Dr. (UFSM)

Cristiane Carine dos Santos, Dra. (UFSM)

Santa Maria, RS
2023

RESUMO

AValiação da Eficiência de Sistemas de Aproveitamento Pluvial em Cidades Representativas das Diferentes Regiões do Rio Grande do Sul

AUTORA: Joana Lovison
ORIENTADORA: Vanessa Sari

O aumento da demanda de água, em consequência da expansão urbana e do crescimento populacional, trouxe a necessidade de investimento em sistemas de produção de água potável e em práticas de gestão mais sustentáveis do uso dos solos e dos recursos hídricos. Nesse cenário, o uso de fontes alternativas de água, como o aproveitamento de águas pluviais (NBR 15.527/2019), busca minimizar essa crescente demanda frente a escassez hídrica e, ao mesmo tempo, pode auxiliar na solução de problemas de drenagem urbana. Contudo, a eficiência satisfatória desses sistemas de aproveitamento depende do correto dimensionamento do reservatório de armazenamento, recomendando-se encontrar a relação adequada entre área de captação, volume do reservatório e demanda a ser atendida. Este estudo tem como objetivo aplicar o método da simulação para análise de sistemas de aproveitamento pluvial no estado do Rio Grande do Sul, considerando simulações com diferentes áreas de captação, volume de armazenamento e demandas, tendo como resultado a eficiência dos sistemas. Após finalizar as simulações, realizar uma análise de desempenho profunda dos resultados de cada cidade, e ainda, verificar os resultados médios gerais definidos por diferentes demandas de água, a fim de determinar padrões médios para o estado. Por fim, consolidar os dados encontrados em uma plataforma de análise (Power BI), a fim de facilitar o acesso da população às informações e promover uma compreensão mais abrangente dos sistemas de aproveitamento pluvial. Todas as simulações foram realizadas utilizando dados de sete estações pluviométricas do estado, representando diferentes cidades e diferentes regiões. Também, foram realizadas simulações para faixas de variações e não para um valor único de área de contribuição, demandas e volumes, de modo que os resultados obtidos possam ser utilizados para uma ampla faixa de valores. Os resultados das simulações, de maneira geral, demonstram que a eficiência no atendimento à demanda representa uma reposta interligada das diferentes variáveis que compõe o sistema de aproveitamento (volume de armazenamento, área de captação, demanda e dados pluviométricos), de forma que o volume ideal de armazenamento será uma consequência dessa influência conjunta. Assim, a metodologia apresentada neste estudo proporciona uma compreensão integrada da influência dos diversos elementos no sistema de aproveitamento, simulando seu comportamento como um todo. Além disso, ela viabiliza a análise das dimensões a serem implementadas em termos de área de captação e volume de armazenamento, considerando uma demanda conhecida, com o intuito de atingir uma eficiência predeterminada no atendimento à demanda.

Palavras-chave: Aproveitamento pluvial. Dimensionamento de reservatório. Método Simulação. Power BI. Eficiência do sistema.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF RAINWATER HARVESTING SYSTEMS IN REPRESENTATIVE CITIES OF DIFFERENT REGIONS OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Joana Lovison

ADVISOR: Vanessa Sari

The increase in water demand, as a result of urban expansion and population growth, has led to the need for investment in drinking water production systems and more sustainable management practices for the use of soil and water resources. In this scenario, the use of alternative water sources, such as the use of rainwater (NBR 15.527/2019), seeks to minimize this growing demand in the face of water scarcity and, at the same time, can help in solving urban drainage problems. However, the satisfactory efficiency of these utilization systems depends on the correct sizing of the storage reservoir, and it is recommended to find the appropriate relationship between catchment area, reservoir volume and demand to be met. This study aims to apply the simulation method to analyze rainwater harvesting systems in the state of Rio Grande do Sul, considering simulations with different catchment areas, storage volume and demands, resulting in system efficiencies. After completing the simulations, carry out an in-depth performance analysis of the results for each city, and also check the general average results defined by different water demands, in order to determine average standards for the state. Finally, consolidate the data found on an analysis platform (Power BI), in order to facilitate the population's access to information and promote a more comprehensive understanding of rainwater harvesting systems. All simulations were carried out using data from seven rainfall stations in the state, representing different cities and different regions. Also, simulations were carried out for ranges of variations and not for a single value of contribution area, demands and volumes, so that the results obtained can be used for a wide range of values. The results of the simulations, in general, demonstrate that efficiency in meeting demand represents an interconnected response to the different variables that make up the utilization system (storage volume, catchment area, demand and rainfall data), so that the volume optimal storage will be a consequence of this joint influence. Thus, the methodology presented in this study provides an integrated understanding of the influence of the different elements in the utilization system, simulating its behavior as a whole. Furthermore, it makes it possible to analyze the dimensions to be implemented in terms of catchment area and storage volume, considering a known demand, with the aim of achieving a predetermined efficiency in meeting demand.

Keywords: Rainwater use. Reservoir sizing. Simulation Method. PowerBI. System efficiency.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
1.1.	OBJETIVOS	5
1.1.1.	Objetivo geral.....	5
1.1.2.	Objetivos específicos	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1.	A ÁGUA NA NATUREZA E A CRISE HÍDRICA	7
2.2.	SISTEMAS DE APROVEITAMENTO PLUVIAL.....	8
2.2.1.	Normas e legislações acerca do aproveitamento de água da chuva	16
2.2.2.	Dimensionamento do reservatório de aproveitamento de água da chuva.....	18
2.2.3.	Uma visão das pesquisas acerca de sistemas de aproveitamento de água da chuva	26
2.3.	PLATAFORMA PARA ANÁLISE DE DADOS	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1.	ÁREA DE ESTUDO	30
3.2.	INFORMAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	31
3.3.	DEMANDAS DE ÁGUA, ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO E VOLUME DE ARMAZENAMENTO DO RESERVATÓRIO	32
3.4.	SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO PLUVIAL	33
3.5.	CONSOLIDAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS EM DASHBOARD DE POWER BI.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1.	ANÁLISE DOS RESULTADOS POR MESORREGIÕES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	36
4.2.	DESEMPENHO MÉDIO GERAL DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO PLUVIAL PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	59
4.3.	CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS E CONSTRUÇÃO DO DASHBOARD POWER BI	71
5	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS.....	76
	APÊNDICE A - RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 100 L/DIA	82
	APÊNDICE B - RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 200 L/DIA	83
	APÊNDICE C –RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 300 L/DIA	84

APÊNDICE D – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 400 L/DIA	85
APÊNDICE E – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 500 L/DIA	86
APÊNDICE F – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 600 L/DIA	87
APÊNDICE G – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 700 L/DIA	88
APÊNDICE H – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 800 L/DIA	89
APÊNDICE I – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 900 L/DIA	90
APÊNDICE J – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 1000 L/DIA	91

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável para suprir as necessidades dos seres vivos, sendo também essencial para inúmeras atividades econômicas e para o desenvolvimento tecnológico; o que torna sua preservação uma necessidade fundamental para as atuais e as futuras gerações.

O aumento populacional e o acelerado desenvolvimento urbano, no entanto, têm ocasionado a elevação das demandas de água mundiais, com diversos locais do globo já mostrando uma demanda hídrica superior a disponibilidade desse recurso. De fato, em um levantamento realizado em 2015, a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização das Nações Unidas (ONU) mostraram que, a cada dez pessoas, três ainda não possuíam serviço de água potável de fácil acesso (UNESCO, 2019). Essa situação tende a se intensificar em razão não só do crescimento econômico, regado por um estilo de vida que requer cada vez mais o uso da água, mas também, pelo ameaçador cenário das mudanças climáticas, as quais têm originado o aumento dos eventos extremos, entre os quais a escassez hídrica e as inundações urbanas.

O Brasil, embora seja um país com grande disponibilidade hídrica, possui uma distribuição não igualitária de água potável entre as diferentes regiões, com grande risco de déficit no abastecimento de água urbano, em diversas cidades brasileiras (ANA, 2019). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), um em cada cinco municípios brasileiros já sofrem com o racionamento de água, um déficit agravado ainda, pelos conflitos de uso de demanda de água, que vêm crescendo a cada ano no Brasil, sendo o maior deles para fins agrícolas (ANA, 2018).

Por certo, a falta de planejamento no desenvolvimento das cidades tem gerado uma situação insustentável, onde o aumento do consumo de recursos naturais e também a expansão territorial desordenada, sem controle do uso do solo, trouxeram cenários como poluição de rios, epidemias, alagamentos, inundações e engarrafamentos (DORNELLES, 2012). A intensa impermeabilização dos solos, por sua vez, tornou a drenagem urbana insuficiente em relação aos elevados volumes de escoamento superficiais produzidos, agravando ainda mais os problemas hídricos e de gerenciamento das cidades, com carreamento de inúmeros contaminantes e/ou poluentes para dentro das calhas dos rios.

Esse panorama revela a necessidade urgente de investimento em sistemas de produção de água potável e em práticas de gestão mais sustentáveis do uso e do manejo dos solos e dos recursos hídricos, um grande desafio para gestores, bem como para engenheiros e planejadores

das cidades brasileiras e ainda, para as autoridades governamentais. Desse modo, buscando minimizar a crescente demanda de água potável frente a escassez hídrica e, ao mesmo tempo, auxiliar na solução dos problemas de drenagem urbana, muitos gestores municipais tem procurado adotar legislações e práticas mais sustentáveis de gerenciamento das cidades, incluindo a identificação de fontes alternativas de água, como o aproveitamento de águas pluviais e a reutilização de águas cinzas e residuais.

No âmbito brasileiro, no ano de 2007, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) desenvolveu a NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007), atualizada em 2019 (ABNT, 2019a), que fornece os requisitos para o aproveitamento de água da chuva de coberturas para fins não potáveis; sugerindo o uso das águas coletadas em atividades não nobres como em sistemas de resfriamento de água; na descarga de bacias sanitárias e de mictórios; na lavagem de veículos; na lavagem de pisos; na reserva técnica de incêndio; no uso ornamental e na irrigação para fins paisagísticos.

Nesse contexto, os sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) representam, atualmente, uma das medidas com maior destaque no que diz respeito à sustentabilidade hídrica em áreas urbanas, tendo seu uso se popularizado em diferentes regiões do mundo; especialmente pela facilidade de implantação e de coleta dessas águas, comumente destinadas para usos menos nobres, do tipo não potável.

Entre as vantagens da implantação desses sistemas está a diminuição do consumo de água potável, que pode alcançar um potencial médio anual de economia de 12 até 79% da demanda, quando combinados sistemas de aproveitamento de águas pluviais com outras formas de redução de consumo (GHISI; BRESSAN; MARTINI, 2007; DALSENTER, 2016; FUGI, 2019; GAITÁN; TEIXEIRA, 2020); a redução dos custos com abastecimento de água; podendo ainda contribuir para a redução dos alagamentos e das inundações urbanas, na medida em que reduz a quantidade de água superficial que chega à rede de drenagem; além de servir como alternativa de abastecimento frente à um cenário crítico de indisponibilidade hídrica (MOURA; SILVA; BARROS; 2017).

Tais sistemas poderiam, portanto, compor promissoras alternativas no rol de medidas necessárias para a garantia de maior resiliência das cidades ao enfrentamento dos problemas advindos das mudanças climáticas. Contudo, é importante salientar que a eficiência desses sistemas de aproveitamento no atendimento da demanda é dependente do correto dimensionamento do reservatório de armazenamento, recomendando-se encontrar a relação adequada entre área de captação, volume do reservatório e demanda a ser atendida, de modo a resultar em uma eficiência satisfatória, mas com custo viável para sua implantação (CRUZ;

BEZERRA; MAIA; 2006). Isso porque, a quantidade de água captável pelo sistema varia conforme os componentes desse sistema (área de captação e volume de armazenamento), mas também, com as características pluviométricas da região e com o coeficiente de escoamento da superfície coletora (SARI et al., 2010).

Atualmente, existem diferentes métodos, que possibilitam realizar o dimensionamento do volume ideal para o reservatório de armazenamento, sendo fundamental verificar qual o mais adequado a cada situação. Entre aqueles com maior emprego está o método da simulação (CARVALHO; OLIVEIRA; MORUZZI, 2007; PEREIRA, 2008; AMORIM; POZZEBON; GASTALDINI, 2013; SIEVERS; PINHEIRO, 2014), que se baseia em um processo de simulação do balanço hídrico das entradas e das saídas do reservatório de armazenamento, usualmente em um passo de tempo diário, determinando-se, entre outras variáveis, o percentual de falhas e de eficiência no atendimento da demanda.

Essa pesquisa almeja, portanto, aplicar o método da simulação para análise de sistemas de aproveitamento pluvial no estado do Rio Grande do Sul, considerando simulações com diferentes áreas de captação, volume de armazenamento e demandas, de forma a identificar o potencial de uso desses sistemas e estimar a eficiência no atendimento da demanda, tendo por base simulações realizadas com dados pluviométricos de diferentes regiões do estado. Ainda, consolidar os dados encontrados em uma plataforma de análise, proporcionando maior acessibilidade da população às informações geradas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Aplicar o método da simulação para análise de sistemas de aproveitamento pluvial no estado do Rio Grande do Sul, considerando simulações com diferentes áreas de captação, volume de armazenamento e demandas.

1.1.2. Objetivos específicos

- Estimar a eficiência no atendimento da demanda para sistemas de aproveitamento, considerando dados de estações pluviométricas localizadas em diferentes regiões do estado

do Rio Grande do Sul, variando as demandas, as áreas de captação e os volumes de armazenamento considerados para análise do sistema;

- Determinar os valores médios de eficiência no atendimento da demanda para os sistemas de aproveitamento, a partir das simulações individuais, realizadas para as diferentes estações pluviométricas analisadas no estado do Rio Grande do Sul;
- Determinar os valores médios de potencial de aproveitamento dos sistemas, dias falhos consecutivos, percentual de falha no atendimento à demanda e percentual de dias com extravasamento, a partir das simulações realizadas;
- Identificar valores médios de máximos e mínimos de eficiência e de falha no atendimento à demanda, para cada valor de demanda utilizado no estudo;
- Consolidar os dados encontrados em uma plataforma de análise, a fim de facilitar o acesso da população às informações e promover uma compreensão mais abrangente dos sistemas de aproveitamento pluvial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A ÁGUA NA NATUREZA E A CRISE HÍDRICA

A água é parte integral do planeta Terra, um elemento condicionante da vida e essencial na dinâmica da natureza, além de impulsionar diversas atividades humanas, desde as funções orgânicas vitais até as atividades econômicas. Essas atividades humanas e os diversos setores da economia moderna demandam recursos hídricos e utilizam a água de forma heterogênea, retornando os efluentes ao ambiente, após a utilização dessas águas, em diferentes situações de quantidade e qualidade (ANA, 2020).

Um dos importantes meios de entrada de água no ciclo hidrológico é a chuva. Ao precipitar, uma parte das águas escoam pelos rios, a outra infiltra e o restante evapora ou é transpirada pelas plantas. Ao percorrer esse caminho, a água é manuseada e consumida de diversas maneiras até chegar ao mar, onde evapora, reiniciando o ciclo.

De toda a água disponível no planeta, cerca de 97% encontra-se nos oceanos, sendo imprópria para consumo direto, e dos 3% da água doce disponível, aproximadamente 1,7% é retida em geleiras, enquanto que a maior parcela restante está em aquíferos subterrâneos; restando em torno de 0,1% da água potável de fácil acesso ao uso, como aquelas disponíveis em rios e lagos (TUNDISI, 2003). Soma-se ao agravamento dessa baixa disponibilidade de água potável de fácil acesso, o fato de que uma grande parcela das águas superficiais se encontra, atualmente, imprópria para uso.

Há que se considerar ainda, que o acelerado desenvolvimento urbano e o aumento populacional (TUCCI, 2008); a existência de infraestrutura de abastecimento pobre e em estado crítico, em muitas áreas urbanas; a falta de articulação e de ações governamentais consistentes em torno dos recursos hídricos e da sustentabilidade ambiental; a ocorrência de problemas com o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana; somados à poluição/contaminação de rios e lagos, e à ocorrência de eventos extremos, advindos das mudanças climáticas, têm gerado uma pressão ainda maior sobre os recursos hídricos disponíveis, ocasionando uma crise hídrica que vêm afetando diferentes países ao redor do globo (TUNDISI et al., 2008). Isso porque, de um lado tem-se a quantidade de água doce de qualidade diminuindo e do outro tem-se o crescimento exponencial da sua demanda, o que, com o passar dos anos, já tem gerado uma disputa pelos recursos hídricos disponíveis, entre os vários setores que demandam os múltiplos usos da água (KUMMU et al., 2010; WADA et al., 2013).

O Brasil é um país privilegiado em termos de recursos hídricos, possuindo uma das maiores disponibilidades de água doce do mundo, que, contudo, não está igualmente distribuída em seu território, havendo maior disponibilidade em locais com menor ocupação territorial. Uma análise dos mananciais e da infraestrutura hídrica de abastecimento de sedes de municípios brasileiros mostrou que 31% da população do país vive em locais que têm baixa garantia hídrica, ou seja, que enfrentam racionamento, colapso ou alerta em períodos de seca, sendo necessário buscar novos mananciais de abastecimento. Cerca de 41% vivem em locais cujo sistema produtor necessita de ampliação; e apenas 27% da população vive em municípios cujo abastecimento foi considerado satisfatório. Além disso, 78% das cidades utilizam, predominantemente, mananciais de águas superficiais para o seu abastecimento, enquanto 22% fazem uso dos mananciais subterrâneos como a principal fonte de suprimento de água (ANA, 2019).

De fato, existem no país áreas com intensa antropização, onde a quantidade e a qualidade das águas encontram-se comprometidas e, por outro lado, áreas com baixa densidade demográfica e grande disponibilidade hídrica. É evidente pois, que a oferta de água é determinada pela dinâmica hídrica e socioeconômica das bacias hidrográficas, além das condições de qualidade da água resultante após seu uso para as diferentes atividades. E nesse cenário de desigualdades regionais, as ações de gerenciamento propostas devem ser específicas, abrangendo as particularidades da disponibilidade de água do território brasileiro, de modo a promover uma gestão eficiente da oferta e da demanda por recursos, buscando reduzir o número de pessoas que sofrem com a escassez hídrica (ANA, 2019, 2020).

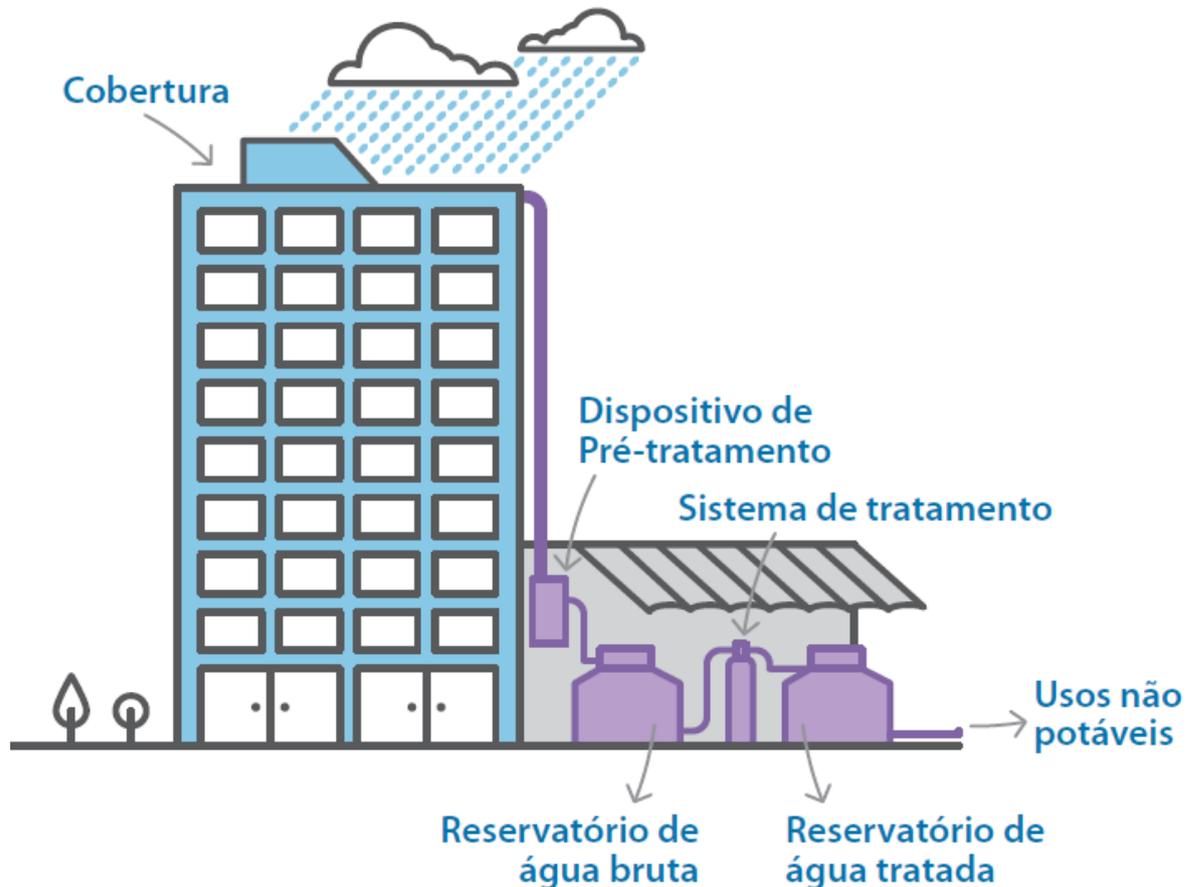
Entre as alternativas que poderiam ser adotadas para minimizar os problemas de escassez hídrica e, ao mesmo tempo, contribuir com soluções para melhoria da drenagem urbana nas cidades, por meio da redução das inundações e dos alagamentos, seria o incentivo à prática de implantação de sistemas de aproveitamento pluvial para usos não potáveis. Por certo, o reaproveitamento de águas servidas residenciais e a captação de águas pluviais, representam medidas eficazes para o prolongamento e a conservação dos recursos hídricos (TOMAZ, 2010).

2.2. SISTEMAS DE APROVEITAMENTO PLUVIAL

Um sistema de aproveitamento pluvial (Figura 1) baseia-se na captação, no pré-tratamento, no armazenamento, no tratamento (se necessário) e, na posterior utilização das

águas precipitadas sobre superfícies impermeáveis, comumente os telhados de edificações (CBIC, 2019).

Figura 1 – Esquema representativo de um sistema de aproveitamento pluvial em edificação



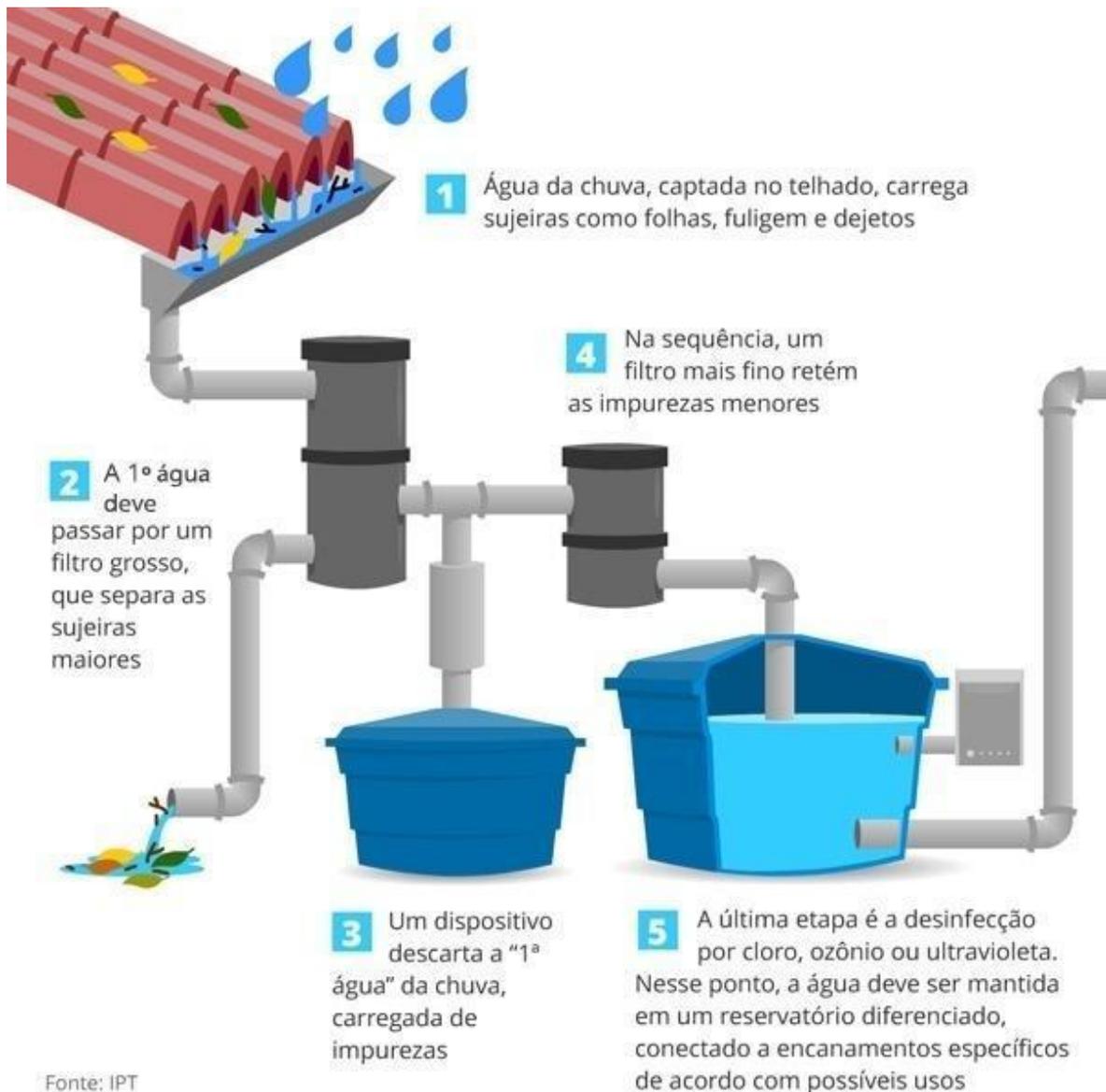
Fonte: CBIC (2019).

De modo geral, as águas que atingem a superfície impermeável são captadas através de calhas e de condutores verticais e horizontais (quando necessário), passando, inicialmente, por um processo de filtragem dos materiais grosseiros, realizado por meio de peneiras. Esse processo irá eliminar os resíduos sólidos acumulados durante o período seco (isto é, folhas, galhos, insetos, etc.), sendo sua realização indicada para a prevenção do risco de deterioração da qualidade da água no interior do reservatório (Figura 2).

Em razão dessas primeiras águas, responsáveis pela lavagem da superfície coletora, carregarem consigo uma grande quantidade de materiais e impurezas (CBIC, 2019), a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a) recomenda a eliminação de um pequeno percentual inicial das águas da chuva coletadas, processo conhecido como descarte inicial das primeiras águas ou

first-flush. Essas primeiras águas são, então, desviadas para um reservatório de descarte, separado do reservatório que armazena as águas para uso (Figura 2).

Figura 2 – Processo de captação, filtragem (materiais grosseiros e finos), descarte das primeiras águas (dispositivo de descarte), tratamento (desinfecção) e armazenamento de águas pluviais



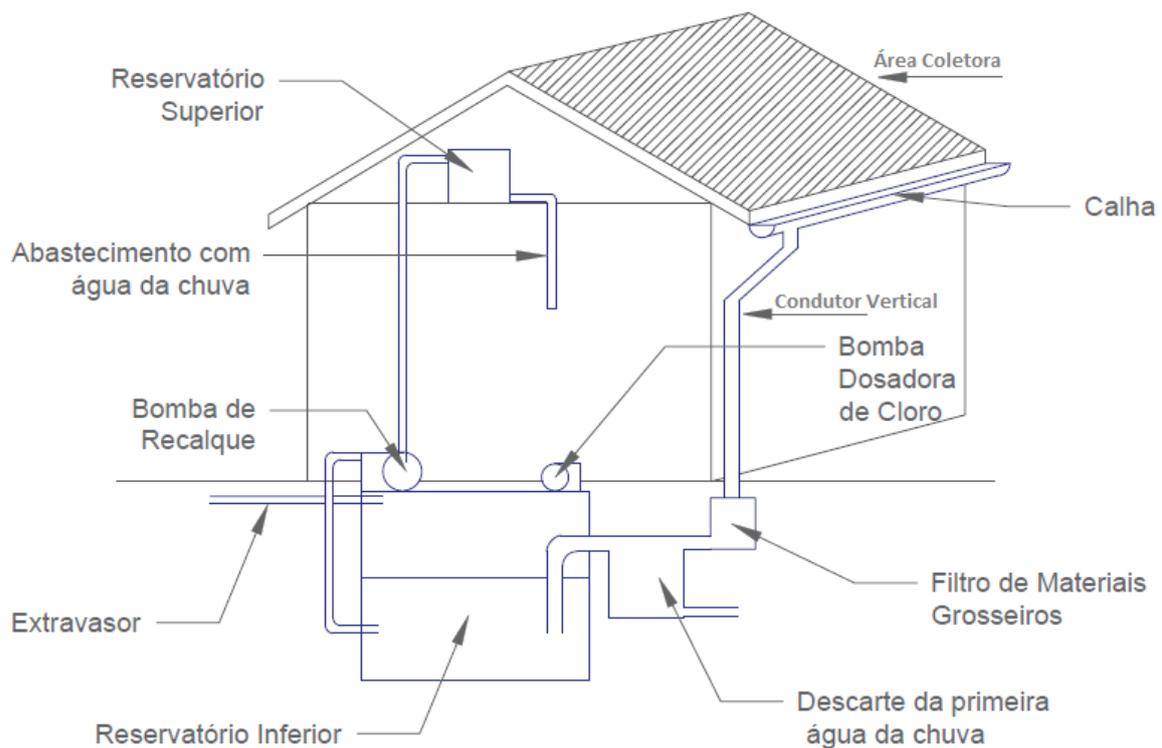
Fonte: IPT (2015).

A penúltima etapa do sistema de aproveitamento consiste em uma unidade de desinfecção, onde pode ser empregado algum produto como cloro ou ozônio, embora esse tratamento não seja obrigatório, sendo sua obrigatoriedade (ou não) definida em função do uso estabelecido para a água coletada e pelos padrões de qualidade requeridos para cada tipo de uso

(ABNT, 2019a). Por fim, a água é direcionada ao reservatório propriamente dito, onde será acumulada para uso posterior.

Comumente, os sistemas de aproveitamento pluvial possuem três componentes principais (Figura 3): a superfície de captação (telhados e/ou pavimentos), o sistema de condução e de distribuição de águas (calhas, condutores verticais e horizontais, se necessário) e o reservatório de armazenamento, que pode estar localizado na parte superior ou na inferior da edificação. No caso da opção pelo uso do reservatório inferior de armazenamento, também será necessária a implantação de um sistema de recalque, que possibilite a condução da água da chuva armazenada na parte inferior da edificação até um reservatório superior, a partir do qual ela será distribuída, por gravidade, para os pontos de uso (Figura 3; Figura 4) (HENTGES, 2013).

Figura 3 – Elementos principais de um sistema de aproveitamento pluvial com reservatório inferior

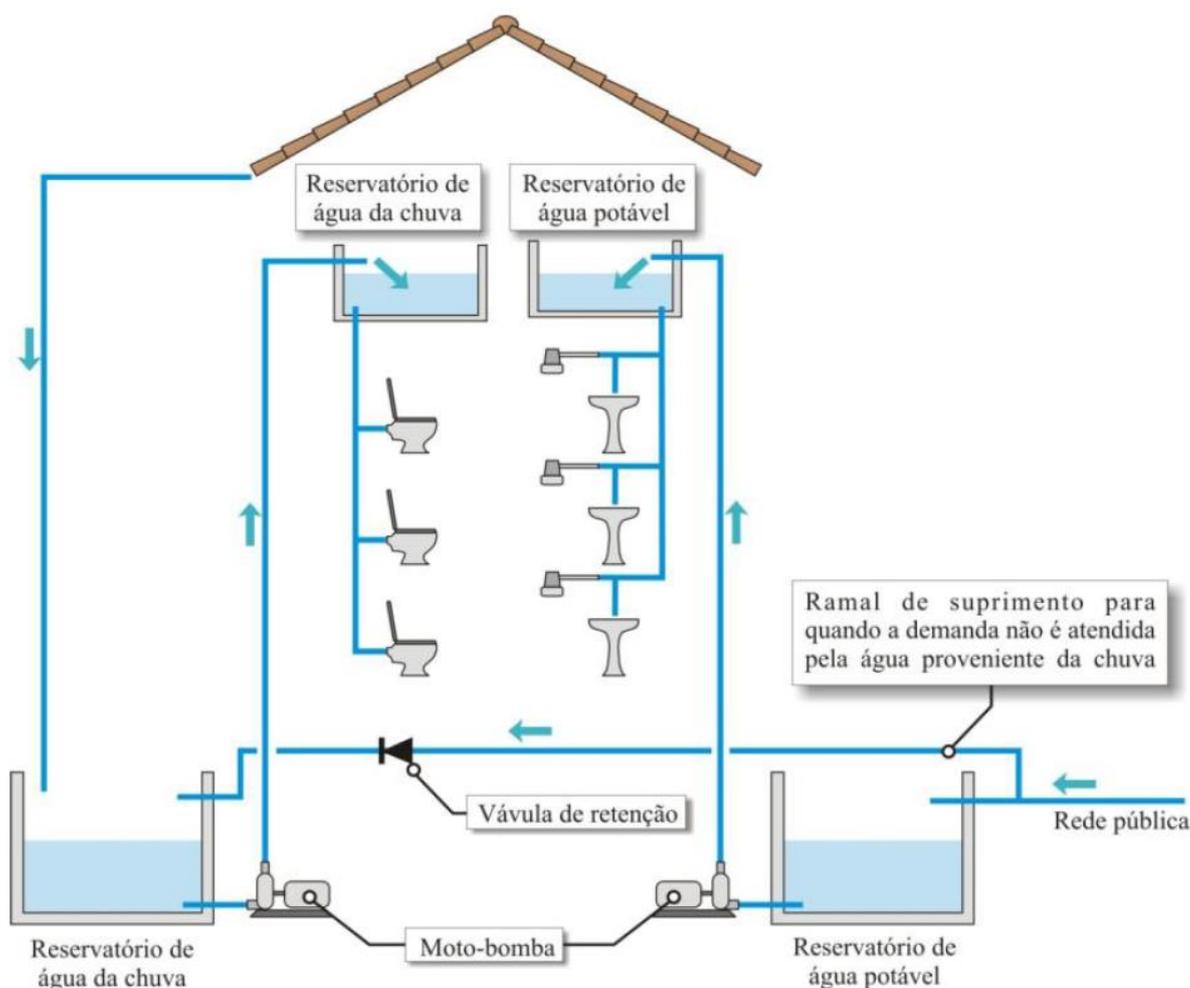


Fonte: Adaptado de Perius (2016).

Há que se considerar, todavia, que mesmo quando se opta pelo emprego de um sistema de aproveitamento de água de chuva, é necessário que exista também uma rede de abastecimento de água potável, tanto para atender o consumo potável quanto para alimentar os usos atendidos pelo sistema de aproveitamento, naquelas situações em que esse sistema não for

capaz de suprir a demanda. Também é essencial que as redes de água potável e de água da chuva não tenham ligações entre si, a fim de evitar contaminações cruzadas (Figura 4).

Figura 4 – Exemplo de funcionamento de um sistema de aproveitamento de água de chuva combinado com abastecimento de água potável



Fonte: Dornelles (2012).

Usualmente, a área de captação de um sistema de aproveitamento pluvial é caracterizada por uma superfície ou telhado impermeável, que tem como finalidade receber a água pluvial e destiná-la até às calhas de condução. Além dos telhados, estacionamentos, calçadas e pátios também podem servir como uma superfície de captação de água, ao nível do solo. Porém, essas superfícies, em sua maioria, podem conter materiais contaminantes, pois possuem contato com o tráfego de veículos e pessoas, os quais podem contaminar o solo através de óleos ou resíduos de pneus, piorando consideravelmente a qualidade da água coletada (HAGEMANN, 2009).

Os telhados empregados como área de captação da água da chuva podem ser compostos por diversos materiais, tais como: telha cerâmica, fibrocimento, zinco, aluzinco, etc. O tipo de revestimento presente, no entanto, poderá interferir na qualidade das águas captadas pelo sistema (TEIXEIRA et al., 2017), aconselhando-se dar preferência para os de menor absorção de água, ou seja, para telhas que tenham um coeficiente de escoamento maior, a fim de minimizar as perdas relacionadas à precipitação efetiva (ROSAS, 2020).

É importante destacar também, que a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a) enfatiza a necessidade de inspeção semestral e de limpeza das superfícies de coleta, conforme a necessidade, a fim de que seja possível garantir adequada qualidade das águas captadas dessas superfícies.

As calhas e os condutores verticais têm por objetivo direcionar a água da chuva da área de captação ao reservatório de armazenamento. Nos primeiros minutos de chuva, são esses componentes que encaminham as primeiras águas, de lavagem da superfície, até o dispositivo de descarte (*first-flush*), quando esse existir no sistema. O material utilizado com mais frequência para construção dessas calhas e condutores são os tubos de PVC (poli cloreto de vinil), plástico e alumínio (PERIUS, 2016). A NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a) também recomenda a inspeção semestral e a limpeza dos condutores e das calhas, para evitar o acúmulo de detritos e a piora na qualidade da água.

O correto dimensionamento das calhas e dos condutores verticais é outro fator fundamental para o bom funcionamento dos sistemas de aproveitamento pluvial, isso porque o subdimensionamento dessas instalações prediais ou ainda, a instalação incorreta desses componentes no sistema, reduz a eficiência da coleta e, conseqüentemente, compromete o funcionamento do sistema como um todo. Para tal, a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a) destaca que, para o dimensionamento das calhas e dos condutores verticais, devem ser observados o período de retorno (Tr) escolhido para a precipitação, sugerindo a adoção de $Tr=25$ anos para instalações prediais pluviais que se destinem a condução e água para sistemas de aproveitamento pluvial, devendo ainda serem observadas a vazão do projeto e a intensidade pluviométrica, conforme critérios de projeto e de dimensionamento definidos pela NBR 10.844/1989 (ABNT, 1989), que trata sobre o projeto e o dimensionamento de “Instalações Prediais de Águas Pluviais”.

O emprego de telas e de filtros também compõe elemento que auxilia na manutenção da qualidade das águas da chuva captadas, atuando como um pré-tratamento. Funcionam como estruturas responsáveis pela primeira filtragem, barrando detritos maiores, como folhas de árvores, gravetos, insetos e sujeiras, que poderiam obstruir o sistema e também, reduzir a

qualidade das águas no reservatório de armazenamento. O material frequentemente utilizado nesses componentes é do tipo PVC, nylon, arames e o aço galvanizado. Para o bom funcionamento desses sistemas de filtragem, a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a) recomenda, minimamente, a realização de inspeção mensal e de limpeza trimestral dos dispositivos, ou com a frequência necessária para a sua manutenção.

Como a limpeza da atmosfera e da área de captação do sistema de coleta de água da chuva acontece nos primeiros minutos, ou seja, nos primeiros milímetros de chuva, para evitar que esses materiais indesejados entrem no reservatório e prejudiquem a qualidade da água reservada, a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a) recomenda a instalação de um dispositivo de descarte, anterior ao reservatório, que armazenará essa parcela de chuva inicial, retendo-a para descarte, de forma que esta não entre em contato com o restante da água que será armazenada (Figura 2).

Para o correto dimensionamento desse sistema de descarte, é preciso levar em consideração que o sistema *first-flush* de captação de águas pluviais depende da área de cobertura, do coeficiente de escoamento, da intensidade pluviométrica regional e das condições operacionais de separação do escoamento (OHNUMA, 2014). Uma forma muito utilizada para o dispositivo *first flush* em sistema de aproveitamento mais populares, de baixo custo, é o emprego de um tubo de PVC, que funciona como um mini-reservatório, coletando os primeiros milímetros do volume de chuva precipitado. Ao ser completamente preenchido, a água passa a ser desviada para outro tubo que a conduzirá para o reservatório de armazenamento para uso posterior (Figura 5).

Caso não seja conhecida a quantidade de água necessária para a limpeza da superfície de captação, a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a) recomenda que, pelo menos, sejam descartados os primeiros 2 mm de chuva, ou seja, cerca de 2 L/m² de superfície de captação a ser lavada e ainda, que seja realizada a limpeza mensal desse sistema de descarte.

Entre os componentes mais importantes e onerosos de um sistema de aproveitamento de água da chuva estão os reservatórios de armazenamento (AMORIM; PEREIRA, 2008; COHIM et al., 2008; COHIM; OLIVEIRA, 2009), que possuem a finalidade de acumular a água para consumo posterior. Dependendo da localização, do espaço disponível, da superfície de captação, do tipo de distribuição de água pretendido (gravimétrico ou por bombeamento) e do material que é usado na construção (concreto, fibra de vidro, aço galvanizado, polipropileno, etc.), esses reservatórios podem ser enterrados, ao nível do solo ou elevados, podendo ou não ser requerido um sistema de bombeamento (TOMAZ, 2010).

Figura 5 – Sistema de aproveitamento pluvial de baixo custo, com tubo de PVC utilizado como reservatório de descarte das primeiras águas.



Fonte: SempreSustentável (2018).

Os reservatórios enterrados têm a vantagem de não ocupar espaço físico, porém requerem gastos com o bombeamento da água. Já os reservatórios alocaados ao nível do solo, apesar de ocuparem espaço físico, por outro lado, têm o benefício de não precisar de bombeamento para as atividades de rega de jardim e lavagem externas, além de não requererem estruturas para sua sustentação. Por fim, os reservatórios elevados precisam de uma estrutura dimensionada para mantê-los, mas, em contrapartida, não necessitam do uso de sistema de

bombeamento. A escolha ideal da localização e do tipo de reservatório a ser utilizado no projeto dependerá das características do local onde o sistema de aproveitamento pluvial será implantado (ROSAS, 2020). Ainda, com a finalidade de garantir a qualidade da água armazenada, deve-se também proteger o reservatório contra a luz solar, a fim de evitar a proliferação de algas; além de manter sua superfície sempre tampada para evitar proliferação de mosquitos, como o da dengue.

Há que se considerar também, a necessidade de previsão e de dimensionamento de uma tubulação de extravasão, que tem por objetivo possibilitar a saída do excesso de águas até a rede de drenagem pluvial ou ainda, promover seu envio para um poço ou trincheira de infiltração; sendo ainda desejável a implantação de uma tubulação que possibilite a limpeza do reservatório (ROSAS, 2020). É necessário que se envolva a saída do extravasor com tela para evitar a entrada de animais.

2.2.1. Normas e legislações acerca do aproveitamento de água da chuva

Ao longo dos anos, têm aumentado o esforço mundial em direção a criação de legislações e de diretrizes, que dão suporte ao uso mais sustentável dos recursos naturais. Entre elas, pode-se destacar o incentivo ao aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis, seja com o objetivo de reduzir o consumo de água potável, e os custos advindos do tratamento dessa água, ou ainda buscando contribuir para a minimização de problemas relacionados à drenagem urbana e à escassez hídrica.

Muitas dessas legislações e diretrizes foram desenvolvidas a nível municipal, objetivando a proposição de medidas para uso mais eficiente da água e também, para a adoção de fontes alternativas em edificações (CBIC, 2019); embora um grande número delas não possua caráter de obrigatoriedade, mas sim, apenas de incentivo a adoção de práticas mais sustentáveis.

Dentro desse contexto, no Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), conhecida como Lei das Águas, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos com o objetivo de:

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; II - utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; III - prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

Mais tarde, a lei nº 13.501/2017 (BRASIL, 2017) acrescentou um quarto objetivo a essa Política Nacional dos Recursos Hídricos (lei nº 9.433/1997) (BRASIL, 1997), qual seja: de “incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais”.

Outra legislação que buscou incentivar a prática do aproveitamento pluvial no Brasil foi o projeto de lei nº 7.818/2014 (BRASIL, 2014), que estabeleceu a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais, definindo como obrigatória a elaboração de plano de manejo e drenagem das águas pluviais em municípios com mais de 100 mil habitantes; estipulando a necessidade do aproveitamento pluvial em todos os empreendimentos com área superior a 1000 m², bem como para aqueles que envolvam parcelamento do solo, além de edificações com consumo superior a 20 mil litros de água por dia e edifícios públicos. Essa lei possui cinco objetivos principais:

I – promover a conservação e o uso racional da água; II – promover a qualidade ambiental; III – promover o manejo adequado e crescente do volume das águas pluviais servidas; IV - estimular o reuso direto planejado das águas pluviais servidas; V - promover incentivos econômicos para a captação, armazenamento e aproveitamento das águas pluviais (BRASIL, 2014).

Em 2007, foi criada a NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007), com objetivo de padronizar as metodologias empregadas nos sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva em áreas urbanas, definindo a possibilidade de uso dessas águas para fins não potáveis como, por exemplo, para descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

Nessa norma estão inclusas ainda, as condições gerais do sistema e de seus componentes, como calhas, condutores e reservatório de armazenamento, além de tratamentos necessários e usos indicados para as águas captadas, os parâmetros mínimos de qualidade da água e também, as necessidades de manutenção, de monitoramento e de limpeza dos componentes do sistema de aproveitamento. Mais tarde, em 2019, essa norma passou por revisão e adquiriu novas orientações, deixando, por exemplo, a critério do projetista a definição das condições técnicas, ambientais e econômicas a serem consideradas no projeto, bem como a escolha do método mais adequado para o dimensionamento do reservatório de armazenamento (ABNT, 2007; ABNT, 2019a).

A nível nacional, ainda em 2019, houve a publicação de duas outras normas, ambas trazendo impactos sobre projetos de sistemas de aproveitamento pluvial: i) NBR 16.782/2019 – Conservação de água em edificações (ABNT, 2019b), que especifica os requisitos, os

procedimentos e as diretrizes; abrangendo os principais aspectos das práticas de conservação de água em edificações residenciais, comerciais, institucionais, de lazer e de serviços, relacionando conceitos como balanço hídrico e indicadores de consumo até procedimentos de projeto, uso, operação e manutenção de sistemas hidráulicos prediais (ABNT, 2019b) e; ii) NBR 16.783/2019 – Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações (ABNT, 2019c), que define os procedimentos e os requisitos para a caracterização, o dimensionamento, o uso, a operação e a manutenção de sistemas de fontes alternativas de água não potável em edificações (ABNT, 2019c).

Para o desenvolvimento de projetos de aproveitamento pluvial faz-se ainda necessário o atendimento dos princípios e requisitos da NBR 5.626/2020 – Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção (ABNT, 2020), durante a execução do projeto das redes de distribuição das águas pluviais armazenadas, do reservatório aos pontos de uso. É preciso considerar ainda, as diretrizes da NBR 10.844/1989 – Instalações prediais de águas pluviais (ABNT, 1989), no que diz respeito ao dimensionamento das áreas de captação, das calhas, dos condutores verticais e horizontais das instalações prediais pluviais que captam e direcionam as águas coletadas para o reservatório de armazenamento.

Por fim, é também de extrema importância a verificação e o atendimento de possíveis diretrizes e legislações municipais aplicáveis ao tema e, na inexistência dessas, sugere-se, mesmo assim, que sejam realizadas análises técnicas e econômicas sobre a possibilidade de implantação de sistemas mais sustentáveis nas edificações, mesmo para aquelas situações em que não haja exigência legal para tal (CBIC, 2019), buscando-se projetos que contribuam com as estratégias de sustentabilidade ambiental e de manejo integrado dos recursos hídricos.

2.2.2. Dimensionamento do reservatório de aproveitamento de água da chuva

Um projeto de sistema de captação e aproveitamento de água da chuva conta com algumas etapas principais. Inicialmente deve-se determinar qual é a precipitação do local a ser implantado o sistema. Posteriormente é necessário demarcar a área de captação e também, definir o coeficiente de escoamento mais adequado para o material existente. Em seguida, estabelecer quais serão os sistemas complementares (grades, filtros, tubulações, descartes, etc.) e ainda, identificar quais serão os usos da água coletada, definindo-se a demanda e as exigências de qualidade requeridas para os usos definidos (PERIUS, 2016). Por fim, deve-se dimensionar o tamanho do reservatório de armazenamento.

Nessas análises de implantação de um sistema de aproveitamento pluvial, alguns dos aspectos do projeto não se alteram, como a área de captação, as calhas e condutores verticais, e os sistemas complementares de filtragem e de tratamento, além do coeficiente de escoamento, que é dependente do tipo de material empregado na superfície impermeável. Por outro lado, as demandas e as séries de precipitação são, na verdade, variáveis ao longo do tempo, sendo influenciadas pelas características pluviométricas da região e pelos eventos climáticos e seus ciclos de ocorrência, bem como pelas demandas requeridas em cada época do ano adotado (PERIUS, 2016).

Portanto, para que o reservatório cumpra a sua função de subsidiar o fornecimento de água não potável, atendendo as demandas requeridas, é necessário que ele consiga suprir a demanda necessária e, para isso, é importante que se realize o máximo armazenamento possível da chuva precipitada, de forma a apresentar baixo percentual de falhas no atendimento à demanda. Porém, para atender essa condição, o reservatório poderia resultar em um volume muito grande, conforme a demanda a ser atendida, o que elevaria significativamente o custo de implantação do sistema. Da mesma forma, a adoção de volumes elevados de armazenamento poderia gerar a ociosidade do uso de 100% de seu volume, durante a maior parte do tempo, fazendo com que a construção do mesmo se tornasse inviável econômica e tecnicamente. Por isso, é necessário realizar um dimensionamento que analise tanto a viabilidade técnica quanto a econômica em relação à implantação do sistema, verificando o custo/benefício ou então o Tempo de Retorno do Capital investido (PERIUS, 2016), buscando definir uma relação ideal entre área de captação, demanda, eficiência no atendimento da demanda e volume de armazenamento adotado (SARI et al., 2010).

Outro fator importante na análise de sistemas de aproveitamento de água da chuva é a investigação do regime anual de chuvas e também, da variabilidade temporal das precipitações. Essas informações são de grande relevância para a determinação do volume do reservatório de armazenamento, tendo sido observado que a utilização de volumes menores de reservatórios é possível quando existe na região índices pluviométricos elevados (IMMICH JÚNIOR, 2013).

Da mesma forma, a utilização de séries de dados com maior número de registros costuma apresentar uma assertividade maior em relação ao dimensionamento do volume necessário para o reservatório de armazenamento, já que possui maior probabilidade de abarcar nas análises realizadas a influência da variabilidade dos eventos climáticos sobre o sistema de aproveitamento pluvial. De fato, o banco de dados sobre a pluviometria da localidade influencia, diretamente, o período de retorno do investimento e a operação do sistema (FEWKES, 2012).

Oficialmente, uma série histórica representativa de precipitação seria aquela que possui, em seu banco de dados, no mínimo, 30 anos de registros de eventos de precipitação (OMM, 1989) – um período considerado representativo dos eventos climáticos que costumam ocorrer em uma dada região. No Brasil, no entanto, apenas cerca de 33% das estações pluviométricas monitoradas possuem uma série de registros de precipitação em base diária com mais de 30 anos (ANA, 2016), sendo a média do período de registro de aproximadamente 13 anos. Essa condição somada ao fato de que muitas estações são retiradas de operação enquanto outras novas são instaladas, prejudica a construção de séries históricas longas (GERALDI, 2017).

Há que se considerar ainda, que muitas estações apresentam falhas nas séries de dados existentes, sendo esse um problema que tem sido desafiador para a efetivação de estudos hidrológicos diversos. Usualmente, essas falhas são decorrentes de problemas na leitura e na gravação dos dados de campo, devido a falhas de transmissão ou a equipamentos com defeito ou ainda, por furto de equipamentos ou cabos ou mesmo, em razão de erros gerados pela própria equipe de campo, durante a coleta e transcrição das informações (KIM; RYU, 2016; BIELENKI JUNIOR et al., 2018).

Buscando ultrapassar esses limitadores, pesquisadores têm investigado a influência do tamanho das séries de dados utilizadas sobre o dimensionamento de sistemas de aproveitamento pluvial, buscando identificar se séries menores poderiam reproduzir resultados similares aos das séries histórica longas (GERALDI, 2017). Muitos desses estudos têm demonstrado que séries com 7 a 20 anos de dados poderiam ser utilizadas como uma alternativa para análises de dimensionamento (MITCHEL, 2007; GHISI et al., 2012; GERALDI, 2017).

Mitchel (2007), por exemplo, avaliou a influência do tamanho de séries temporais de precipitação para simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial para as cidades de Melbourne, Sydney e Brisbane (Austrália). O autor avaliou a possibilidade de uso de séries de 1 e 10 anos, em comparação com séries de 50 anos; obtendo valores representativos com séries de 10 anos, quando considerada apenas a diferença entre os potenciais de economia gerados; enquanto que as séries com um ano de dados resultaram em maiores discrepâncias.

Ghisi et al. (2012), ao estudar a influência do tamanho da série histórica na cidade de Santa Barbara do Oeste (São Paulo), concluíram que séries de 1 até 7 anos mostraram-se adequadas para representar séries históricas, quando analisada a diferença dos potenciais de economia, e séries de 13 anos seriam suficientes para determinar um mesmo volume ideal de reservatório. Os autores consideraram em suas análises critérios baseados nas diferenças de potenciais de economia e na frequência dos volumes ideais de reservatório.

Gerardi (2017) avaliou a possibilidade de utilizar séries temporais curtas no lugar de séries temporais históricas para simulação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios, considerando a comparação entre os resultados de simulações com diversos tamanhos de séries temporais com os resultados de simulações com séries históricas, em 13 cidades de diferentes países. A partir das análises realizadas, o autor observou que diferentes tamanhos de séries temporais de precipitação podem representar resultados similares àqueles obtidos com a série histórica, dependendo da cidade e das características pluviométricas presentes. De modo geral, o estudo mostrou que, apesar da alta variabilidade, uma série de 15 anos seria um tamanho de série representativo coerente, uma vez que tal série pôde ser utilizada para reproduzir resultados similares aos da série histórica em dez das treze cidades analisadas na pesquisa.

Além do tamanho da série de dados empregada para o dimensionamento, o método escolhido para a identificação do volume de armazenamento necessário também influenciará no sistema de aproveitamento resultante. Atualmente, podem ser encontrados na literatura diversos métodos de dimensionamento de reservatórios para sistemas de aproveitamento de água pluvial. Ainda, segundo a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a), é critério do projetista a escolha do melhor método para esse cálculo. Entre os métodos disponíveis encontram-se: Método de Rippl; Método Prático de Azevedo Neto; Método Prático Alemão; Método Prático Inglês; Método Prático Australiano; Método da Simulação; etc. (CARVALHO JUNIOR, 2017; TOMAZ, 2010; VERÓL; VAZQUEZ; MIGUEZ, 2019).

Pelo *Método de Azevedo Neto* obtém-se o volume do reservatório diretamente da Equação (1), sem considerar a demanda de água da edificação.

$$V = 0,042 * P * A * T \quad (1)$$

Sendo:

V = volume do reservatório (litros);

P = precipitação média anual (mm);

A = área de coleta de água da chuva (m²);

T = número de meses por ano sem precipitação ou de estiagem (ABNT, 2019a).

Já o *Método Prático Alemão* é um método empírico, onde o volume do reservatório é adotado através do valor mínimo entre 6% da demanda anual ou 6% da disponibilidade de água de chuva, através da Equação (2). Esse método não considera períodos longos de estiagem.

$$V = 0,06 * [\text{mínimo} (P * A ; 365 * D)] \quad (2)$$

Sendo:

- V = volume do reservatório (litros);
- P = precipitação média anual (mm);
- A = área de coleta de água da chuva (m²);
- D = demanda diária (L/dia) (ABNT, 2019a).

O *Método Prático Inglês* emprega a Equação (3) para definição do volume do reservatório, considerando esse volume como 5% do volume anual de água pluvial captada. Nesse método, não se considera a demanda de água e nem a ocorrência de períodos de estiagem.

$$V = 0,05 * P * A \quad (3)$$

Sendo:

- V = volume do reservatório (litros);
- P = precipitação média anual (mm);
- A = área de coleta de água da chuva (m²) (ABNT, 2019a).

O *Método Prático Australiano* permite o cálculo do volume potencialmente captável de chuva através da Equação (4), levando em consideração fatores como a interceptação da água pela superfície e também, o coeficiente de escoamento superficial.

$$Q = A * C * (P - I) \quad (4)$$

Sendo:

- P = precipitação média mensal (mm);
- A = área de coleta de água da chuva (m²);
- I = interceptação da água que molha a superfície e perdas por evaporação (mm);
- Q = volume mensal produzido pela chuva (m³);
- C = coeficiente de escoamento superficial (ABNT, 2019a).

Em seguida, obtém-se o volume do reservatório através da Equação (5), com tentativas que encontram valores ótimos de confiança no atendimento da demanda, sendo almejado entre

90% e 99%. Este método considera a demanda e também outras variáveis importantes, porém considera o intervalo de tempo mensal, o que é um período muito longo para o dimensionamento de reservatório menores (residências) (ABNT, 2019a).

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (5)$$

Sendo:

Q_t = volume mensal produzido pela chuva no mês t;

V_t = volume de água que está no reservatório no fim do mês;

V_{t-1} = volume de água que está no tanque no início do mês t;

D_t = demanda mensal (ABNT, 2019a).

Pelo *Método de Rippl* é possível determinar o volume do reservatório utilizando séries de chuva mensais ou diárias, conforme a Equação (6). Este método regulariza o abastecimento de água tanto em períodos chuvosos quanto em secos, levando em conta e atendimento da demanda, no entanto, desconsidera das análises o volume já existente no reservatório.

$$V = \sum S(t), \text{ quando } S(t) > 0$$

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (6)$$

$$Q(t) = C * P(t) * A$$

Sendo:

$S(t)$ = volume de água no reservatório no tempo t;

$Q(t)$ = volume de chuva aproveitável no tempo t;

$D(t)$ = demanda ou consumo no tempo t;

V = volume do reservatório;

C = coeficiente de escoamento superficial (ABNT, 2019a).

No *Método da Simulação*, os registros de precipitação são utilizados para simular o comportamento do volume de água em um reservatório de volume finito (Equação 7). Para a simulação, utiliza-se uma série histórica de precipitação de uma estação pluviométrica do local onde o sistema de aproveitamento será implantado, simulando-se o balanço de entradas e saídas do volume de água no reservatório. Nos cálculos realizados, procura-se determinar um volume de armazenamento para o reservatório, que seja capaz de atender a demanda durante a maior

parte do tempo. Nesse caso, para a área de captação existente e para a demanda desejada, simula-se o comportamento de diferentes volumes comerciais disponíveis para o reservatório, determinando-se a eficiência e a falha no atendimento à demanda, bem como volumes e percentuais de extravasamento do sistema.

$$S_t = S_{t-1} + Q_t - D_t \quad (7)$$

Sendo:

S_t = volume de água no reservatório no tempo t (L);

S_{t-1} = volume de água no reservatório no tempo t-1 (L);

Q_t = volume de chuva possível de ser captado tempo t (L);

D = demanda diária (L/dia) (ABNT, 2019a).

O volume de chuva possível de ser captado no tempo t (Q_t) pode ser determinado através da Equação (8) sugerida por Azevedo Netto (2002).

$$Q_t = A * P * C \quad (8)$$

Sendo:

Q_t = Volume possível de ser captado (L)

A = Área de captação (m²)

P = Precipitação diária (mm)

C = Coeficiente de Runoff.

O coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente runoff é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente (precipitação efetiva) e o volume de água precipitado (precipitação útil) (TUCCI, 2001). Esse coeficiente varia conforme a superfície da captação, sendo seu valor menor, quanto mais permeável ou poroso for o material. Telhados, por exemplo, possuem grande amplitude de variação (0,70 a 0,95), apresentando valores variando de 0,8 a 0,9 para telhas cerâmicas; de 0,9 a 0,95 para telhas de aço galvanizado e de plástico, etc. (WILKEN, 1978). Tomaz (2010) sugere adotar o coeficiente de runoff como sendo 0,80, quando não se dispõe de estudos precisos para a área de captação analisada.

O Método da Simulação é considerado um dos métodos mais aceitos e recomendados para o dimensionamento de reservatórios de armazenamento pluvial (AMORIM; PEREIRA,

2008), apresentando o volume resultante para o intervalo de tempo dos dados de precipitação. Isso se deve ao fato desse método analisar vários volumes e as eficiências resultantes. O método considera o percentual de consumo necessário em função do tamanho do reservatório, sendo possível determinar a eficiência e a falha do sistema no atendimento da demanda.

Uma falha no atendimento ocorre quando o volume de água armazenado no reservatório não atende à demanda necessária. Outra análise que pode ser realizada é a investigação dos dias falhos consecutivos sem atendimento da demanda. A probabilidade de falha do sistema no atendimento da demanda é a relação entre o número de dias que o reservatório não atendeu a demanda (dias falhos totais) e o número total de dias da série histórica analisada (Equação 9).

$$P_F = \frac{D_{ft}}{T_d} \times 100 \quad (9)$$

Sendo:

P_F = probabilidade de falha do sistema no atendimento à demanda (%);

D_{ft} = dias falhos totais (dias);

T_d = número total de dias da série (dias).

A eficiência ou confiança do sistema no atendimento à demanda, por outro lado, representa a proporção do tempo em que o reservatório atende à demanda. Essa eficiência pode ser obtida através do complemento da falha, sendo expressa pela Equação 10.

$$E = 100 - P_F \quad (10)$$

Sendo:

P_F = probabilidade de falha do sistema no atendimento à demanda (%);

E = eficiência do sistema no atendimento à demanda (%).

Já o percentual de dias com extravasamento representa a relação entre o número de dias com sobra de volume de água pluvial possível de ser captado em relação ao número de dias totais da série (Equação 11):

$$P_{ext} = \frac{D_{ext}}{T_d} \times 100 \quad (11)$$

Sendo:

P_{ext} = percentual de dias com extravasamento (%);

D_{ext} = dias com extravasamento, ou seja, com sobra de volume de águas pluviais possível de ser captado (dias);

T_d = número total de dias da série (dias).

A partir do Método da Simulação podem também ser realizadas análises do volume total extravasado, do volume total de não atendimento à demanda, ou ainda, do total de dias consecutivos sem atendimento da demanda, entre outras verificações; de modo a entender melhor o comportamento do sistema de aproveitamento pluvial para cada um dos volumes de reservatórios testados para uma dada área e demanda desejada.

2.2.3. Uma visão das pesquisas acerca de sistemas de aproveitamento de água da chuva

Muitos países ao redor do mundo têm desenvolvido pesquisas na área do aproveitamento de água pluvial, cujo objetivo principal tem sido o de analisar a quantidade de água que pode ser captada, a qualidade dessa água e também, o potencial econômico de água potável (VILLARREAL; DIXON, 2005; BARRETO, 2008; BASINGER et al., 2010; STEFFEN et al., 2013). Atualmente, incentivos advindos de selos ambientais e de certificações de construções verdes têm incluído o uso mais eficiente de água como indicador-chave de sustentabilidade, propagando o incentivo ao uso racional de água em edificações (ZHANG et al., 2009).

Em âmbito nacional, Barreto (2008) realizou um estudo em uma amostra de 100 residências localizadas na zona oeste da cidade de São Paulo, com o objetivo de conhecer o perfil de consumo das edificações, bem como os usos finais da água nas mesmas, para então poder quantificar o potencial de economia que poderia ser gerado pelo aproveitamento de águas pluviais na edificação. Nessas residências instalou-se *data-loggers* nos hidrômetros e em pontos internos das casas, para medir as vazões e monitorar o consumo total e interno dos aparelhos, durante sete dias consecutivos. O percentual de consumo diário nas residências mostrou que: 10,9% do volume diário eram utilizados na máquina de lavar roupas, 9,2% no tanquinho, 13,7% na torneira de tanque e 5,5% no vaso sanitário com caixa acoplada. Somados, estes usos correspondem a 39,3% do total do consumo diário nas residências estudadas, e poderia ser substituído por água pluvial, uma vez que não é destinado para consumo humano.

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

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

Quanto à viabilidade econômica, Ghisi e Schondermark (2013) realizaram um estudo sobre a análise de viabilidade de investimento em sistema de aproveitamento de água pluvial para o setor residencial no Estado de Santa Catarina, sul do Brasil. Foram selecionadas cinco cidades como amostra, das quais foram extraídos dados diários de precipitação, do consumo médio de água, dos custos do reservatório de água pluvial, dos custos da moto bomba e das tarifas de água, esgoto e eletricidade. Foram ainda considerados valores variáveis para a área

de telhado, para o número de pessoas residentes, para a demanda de água potável e demanda de água pluvial. Os volumes dos reservatórios foram estimados utilizando o programa de simulação computacional Netuno. A viabilidade do investimento foi calculada considerando o volume ideal do reservatório, bem como volumes maior e menor do que o ideal, obtidos de acordo com variações periódicas do período de retorno de seis meses. Os resultados do estudo apontam que, para demandas altas de água pluvial, o critério de volume ideal do reservatório pode resultar em valores menores. Em tais casos, uma análise de viabilidade de investimento deve ser realizada de modo a obter um volume de reservatório mais apropriado. A principal conclusão é que o uso da água pluvial é economicamente viável para a maioria dos casos, e quanto maior a oferta de água pluvial, maior a viabilidade.

De forma geral, os estudos existentes na literatura, que têm foco na redução ou otimização do consumo de água, apontam sempre para o uso de sistema de aproveitamento de água pluvial como uma alternativa viável e eficiente, tanto como fomento à sustentabilidade nas construções de engenharia, quanto na redução de custos durante a operação das residências. Dentre essas alternativas, a coleta de águas pluviais é um recurso tradicionalmente empregado, porém ainda subutilizado, requerendo estudos mais específicos na área. É preciso considerar também, a necessidade de propor alternativas de dimensionamento, que possibilitem o estudo e a implantação de sistemas de aproveitamento pluvial mesmo para aqueles locais com ausência de dados ou com séries curtas. E nessa realidade, a aplicação do método da simulação para diferentes valores de área, demanda e volume, a partir do uso de séries históricas de uma dada cidade, poderia possibilitar a obtenção de relações mais confiáveis de eficiência, permitindo o emprego desses sistemas para uma região com características semelhantes.

2.3. PLATAFORMA PARA ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados desempenha um papel crucial na era da informação, proporcionando *insights* rápidos para tomadas de decisões, de forma assertiva. Neste contexto, o Power BI, uma ferramenta de Business Intelligence desenvolvida pela Microsoft, tem se destacado como uma solução abrangente e acessível. Com suas capacidades avançadas de visualização, transformação e modelagem de dados, o Power BI permite que os usuários explorem e compreendam dados complexos de maneira eficaz. Segundo a Microsoft, o Power BI é uma coleção de serviços de software, aplicativos e conectores que trabalham juntos para transformar suas fontes de dados não relacionadas em informações coerentes, visualmente envolventes e

interativas. Com o Power BI, pode-se conectar facilmente a fontes de dados, visualizar e descobrir conteúdo importante e compartilhá-lo com todas as pessoas que quiser (MICROSOFT, 2023).

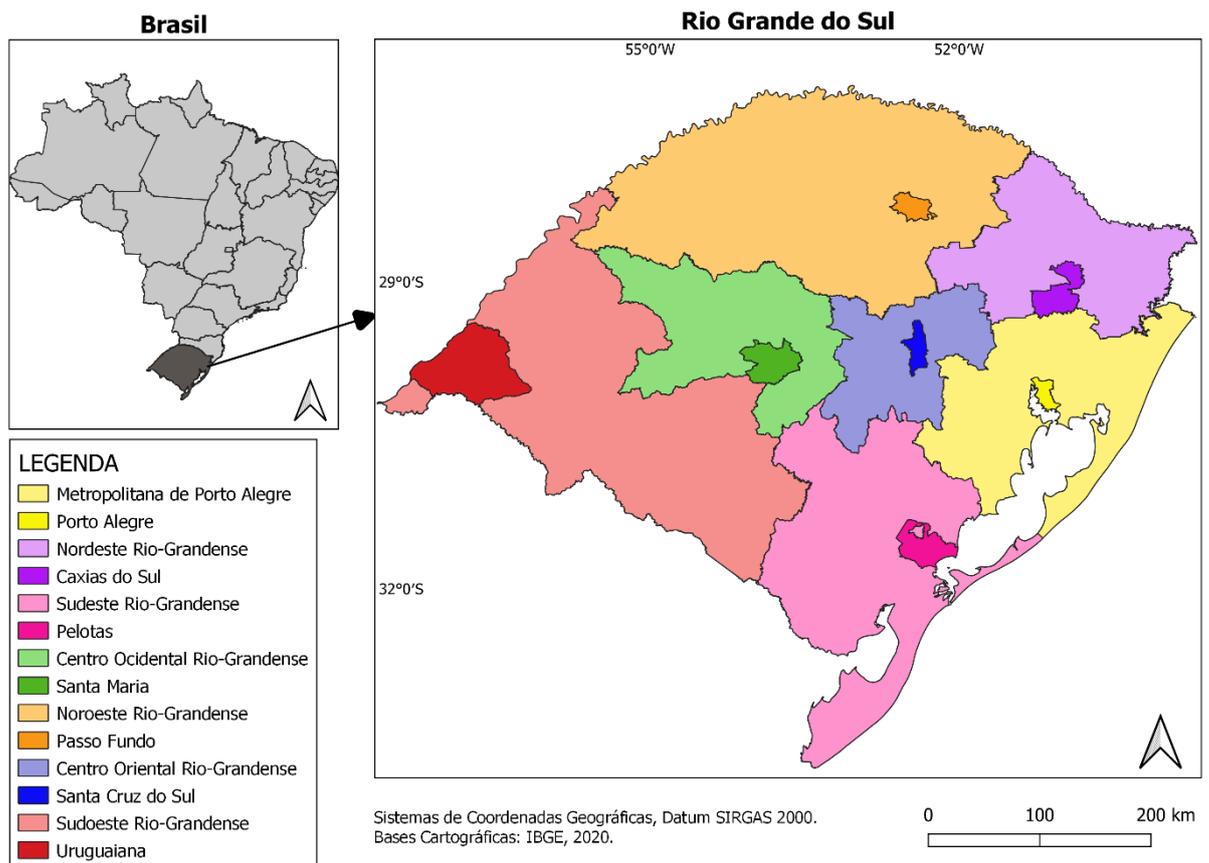
A eficácia do Power BI reside na sua capacidade de integrar dados de diversas fontes e apresentá-los de maneira intuitiva por meio de dashboards interativos. A ferramenta não apenas simplifica a análise de dados, mas também oferece recursos de compartilhamento e colaboração, facilitando a disseminação de informações significativas. A capacidade do Power BI de criar relatórios personalizados permite que usuários sem conhecimento técnico aprofundado em análise de dados explorem informações de maneira descomplicada. Essa abordagem acessível democratiza a análise de dados, capacitando a população leiga a tomar decisões com base em informações claras e visualmente impactantes. O processo do BI baseia-se na transformação de dados em informações, depois em decisões e finalmente em ações (TURBAN et al., 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

Para a aplicação do método da simulação para análise de sistemas de aproveitamento pluvial no estado do Rio Grande do Sul foram selecionadas sete cidades, representativas de todas as mesorregiões do estado (Figura 6). Para a escolha das cidades levou-se em consideração a disponibilidade de dados pluviométricos necessários, bem como a relevância populacional da cidade dentro de cada região.

Figura 6 – Localização dos municípios representativos das diferentes mesorregiões do estado do Rio Grande Sul, escolhidos para a aplicação do método da simulação.



Fonte: IBGE (2020, adaptado).

3.2. INFORMAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Para cada uma das cidades escolhidas para análise, selecionou-se uma estação pluviométrica (Tabela 1) que possuísse, no mínimo, 15 anos de dados diários de precipitação, de modo a melhor abranger a variabilidade climática da região, ao longo dos anos.

Os registros históricos diários de precipitação foram obtidos do banco de dados do INMET e da ANA (Hidroweb), tendo como critério de escolha, além do período mínimo de 15 anos de dados, a existência de período semelhante de abrangência, ou seja, priorizou-se, sempre que possível, a escolha de séries históricas com registros relativos ao mesmo período de tempo.

Tabela 1 – Descrição das estações pluviométricas escolhidas para aplicação do método da simulação no estado do Rio Grande do Sul.

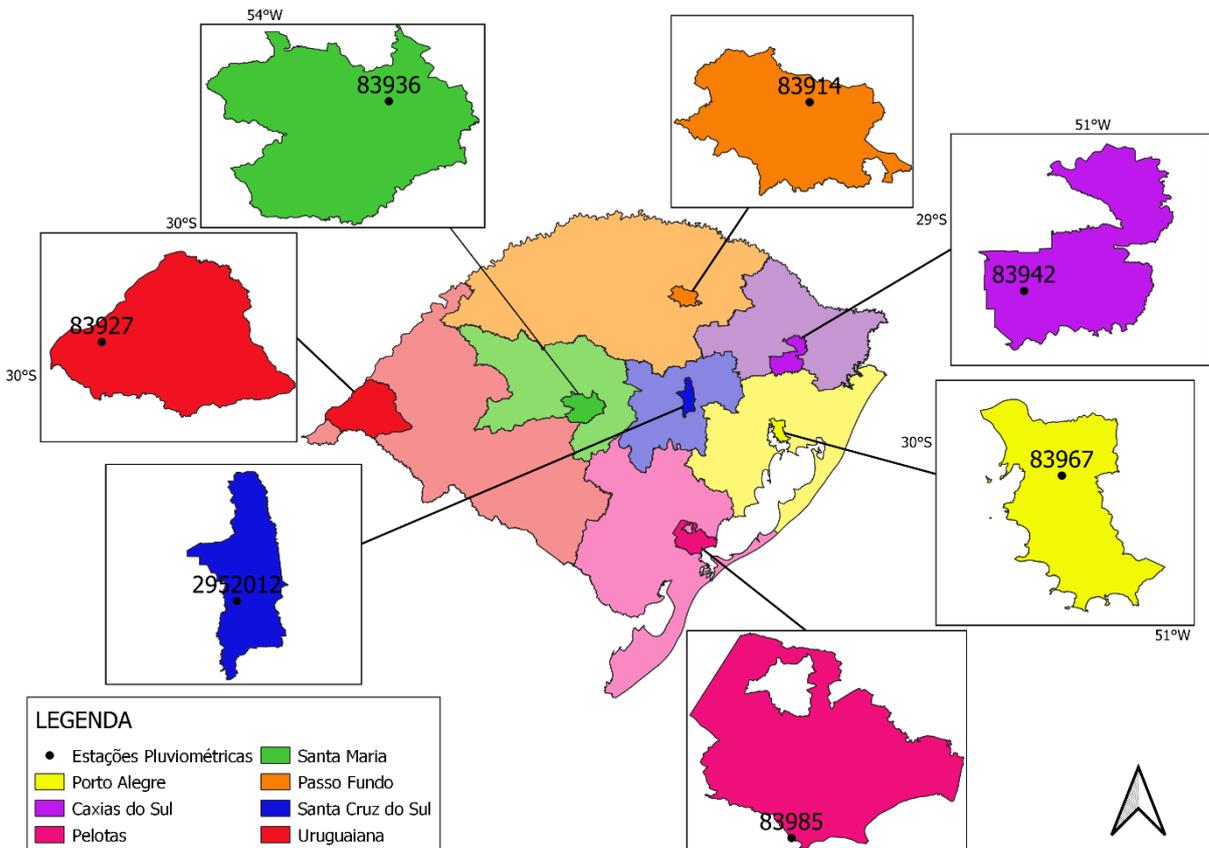
Código da Estação	Município	Período de dados (anos)	Período		Coordenadas Geográficas		
			Início	Fim	Latitude	Longitude	Altitude (m)
83967	Porto Alegre	61	01/01/1961	10/05/2022	-30,0536	-51,1747	41,18
83942	Caxias do Sul	19	01/02/2001	08/02/2020	-29,1961	-51,1863	750,16
83985	Pelotas	20	01/01/2002	31/03/2022	-31,7833	-52,4166	13
83936	Santa Maria	21	01/06/2001	10/05/2022	-29,7247	-53,7205	103,1
83914	Passo Fundo	16	01/01/2004	30/06/2020	-28,2286	-52,4119	684,05
2952012*	Santa Cruz do Sul	18	01/01/1950	31/10/1968	-29,7167	-52,4333	53
83927	Uruguiana	25	01/03/1992	02/09/2017	-29,8399	-57,0819	74,41

Fonte: adaptado de INMET e Hidroweb* (ANA, 2022).

A comparação entre os períodos das séries históricas apresentadas na Tabela 1 demonstra que, em sua maioria, elas estão compreendidas entre 1950 a 2022, possuindo relativa proximidade temporal entre as séries. A média de anos de dados disponíveis para as séries é de 25 anos.

Na Figura 7 é apresentada a localização de cada estação pluviométrica dentro do estado do Rio Grande do Sul, com destaque para a região representada por cada uma dessas estações.

Figura 7 – Localização das estações pluviométricas escolhidas para aplicação do método da simulação no estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: IBGE (2020, adaptado).

Como as estações pluviométricas muitas vezes apresentam falhas nos dados, para as simulações do funcionamento do sistema de aproveitamento, as ausências nos registros de precipitação diária foram analisadas tendo por base o número de dias falhos consecutivos presentes. Quando a ausência de registros consecutivos era superior a 5 dias, eliminou-se da série o período falho, retirando-se os períodos iniciais ou finais que apresentavam falhas a fim de evitar a necessidade de seu preenchimento. O número de registros mínimos disponíveis de cada série deve ser de 15 anos de dados, ao menos, para considerar a estação pluviométrica representativa (GERALDI, 2017).

3.3. DEMANDAS DE ÁGUA, ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO E VOLUME DE ARMAZENAMENTO DO RESERVATÓRIO

Para que fosse possível avaliar a eficiência dos sistemas de aproveitamento pluvial para diferentes áreas de contribuição, demandas e volumes de armazenamento, foram realizadas

simulações para faixas de variações e não para um valor único de área de contribuição, demandas e volumes, de modo que os resultados obtidos possam ser utilizados para uma ampla faixa de valores.

Para estabelecer a faixa de demanda de água a ser utilizada, considerou-se a aplicação a usos não potáveis segundo a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a), em que a água da chuva pode ser utilizada em descargas de bacias sanitárias e mictórios, irrigação para fins paisagísticos, lavagem de veículos e pisos e uso ornamental. Nessa pesquisa foram analisadas diferentes demandas, de modo a estabelecer resultados válidos para uma faixa de demanda entre 100 L/dia e 1000 L/dia, com uma variação de 100 L nas análises realizadas.

Da mesma forma, de modo a abarcar diferentes possibilidades para os sistemas de aproveitamento pluvial, foram simuladas variações nas áreas de captação, considerando-se áreas de 70, 100, 150, 200, 300, 400 e 500 m². Assim, é possível contemplar realidades desde casas populares até pavilhões industriais.

Os volumes dos reservatórios de armazenamento da água pluvial captada foram adotados de acordo com os tamanhos comerciais disponíveis, ou então buscando combinação de mais de um tamanho, de forma a abranger diversas necessidades, sendo considerados os volumes, em litros (L), de: 500, 1.000, 2.000, 3.000, 5.000, 7.000, 10.000.

3.4. SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO PLUVIAL

Inicialmente foi realizada a simulação do funcionamento do sistema de aproveitamento pluvial para cada uma das áreas e demandas, variando-se o volume do reservatório para cada área e mantendo-se a demanda constante. Esse procedimento foi realizado para todas as demandas, áreas e volumes de reservatório considerados para análise. Para as simulações foi considerada a aplicação do Método da Simulação, descrito no item 2.2.2, com aplicação das Equações 7 e 8; considerando-se o coeficiente de escoamento igual a 0,8 – valor comumente empregado (ABNT, 2019a), especialmente quando não se conhece o tipo de material utilizado na cobertura.

A fim de manter a qualidade das águas captadas e evitar a contaminação por ação carreamento dos elementos presentes na superfície de captação, foi considerado nas simulações realizadas o descarte dos primeiros 2 mm de chuva coletados, conforme recomendado pela NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a).

Em cada simulação foi determinada a falha e a eficiência no atendimento da demanda, através das Equações 9 e 10, descritas no item 2.2.2. Também foram calculados o número máximo de dias falhos consecutivos e o percentual de dias de extravasamento do reservatório. Além disso, o potencial de aproveitamento, que representa o potencial de água da chuva utilizada para satisfazer a demanda de forma total ou parcial, também foi determinado. Todos os cálculos foram realizados com apoio de planilha Excel.

A partir das simulações do funcionamento do sistema de aproveitamento realizadas para cada uma das sete estações analisadas no estado (variando-se área, demanda e volume do reservatório), foram também determinados os valores médios de falha e de eficiência no atendimento da demanda, de dias falhos consecutivos, do percentual de dias com extravasamento e o potencial de aproveitamento, bem como os desvios padrões desses dados; buscando-se determinar os padrões médios de variações no estado do Rio Grande do Sul.

3.5. CONSOLIDAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS EM DASHBOARD DE POWER BI

Para criar um *dashboard* acessível, confiável e dinâmico na plataforma de análise de dados Power BI, primeiramente, efetuou-se a coleta e extração de dados oriundos das simulações do funcionamento dos sistemas de aproveitamento. Esses dados, previamente consolidados em tabelas do Excel, foram submetidos a um processo de identificação e seleção de informações pertinentes. Em seguida, procedeu-se a importação dos dados para a plataforma Power BI, seguida pela etapa de preparação, que incluiu o estabelecimento de relações entre colunas e a aplicação de transformações, assegurando assim a qualidade e consistência do material analisado.

Para a criação de *dashboards* interativos e relatórios personalizados, foram utilizadas as funcionalidades da ferramenta Power BI. Esta plataforma possibilitou a aplicação de configurações de filtros e a implementação de tabelas, gráficos e visualizações significativas, alinhadas aos objetivos específicos desta pesquisa. A utilização de filtros possibilita a seleção da cidade desejada, da área disponível para captar a água da chuva e também da demanda de água de cada situação. Após aplicar os filtros simulando uma situação específica, os resultados são apresentados por meio de um gráfico, o qual proporciona uma análise das diferentes eficiências do sistema em atender à demanda em relação ao tamanho do reservatório. Adicionalmente, uma tabela complementar apresenta informações detalhadas sobre o sistema

selecionado. Para validar os resultados, conferiu-se a confiabilidade dos dados, por meio da comparação com as tabelas do Excel, inicialmente obtidas.

Na etapa de conclusão deste estudo, foram submetidos os relatórios finais e *dashboards* na *web*, como parte integrante do processo de compartilhamento dos resultados obtidos. A concepção desses materiais não busca apenas apresentar de forma clara e acessível os desdobramentos da pesquisa, mas também tem como objetivo ampliar o acesso da população aos sistemas de aproveitamento de água da chuva, com maior facilidade de entendimento do material gerado. Além disso, essa iniciativa visa criar novas oportunidades para futuras pesquisas e desenvolvimentos, permitindo a continuidade do estudo e a expansão do conhecimento na área.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS POR MESORREGIÕES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

A partir das simulações do funcionamento dos sistemas de aproveitamento, realizadas para cada uma das sete estações analisadas no estado do Rio Grande do Sul (variando-se área, demanda e volume do reservatório), obteve-se os resultados de falha e eficiência no atendimento da demanda, assim como o número máximo de dias falhos consecutivos, o percentual de dias com extravasamento do reservatório e o potencial de aproveitamento. Os cálculos foram realizados com apoio de planilha Excel, utilizando o Método da Simulação, descrito no item 2.2.2, com aplicação das Equações 7 e 8; considerando-se o coeficiente de escoamento igual a 0,8 e descarte dos primeiros 2 mm de chuva coletados; determinando-se a falha e a eficiência no atendimento da demanda, através das Equações 9 e 10. Todos os resultados descritos nesta etapa do trabalho também podem ser visualizados, de forma mais didática, através do *dashboard* do Power BI.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da eficiência do sistema de aproveitamento pluvial para a região Nordeste Rio-Grandense, avaliada a partir da estação da cidade de Caxias do Sul, sendo apresentadas as eficiências para cada uma das dez demandas avaliadas, considerando-se as sete áreas de captação e os sete volumes de armazenamento simulados.

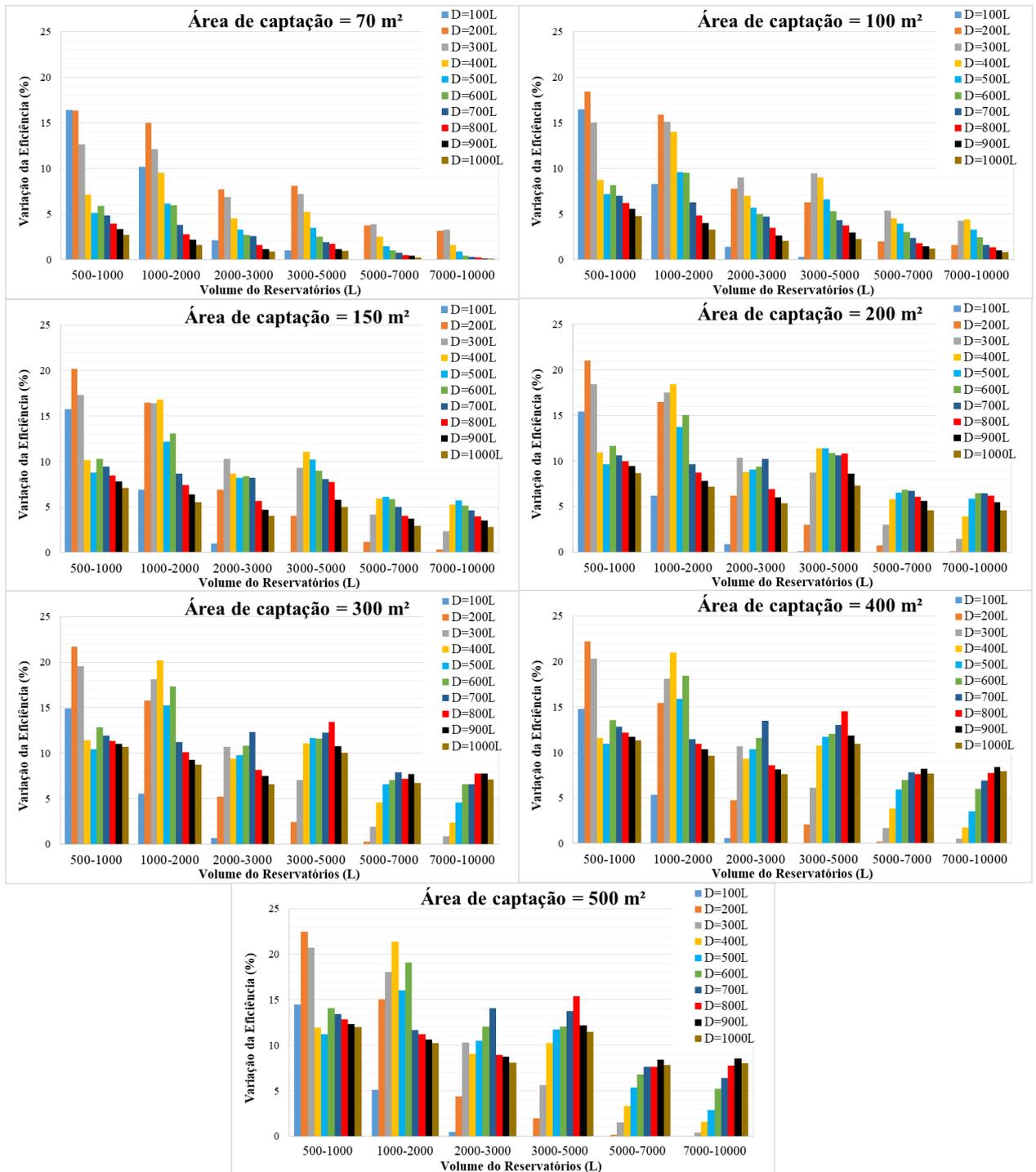
A eficiência no atendimento à demanda total do sistema de aproveitamento variou consideravelmente para os diferentes cenários analisados. Na situação mais crítica, com demanda máxima (1000 L/dia), área mínima (70 m²) e reservatório menor (500 L), a eficiência foi de 9,64%. No entanto, ao considerar a mesma demanda, mas com uma área maior (500 m²) e reservatório de maior capacidade (10000 L), a eficiência aumentou para 82,31%. Resultados de eficiência de 100% foram alcançados na menor demanda do estudo (100 L/dia), especialmente para a menor área, utilizando reservatórios de 5000 L. Para o reservatório de 500 L, na mesma situação, a eficiência foi de 70,4%. Na demanda de 200 L/dia, eficiência máxima (100%) foi encontrada para a área de 150 m² e reservatório de 10000 L. Já para a demanda de 300 L/dia, eficiência máxima foi observada nas áreas de 400 m² e 500 m², utilizando o reservatório de 10000 L. A partir da demanda de 400 L/dia, não foi possível alcançar eficiência de 100%. Na Figura 8 são mostradas as variações da eficiência no atendimento às demandas para a cidade de Caxias do Sul, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório.

Tabela 2 – Eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Caxias do Sul, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório

Caxias do Sul - Eficiência no atendimento à demanda (%)												
Demanda (L/dia)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000		
Volume (L)	Área de Captação = 70 m²										Média (%)	Desvio padrão (%)
500	70,40	44,05	31,31	26,41	22,87	15,63	13,59	11,93	10,75	9,64	25,66	19,13
1000	86,79	60,39	43,92	33,54	27,97	21,52	18,40	15,89	14,08	12,37	33,49	24,05
2000	96,92	75,33	56,02	43,07	34,13	27,44	22,17	18,66	16,24	13,93	40,39	27,81
3000	99,01	83,01	62,85	47,57	37,41	30,14	24,72	20,25	17,37	14,83	43,72	29,15
5000	100,00	91,10	70	52,81	40,88	32,65	26,64	21,98	18,51	15,79	47,04	30,53
7000	100,00	94,80	73,84	55,32	42,31	33,67	27,36	22,47	18,91	16,02	48,47	31,26
10000	100,00	97,93	77,14	56,93	43,20	34,12	27,64	22,70	19,03	16,09	49,48	32,03
Média (%)	93,30	78,09	59,30	45,09	35,54	27,88	22,93	19,13	16,41	14,10		
Desvio Padrão (%)	11,16	19,77	16,77	11,53	7,71	6,96	5,28	4,00	3,05	2,38		
Volume (L)	Área de Captação = 100 m²										Média (%)	Desvio padrão (%)
500	73,66	48,02	35,12	30,79	27,44	19,04	17,06	15,52	14,15	13,04	29,38	19,14
1000	90,10	66,43	50,17	39,51	34,60	27,19	24,05	21,72	19,71	17,79	39,13	23,55
2000	98,37	82,31	65,29	53,51	44,15	36,71	30,32	26,56	23,69	21,09	48,20	26,40
3000	99,74	90,05	74,26	60,49	49,86	41,70	35,04	30,04	26,31	23,12	53,06	27,20
5000	100,00	96,31	83,71	69,48	56,47	47,00	39,38	33,80	29,24	25,36	58,07	27,83
7000	100,00	98,30	89,05	74,00	60,37	50,04	41,77	35,60	30,69	26,59	60,64	28,10
10000	100,00	99,86	93,29	78,35	63,67	52,50	43,37	36,92	31,73	27,36	62,71	28,49
Média (%)	94,55	83,04	70,13	58,02	48,08	39,17	33,00	28,59	25,07	22,05		
Desvio Padrão (%)	9,89	19,34	21,38	17,84	13,48	12,37	9,75	7,85	6,39	5,18		
Volume (L)	Área de Captação = 150 m²										Média (%)	Desvio padrão (%)
500	76,31	50,99	38,29	34,62	32,20	21,74	20,07	18,81	17,88	16,71	32,76	18,91
1000	92,08	71,18	55,62	44,75	40,97	32,03	29,49	27,29	25,68	23,78	44,29	22,54
2000	98,99	87,62	72,05	61,55	53,15	45,11	38,17	34,71	32,04	29,28	55,27	24,31
3000	99,96	94,49	82,31	70,23	61,32	53,51	46,39	40,35	36,71	33,28	61,85	24,10
5000	100,00	98,53	91,65	81,30	71,54	62,47	54,48	48,06	42,49	38,26	68,88	23,20
7000	100,00	99,67	95,80	87,20	77,65	68,33	59,46	52,08	46,19	41,21	72,76	22,50
10000	100,00	100,00	98,11	92,47	83,35	73,48	64,07	56,05	49,68	43,99	76,12	21,68
Média (%)	95,33	86,07	76,26	67,45	60,03	50,95	44,59	39,62	35,81	32,36		
Desvio Padrão (%)	8,87	18,53	22,43	21,77	19,03	19,12	16,19	13,58	11,43	9,81		
Volume (L)	Área de Captação = 200 m²										Média (%)	Desvio padrão (%)
500	77,54	52,67	39,80	37,10	34,50	23,46	22,17	20,86	19,68	18,76	34,65	18,69
1000	92,98	73,66	58,23	48,02	44,15	35,12	32,78	30,79	29,11	27,44	47,23	21,78
2000	99,17	90,10	75,74	66,43	57,85	50,17	42,41	39,51	36,89	34,60	59,29	22,93
3000	99,99	96,27	86,12	75,20	66,88	59,54	52,60	46,42	42,88	39,97	66,59	22,05
5000	100,00	99,28	94,82	86,57	78,25	70,42	63,18	57,25	51,49	47,29	74,85	19,86
7000	100,00	99,97	97,80	92,39	84,76	77,26	69,90	63,28	57,10	51,88	79,43	18,24
10000	100,00	100,00	99,21	96,31	90,60	83,71	76,36	69,48	62,57	56,47	83,47	16,40
Média (%)	95,67	87,42	78,82	71,72	65,28	57,10	51,34	46,80	42,82	39,49		
Desvio Padrão (%)	8,40	17,98	22,51	22,56	20,98	22,21	19,95	17,69	15,43	13,55		
Volume (L)	Área de Captação = 300 m²										Média (%)	Desvio padrão (%)
500	78,87	54,64	41,73	39,59	37,64	25,44	24,28	23,28	22,43	21,49	36,94	18,35
1000	93,80	76,31	61,31	50,99	48,09	38,29	36,22	34,62	33,42	32,20	50,53	20,80
2000	99,32	92,08	79,42	71,18	63,31	55,62	47,46	44,75	42,67	40,97	63,68	21,15
3000	100,00	97,32	90,10	80,54	73,11	66,43	59,77	52,90	50,17	47,59	71,79	19,56
5000	100,00	99,74	97,16	91,64	84,80	78,03	72,03	66,36	60,95	57,65	80,84	16,16
7000	100,00	100,00	99,05	96,20	91,39	85,09	79,92	73,54	68,63	64,40	85,82	13,57
10000	100,00	100,00	99,93	98,53	95,94	91,65	86,53	81,30	76,42	71,54	90,18	10,66
Média (%)	96,00	88,58	81,24	75,52	70,61	62,94	58,03	53,82	50,67	47,98		
Desvio Padrão (%)	7,89	17,21	22,21	22,93	22,09	24,57	23,15	21,16	19,37	17,88		
Volume (L)	Área de Captação = 400 m²										Média (%)	Desvio padrão (%)
500	79,36	55,32	42,62	41,10	39,30	26,26	25,58	24,92	24,01	23,16	38,16	18,02
1000	94,11	77,54	62,93	52,67	50,24	39,80	38,43	37,10	35,70	34,50	52,30	20,21
2000	99,42	92,98	81,03	73,66	66,10	58,23	49,92	48,02	46,02	44,15	65,95	20,13
3000	100,00	97,73	91,68	82,97	76,46	69,83	63,38	56,64	54,14	51,75	74,46	18,13
5000	100,00	99,83	97,78	93,68	88,21	81,89	76,38	71,18	65,97	62,66	83,76	14,20
7000	100,00	100,00	99,47	97,52	94,11	88,83	84,17	78,83	74,16	70,33	88,74	11,28
10000	100,00	100,00	100,00	99,28	97,64	94,82	91,05	86,57	82,57	78,25	93,02	8,05
Média (%)	96,13	89,06	82,22	77,27	73,15	65,67	61,27	57,61	54,65	52,11		
Desvio Padrão (%)	7,70	16,92	21,94	22,81	22,35	25,64	24,39	22,57	21,06	19,74		
Volume (L)	Área de Captação = 500 m²										Média (%)	Desvio padrão (%)
500	79,89	56,05	43,43	42,08	40,65	27,00	26,39	25,75	25,10	24,60	39,09	17,87
1000	94,37	78,51	64,14	54,04	51,86	41,11	39,82	38,62	37,41	36,58	53,65	19,77
2000	99,50	93,54	82,19	75,41	67,90	60,23	51,50	49,86	48,02	46,81	67,50	19,46
3000	100,00	97,90	92,47	84,50	78,38	72,30	65,58	58,83	56,74	54,93	76,16	17,11
5000	100,00	99,86	98,09	94,72	90,10	84,37	79,36	74,20	68,92	66,43	85,61	12,85
7000	100,00	100,00	99,60	98,03	95,48	91,15	87,00	81,83	77,33	74,29	90,47	9,83
10000	100,00	100,00	100,00	99,63	98,37	96,39	93,41	89,61	85,85	82,31	94,56	6,53
Média (%)	96,25	89,41	82,85	78,34	74,68	67,51	63,29	59,82	57,05	55,14		
Desvio Padrão (%)	7,51	16,60	21,62	22,59	22,25	26,11	25,11	23,41	21,87	20,73		

Fonte: autora (2023).

Figura 8 – Variações relativas das eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Caxias do Sul, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório



Fonte: autora (2023).

Comumente, a eficiência no atendimento à demanda do sistema de aproveitamento pluvial mostra tendência de crescimento com o aumento do volume para uma área e demanda constante (ver valores entre duas linhas subsequentes em uma mesma coluna da tabela, considerando uma mesma área de captação e demanda) e também, com o aumento da área para

um volume constante (ver valores para diferentes áreas de captação, considerando uma linha de mesmo volume e uma coluna de mesma demanda). Por outro lado, quando se analisa uma mesma área de captação e mesmo volume de reservatório, observa-se um comportamento de redução da eficiência no atendimento à demanda do sistema de aproveitamento para uma elevação da demanda a ser atendida (ver uma mesma linha de volume e diferentes colunas de demanda, considerando uma mesma área de captação).

Essas variações da eficiência no atendimento à demanda, calculadas em relação à eficiência anterior, entretanto, não seguem uma tendência única (ver Figura 8). De fato, em geral, percebe-se que, para uma mesma demanda e área de captação, as variações da eficiência tendem a diminuir na medida em que o volume do reservatório aumenta. Para uma dada área de captação e faixa de variação de volume do reservatório, observou-se que a variação da eficiência em relação à eficiência anterior sempre aumenta para demandas de até 300 L, ocorrendo uma variação de comportamento acima de desse valor de demanda, ora havendo aumentos e ora ocorrendo reduções das variações.

De forma geral, são observadas diminuições nas variações da eficiência quando a demanda é de 600L ou mais. Quando analisados os desvios padrões da eficiência (Tabela 2), para uma área constante, percebe-se um aumento usual dos desvios até uma demanda de 300 L e uma redução a partir de demandas de 600 até 1000 L, com variações para mais ou menos nesses desvios nas demandas de 400 e 500 L, conforme a área de captação analisada. Além disso, observa-se da Tabela 2 que, comumente, os desvios padrões dos dados de eficiência tendem a aumentar com o aumento da demanda e da área de captação, para um mesmo volume de reservatório.

Assim como Sari et al. (2010) cita em seu estudo, esses resultados também demonstram que a eficiência no atendimento à demanda representa uma reposta interligada das diferentes variáveis que compõe o sistema de aproveitamento (volume de armazenamento, área de captação, demanda e dados pluviométricos), de forma que o volume ideal de armazenamento será uma consequência dessa influência conjunta.

Na Tabela 3 são descritos os resultados das simulações para a cidade de Porto Alegre, representante da região Metropolitana de Porto Alegre. Observa-se um comportamento crescente da eficiência no atendimento à demanda do sistema em função do aumento do volume para uma área constante. Da mesma forma, é perceptível que um aumento da área de captação para um dado volume constante ocasiona, por consequência, uma elevação da eficiência do sistema de aproveitamento pluvial. Seeger (2008) apresenta esse mesmo comportamento da eficiência no seu estudo.

Tabela 3 – Eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Porto Alegre, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório

Porto Alegre - Eficiência no atendimento à demanda (%)												
Demanda (L/dia)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000		
Volume (L)	Área de Captação = 70 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	60,37	35,73	24,65	20,76	17,58	11,74	10,41	9,05	8,01	7,01	20,53	16,65
1000	77,36	49,87	34,65	25,98	21,45	16,38	14,06	11,99	10,46	9,04	27,12	21,73
2000	90,72	62,60	43,806	33,25	25,78	20,58	16,66	13,80	11,83	10,03	32,91	26,12
3000	95,73	69,52	48,916	36,29	27,88	22,28	18,17	14,77	12,47	10,50	35,65	28,06
5000	98,95	76,69	53,583	39,19	29,65	23,51	19,07	15,48	12,97	10,87	38,00	29,75
7000	99,69	80,75	55,667	40,30	30,25	23,89	19,34	15,65	13,10	10,95	38,96	30,55
10000	100,00	84,15	56,876	40,78	30,51	24,04	19,42	15,70	13,13	10,97	39,56	31,19
Média (%)	88,98	65,62	45,45	33,79	26,16	20,34	16,73	13,78	11,71	9,91		
Desvio Padrão (%)	14,93	17,61	12,01	7,72	4,95	4,65	3,38	2,47	1,89	1,45		
Volume (L)	Área de Captação = 100 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	64,07	39,32	28,02	24,66	21,87	14,52	13,08	11,96	10,94	9,99	23,84	16,94
1000	81,70	55,90	40,70	31,36	27,29	20,94	18,52	16,69	15,09	13,59	32,18	21,86
2000	94,12	71,46	53,11	42,49	34,32	28,23	23,00	20,31	17,96	15,96	40,10	25,84
3000	97,86	79,75	61,21	47,69	38,71	32,02	26,59	22,57	19,59	17,30	44,33	27,35
5000	99,66	87,99	69,35	54,15	43,29	35,40	29,33	24,94	21,28	18,54	48,39	28,68
7000	100,00	92,33	73,82	57,43	45,60	36,98	30,47	25,83	21,96	19,06	50,35	29,46
10000	100,00	95,56	77,97	60,03	47,17	38,09	31,13	26,31	22,36	19,34	51,79	30,18
Média (%)	91,06	74,62	57,74	45,40	36,89	29,45	24,59	21,23	18,45	16,25		
Desvio Padrão (%)	13,57	20,67	18,30	13,39	9,58	8,85	6,78	5,32	4,18	3,42		
Volume (L)	Área de Captação = 150 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	67,15	42,55	31,00	28,26	25,91	16,97	15,87	14,78	13,96	13,00	26,95	17,04
1000	85,10	61,10	45,96	36,43	32,96	25,40	23,39	21,54	20,01	18,38	37,03	21,57
2000	96,22	78,21	61,00	51,04	42,96	35,92	29,81	26,98	24,73	22,66	46,95	24,80
3000	98,96	86,93	71,46	58,22	49,57	42,49	36,39	31,01	28,23	25,48	52,87	25,57
5000	99,94	94,41	81,53	68,40	57,85	49,19	42,55	36,97	32,54	29,02	59,24	25,77
7000	100,00	97,43	86,92	74,15	62,79	53,34	45,85	39,63	34,87	30,89	62,59	25,83
10000	100,00	99,18	91,77	79,27	67,30	56,97	48,71	42,01	36,80	32,32	65,43	25,90
Média (%)	92,48	79,97	67,09	56,54	48,48	40,04	34,65	30,42	27,31	24,54		
Desvio Padrão (%)	12,39	21,18	22,42	19,17	15,43	14,82	12,19	9,98	8,30	7,03		
Volume (L)	Área de Captação = 200 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	68,76	44,35	32,51	30,34	28,39	18,48	17,43	16,53	15,72	14,96	28,75	17,01
1000	86,76	64,07	49,04	39,32	36,31	28,02	26,19	24,66	23,20	21,87	39,95	21,19
2000	97,06	81,70	65,07	55,90	47,88	40,70	33,87	31,36	29,23	27,29	51,01	23,84
3000	99,36	89,97	76,56	64,14	55,86	48,86	42,44	36,71	33,79	31,27	57,90	24,03
5000	99,96	96,40	86,98	75,94	66,20	57,63	50,95	45,31	40,26	36,79	65,64	23,23
7000	100,00	98,65	92,21	82,41	72,55	63,61	56,19	49,66	44,35	40,26	69,99	22,51
10000	100,00	99,66	96,18	87,99	78,38	69,35	61,07	54,15	48,22	43,29	73,83	21,68
Média (%)	93,13	82,12	71,22	62,29	55,08	46,66	41,16	36,91	33,54	30,82		
Desvio Padrão (%)	11,76	20,81	23,69	21,77	18,66	18,73	16,12	13,70	11,70	10,20		
Volume (L)	Área de Captação = 300 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	70,53	46,28	34,53	32,66	31,10	20,13	19,30	18,64	17,96	17,30	30,84	16,92
1000	88,44	67,15	52,31	42,55	40,04	31,00	29,58	28,26	27,08	25,91	43,23	20,63
2000	97,79	85,10	69,66	61,10	53,29	45,96	38,55	36,43	34,67	32,96	55,55	22,57
3000	99,54	92,74	81,70	70,15	62,56	55,90	49,46	43,24	40,70	38,43	63,44	21,97
5000	99,96	98,00	91,50	83,00	74,76	66,80	60,60	54,85	49,71	46,61	72,58	19,88
7000	100,00	99,42	95,77	89,45	81,98	74,42	67,99	61,22	55,99	52,11	77,83	18,12
10000	100,00	99,94	98,41	94,41	88,32	81,53	74,76	68,40	62,95	57,85	82,66	15,95
Média (%)	93,75	84,09	74,84	67,62	61,72	53,68	48,61	44,43	41,29	38,74		
Desvio Padrão (%)	11,06	20,30	24,07	23,56	21,48	22,67	20,52	18,06	16,05	14,51		
Volume (L)	Área de Captação = 400 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	71,37	47,22	35,54	34,06	32,74	20,95	20,33	19,79	19,17	18,68	31,98	16,83
1000	89,20	68,76	54,02	44,35	42,31	32,51	31,43	30,34	29,34	28,39	45,07	20,23
2000	98,09	86,76	71,97	64,07	56,54	49,04	41,11	39,32	37,68	36,31	58,09	21,77
3000	99,62	93,98	84,24	73,41	66,29	59,72	53,29	46,81	44,55	42,66	66,46	20,75
5000	99,97	98,58	93,44	86,20	79,17	71,64	65,67	60,24	54,98	52,24	76,21	17,90
7000	100,00	99,66	97,10	92,27	86,47	79,55	73,96	67,56	62,30	58,96	81,78	15,59
10000	100,00	99,96	99,08	96,40	92,28	86,98	81,44	75,94	70,94	66,20	86,92	12,66
Média (%)	94,04	84,99	76,48	70,11	65,11	57,20	52,46	48,57	45,57	43,35		
Desvio Padrão (%)	10,73	19,99	24,10	23,99	22,49	24,47	22,66	20,39	18,42	16,97		
Volume (L)	Área de Captação = 500 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	72,04	48,03	36,21	35,02	33,79	21,75	21,05	20,50	20,04	19,62	32,81	16,79
1000	89,73	70,04	55,31	45,70	43,76	33,86	32,65	31,75	30,84	30,04	46,37	19,98
2000	98,30	87,87	73,46	66,00	58,57	51,10	42,74	41,29	39,76	38,51	59,76	21,24
3000	99,67	94,75	85,76	75,57	68,73	62,50	55,91	49,24	47,22	45,40	68,47	19,89
5000	99,98	98,90	94,51	88,14	81,70	74,67	69,02	63,71	58,33	55,90	78,49	16,59
7000	100,00	99,73	97,76	93,81	88,76	82,76	77,64	71,42	66,40	63,35	84,16	13,94
10000	100,00	99,96	99,42	97,42	94,12	89,93	85,24	80,23	75,74	71,46	89,35	10,65
Média (%)	94,24	85,61	77,49	71,67	67,06	59,51	54,89	51,16	48,33	46,32		
Desvio Padrão (%)	10,48	19,69	24,02	24,12	22,89	25,36	23,90	21,72	19,83	18,50		

Fonte: autora (2023).

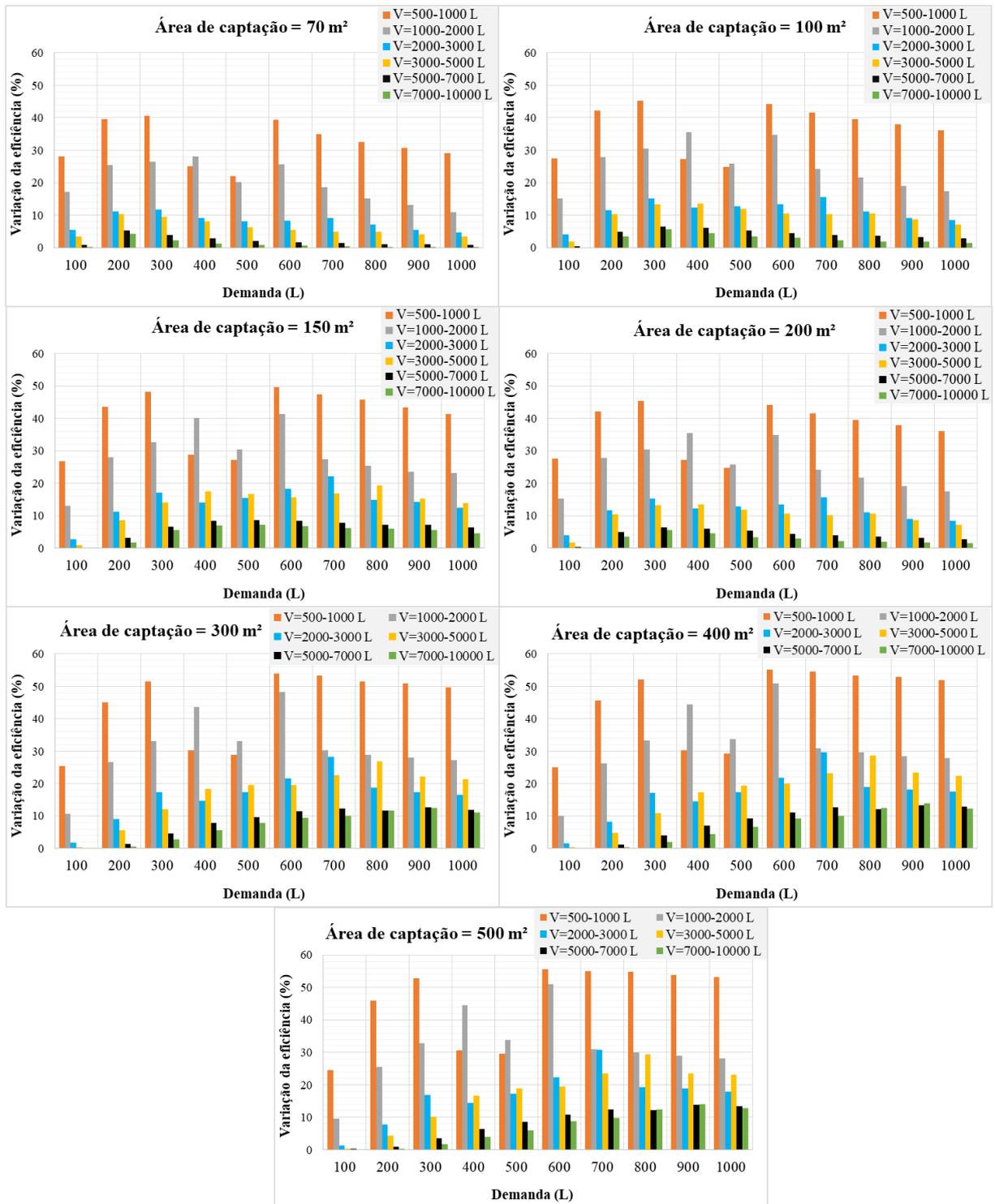
Nesse caso, as eficiências do sistema no atendimento à demanda variaram de 7,01% para a situação mais crítica, com demanda de 1000 L/dia, área de captação de 70 m² e volume de reservatório de 500 L, até a 100% para a demanda de 100 L/dia, área de captação de 70 m² e volume de reservatório de 10000 L. Para as demais áreas de captação avaliadas, quando considerada a demanda de 100 L/dia foram alcançados 100% de eficiência para volumes de reservatórios de 7000 L. Os resultados máximos de eficiência foram observados para a demanda de 100 L/dia, enquanto resultados ótimos acima de 90% foram obtidos até a demanda de 500 L/dia, associada à área de captação de 500 m² e reservatório de 10000 L. Na maior demanda do estudo (1000 L) foi alcançada uma eficiência máxima de 71,46% para uma área de captação de 500 m² e volume do reservatório de 10000 L.

Na Figura 9 são mostradas as variações relativas das eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Porto Alegre, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório. A variação relativa percentual foi calculada em função da eficiência anterior, buscando-se identificar tendências presentes nas alterações das eficiências dos sistemas de aproveitamento pluvial.

De forma geral, percebe-se uma redução da variação relativa da eficiência ao atendimento à demanda quando, para uma dada área e demanda constante, aumenta-se o volume do reservatório de armazenamento. Por outro lado, usualmente, ocorre elevação da variação da eficiência relativa para volume de armazenamento e demanda constante, quando se promove o aumento da área de captação das águas pluviais; havendo também, comportamento não definido para algumas áreas de captação, como, por exemplo, a área de 200 m².

Na Tabela 4 são descritos os resultados das simulações realizada para a cidade de Pelotas, representativa da região Sudeste Rio-Grandense. A eficiência no atendimento à demanda total apresentou um valor de 6,53% na situação mais crítica (menor área de captação do estudo (70 m²), com o menor tamanho de reservatório (500 L) e maior demanda (1000 L/dia)). Contudo, ao considerar a mesma demanda de 1000 L/dia, para uma área de 500 m² e um reservatório de 10000 L, a eficiência aumentou para 67,55%. A eficiência máxima foi alcançada apenas na demanda de 100 L/dia, sendo o primeiro resultado obtido com uma área de 70 m² e reservatório de 10000 L. A partir de uma área de 150 m², volumes de reservatório de 7000 L já proporcionaram eficiência de 100% no atendimento das demandas avaliadas. Para a demanda de 200 L/dia, somente foi alcançada eficiência acima de 90% a partir da área de captação de 100 m² associada a reservatórios superiores a 7000 L. Reservatórios com volumes menos usuais frequentemente representam custos maiores para implantação do sistema; além de requererem disponibilidade de áreas compatíveis para viabilidade de sua instalação.

Figura 9 – Variações relativas das eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Porto Alegre, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório



Fonte: autora (2023).

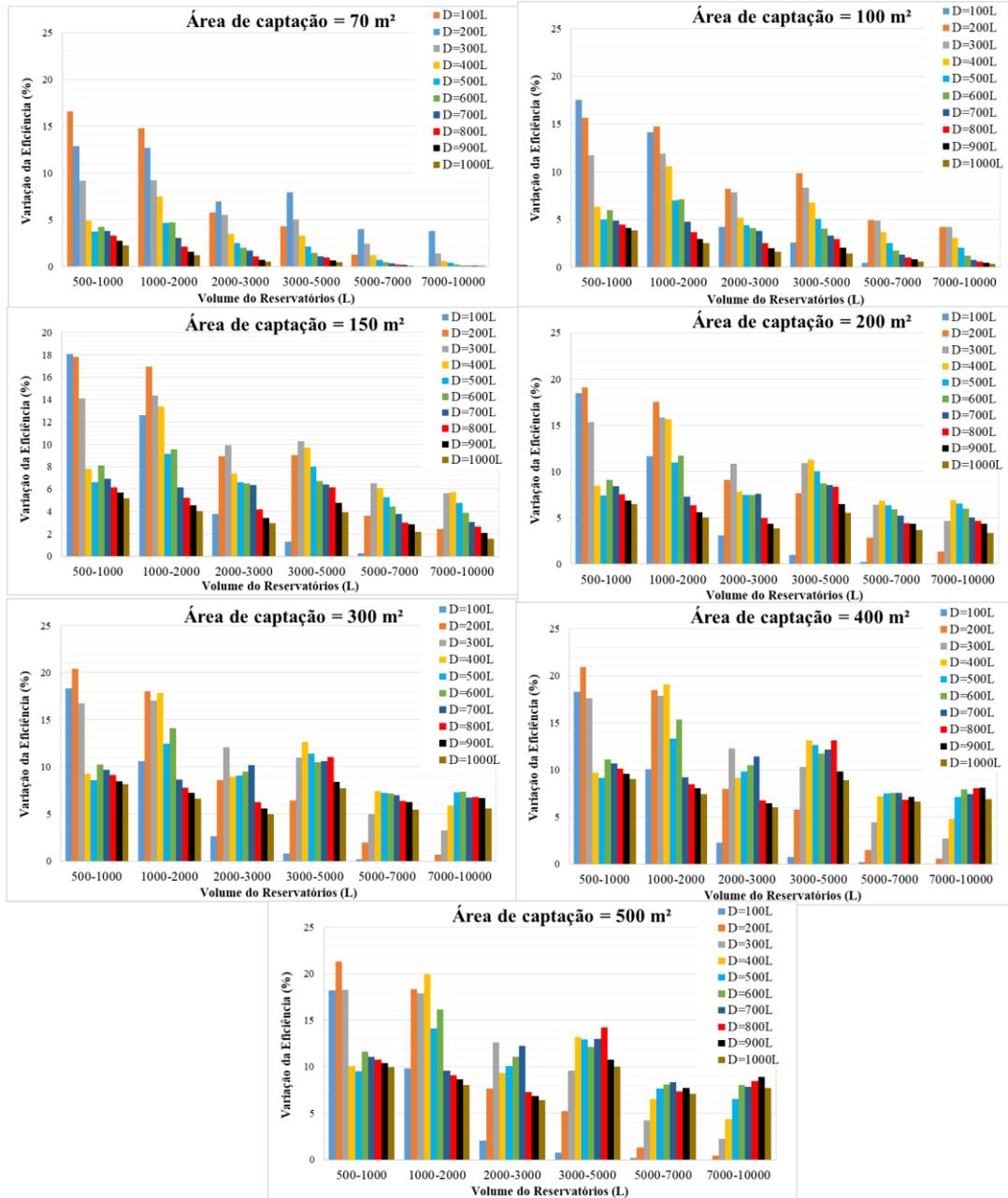
Na Figura 10 são mostradas as variações relativas das eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Pelotas, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório.

Tabela 4 – Eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Pelotas, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório

Pelotas - Eficiência no atendimento à demanda (%)												
Demanda (L/dia)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	Média (%)	Desvio Padrão (%)
Volume (L)	Área de Captação = 70 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	57,17	33,52	23,11	19,11	16,16	10,71	9,38	8,06	7,18	6,53	19,09	15,88
1000	73,77	46,41	32,28	24,06	19,93	14,96	13,18	11,39	9,95	8,83	25,48	20,62
2000	88,57	59,11	41,5	31,58	24,61	19,69	16,28	13,51	11,55	10,03	31,64	25,21
3000	94,36	66,04	47,06	35,10	27,10	21,70	18,00	14,60	12,27	10,56	34,68	27,26
5000	98,67	74,01	52,09	38,44	29,24	23,14	19,11	15,59	12,91	11,03	37,42	29,23
7000	99,99	78,03	54,54	39,69	29,99	23,65	19,45	15,85	13,09	11,16	38,54	30,12
10000	100,00	81,84	55,94	40,27	30,39	23,88	19,58	15,97	13,20	11,25	39,23	30,71
Média (%)	87,51	62,71	43,79	32,61	25,35	19,68	16,43	13,57	11,45	9,91		
Desvio Padrão (%)	16,30	17,65	12,30	8,22	5,47	5,04	3,85	2,92	2,20	1,71		
Volume (L)	Área de Captação = 100 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	60,99	37,12	26,22	23,08	20,32	13,25	11,89	10,86	9,97	9,01	22,27	16,28
1000	78,53	52,78	37,96	29,43	25,35	19,23	16,80	15,32	14,06	12,90	30,24	21,11
2000	92,68	67,56	49,84	39,99	32,33	26,36	21,54	19,01	17,01	15,40	38,17	25,30
3000	96,92	75,79	57,69	45,18	36,75	30,49	25,35	21,56	18,99	17,04	42,58	26,70
5000	99,50	85,64	66,04	51,95	41,85	34,55	28,67	24,50	21,04	18,47	47,22	28,18
7000	100,00	90,59	70,94	55,61	44,35	36,31	30,01	25,52	21,87	19,09	49,43	29,02
10000	100,00	94,81	75,17	58,69	46,37	37,48	30,80	26,10	22,34	19,45	51,12	29,84
Média (%)	89,80	72,04	54,84	43,42	35,33	28,24	23,58	20,41	17,90	15,91		
Desvio Padrão (%)	14,82	21,10	17,96	13,41	9,85	9,17	7,18	5,71	4,56	3,82		
Volume (L)	Área de Captação = 150 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	63,95	40,12	29,15	26,46	24,29	15,82	14,69	13,73	12,66	11,81	25,27	16,36
1000	82,00	57,94	43,27	34,28	30,89	23,92	21,62	19,86	18,35	17,00	34,91	20,96
2000	94,62	74,90	57,62	47,64	40,04	33,48	27,78	25,07	22,92	21,05	44,51	24,57
3000	98,39	83,83	67,56	55,05	46,64	39,99	34,13	29,25	26,36	24,02	50,52	25,48
5000	99,72	92,87	77,82	64,77	54,67	46,71	40,53	35,42	31,14	27,94	57,16	25,75
7000	100,00	96,51	84,33	70,87	59,93	51,18	44,31	38,44	33,98	30,13	60,97	25,80
10000	100,00	98,97	89,95	76,63	64,71	55,06	47,37	41,07	36,08	31,71	64,16	25,94
Média (%)	91,24	77,88	64,24	53,67	45,88	38,02	32,92	28,98	25,93	23,38		
Desvio Padrão (%)	13,65	21,93	22,27	18,71	15,03	14,46	12,14	10,07	8,54	7,26		
Volume (L)	Área de Captação = 200 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	65,53	41,89	30,82	28,64	26,46	17,13	16,35	15,51	14,63	13,82	27,08	16,31
1000	84,00	60,99	46,14	37,12	33,90	26,22	24,77	23,08	21,51	20,32	37,81	20,68
2000	95,69	78,53	61,99	52,78	44,87	37,96	32,04	29,43	27,09	25,35	48,57	23,76
3000	98,78	87,63	72,87	60,65	52,36	45,42	39,65	34,43	31,44	29,22	55,25	24,29
5000	99,77	95,27	83,81	71,91	62,41	54,13	48,19	42,81	37,92	34,77	63,10	23,66
7000	100,00	98,11	90,26	78,74	68,78	60,04	53,40	47,26	42,26	38,47	67,73	23,05
10000	100,00	99,50	94,94	85,64	75,32	66,04	58,47	51,95	46,64	41,85	72,04	22,20
Média (%)	91,97	80,27	68,69	59,35	52,01	43,85	38,98	34,92	31,64	29,11		
Desvio Padrão (%)	12,99	21,66	23,76	21,24	18,10	17,90	15,47	13,24	11,47	10,06		
Volume (L)	Área de Captação = 300 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	67,32	43,54	32,63	30,85	29,47	18,89	18,03	17,32	16,65	16,15	29,08	16,24
1000	85,68	63,95	49,38	40,12	38,05	29,15	27,73	26,46	25,11	24,29	40,99	20,17
2000	96,32	82,00	66,45	57,94	50,49	43,27	36,40	34,28	32,37	30,89	53,04	22,52
3000	98,96	90,60	78,53	66,90	59,59	52,78	46,59	40,53	37,96	35,86	60,83	22,41
5000	99,78	97,04	89,48	79,53	71,01	63,26	57,23	51,55	46,37	43,57	69,88	20,80
7000	100,00	99,03	94,47	86,96	78,24	70,43	64,21	57,96	52,64	49,06	75,30	19,25
10000	100,00	99,72	97,70	92,87	85,54	77,82	70,94	64,77	59,35	54,67	80,34	17,27
Média (%)	92,58	82,27	72,66	65,02	58,91	50,80	45,88	41,84	38,64	36,36		
Desvio Padrão (%)	12,27	21,25	24,51	23,48	20,83	21,67	19,53	17,21	15,23	13,74		
Volume (L)	Área de Captação = 400 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	68,34	44,61	33,41	32,18	30,98	19,73	19,18	18,53	17,86	17,44	30,23	16,19
1000	86,65	65,53	51,06	41,89	40,16	30,82	29,84	28,64	27,45	26,46	42,85	19,81
2000	96,74	84,00	68,94	60,99	53,50	46,14	39,04	37,12	35,52	33,90	55,59	21,83
3000	99,03	91,98	81,22	70,16	63,31	56,63	50,48	43,89	41,95	39,95	63,86	21,21
5000	99,78	97,74	91,55	83,29	75,93	68,36	62,64	57,03	51,75	48,86	73,69	18,86
7000	100,00	99,22	95,96	90,45	83,41	75,89	70,20	63,85	58,88	55,51	79,34	16,87
10000	100,00	99,77	98,65	95,27	90,52	83,81	77,66	71,91	67,00	62,41	84,70	14,24
Média (%)	92,94	83,26	74,40	67,75	62,54	54,48	49,86	45,85	42,92	40,65		
Desvio Padrão (%)	11,85	20,90	24,66	24,15	22,27	23,64	21,64	19,37	17,49	16,06		
Volume (L)	Área de Captação = 500 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	68,98	45,48	34,13	32,97	31,90	20,38	19,82	19,36	18,66	18,38	31,01	16,16
1000	87,19	66,80	52,40	43,04	41,41	32,02	30,87	30,09	29,03	28,33	44,12	19,56
2000	97,00	85,11	70,28	62,97	55,52	48,17	40,43	39,15	37,66	36,34	57,26	21,28
3000	99,05	92,74	82,88	72,32	65,61	59,26	52,68	46,42	44,49	42,76	65,82	20,39
5000	99,78	97,99	92,49	85,49	78,53	71,39	65,69	60,64	55,23	52,78	76,00	17,49
7000	100,00	99,30	96,74	92,04	86,17	79,51	74,05	68,01	62,95	59,86	81,86	15,19
10000	100,00	99,78	98,99	96,40	92,68	87,55	81,87	76,50	71,83	67,55	87,32	12,21
Média (%)	93,14	83,89	75,42	69,32	64,55	56,90	52,20	48,60	45,69	43,71		
Desvio Padrão (%)	11,60	20,56	24,56	24,40	22,87	24,82	23,03	20,78	18,91	17,53		

Fonte: autora (2023).

Figura 10 – Variações relativas das eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Pelotas, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório



Fonte: autora (2023).

Percebe-se que, para uma dada área de captação constante, existe tendência a redução da variação relativa da eficiência ao atendimento à demanda para um aumento do volume de armazenamento, considerada uma demanda constante. Para áreas maiores, o sistema começa a mostrar tendência a elevação da variação da eficiência com aumento da demanda para um volume de armazenamento e área de captação constante, quando utilizado no sistema de aproveitamento volumes maiores de reservatório. Quando analisadas as variações em relação a alterações da área de captação, considerado volume de armazenamento e demanda constante,

nota-se que ocorre, em geral, uma tendência de aumento na variação relativa da eficiência com o aumento da área de captação.

Na Tabela 5 são descritas as eficiências no atendimento à demanda para cidade de Passo Fundo, escolhida como representante da região Noroeste Rio-Grandense. As simulações mostraram uma eficiência de 10,44% no atendimento à demanda na situação mais crítica (área de 70 m², reservatório de 500 L e demanda de 1000 L/dia). Para a mesma demanda a eficiência aumentou para 80,15% quando a simulação considerou um sistema de aproveitamento pluvial com uma área de 500 m² e um reservatório de 10000 L. Eficiências máximas foram alcançadas nas demandas de 100 L/dia e 200 L/dia. Na demanda de 100 L/dia, o resultado máximo foi obtido com utilização de uma área de captação de 70 m² e um reservatório de 5000 L, enquanto na demanda de 200 L/dia, foi possível alcançar o máximo desempenho do sistema com uma área de 150 m² e um reservatório de 10000 L. Para a demanda de 300 L/dia, foram observadas eficiências acima de 90% quando empregados área de captação de 100 m² e volume do reservatório de 10000 L.

Na Figura 11 são descritas as variações relativas da eficiência para as diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório considerados nas simulações. Semelhantemente ao que se identificou para as demais estações pluviométricas avaliadas, o comportamento para a cidade de Passo Fundo mostra tendência a maior variação da eficiência no atendimento à demanda, em relação à eficiência observada para o volume anterior, quando se aumenta a área de captação para um dado volume de reservatório e demanda constante analisados. Nesse caso, as variações percebidas são menores quando as áreas de captação aumentam acima de 300 m².

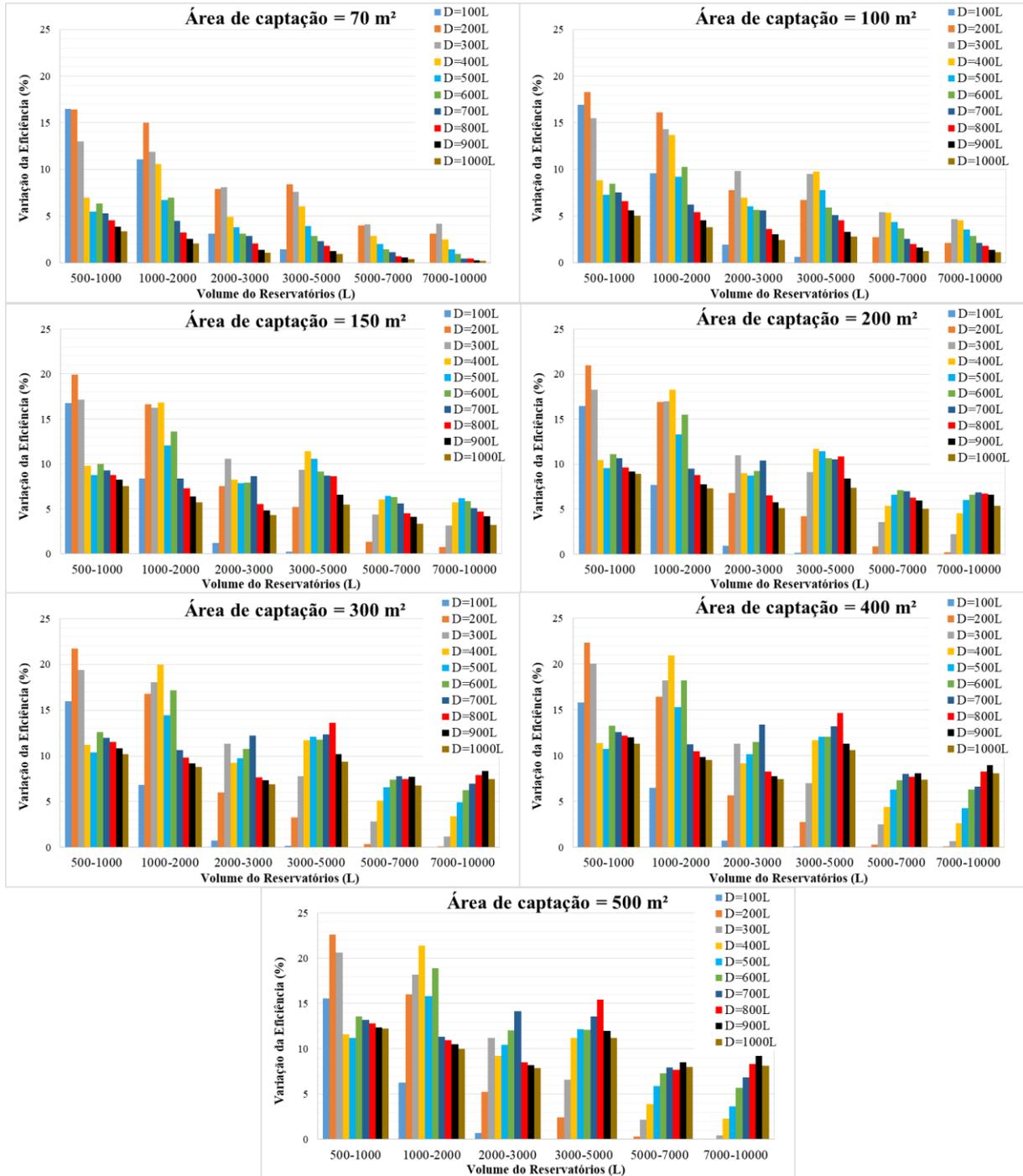
Já a tendência de variação da eficiência em relação às alterações de demanda não está bem definida, havendo aumento da variação para algumas áreas e volumes e diminuição dessa variação para parte dos volumes de armazenamento e áreas consideradas. Em geral, quando se analisam áreas maiores e volumes de reservatórios maiores (análise para um dado valor constate de área e volume) as variações da eficiência tendem a crescer com o aumento da demanda de água.

Tabela 5 – Eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Passo Fundo, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório

PASSO FUNDO												
Demanda (L/dia)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000		
Volume (L)	Área de Captação = 70 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	67,97	42,28	29,92	26,35	23,10	15,22	14,04	12,93	11,57	10,44	25,38	18,04
1000	84,43	58,70	42,91	33,32	28,59	21,59	19,33	17,44	15,43	13,77	33,55	22,75
2000	95,49	73,68	54,812	43,91	35,31	28,58	23,81	20,69	17,96	15,83	41,01	26,45
3000	98,57	81,56	62,894	48,81	39,08	31,68	26,65	22,72	19,33	16,89	44,82	27,96
5000	100,00	89,94	70,511	54,85	43,01	34,55	28,96	24,53	20,58	17,82	48,47	29,43
7000	100,00	93,91	74,61	57,68	44,99	35,98	30,05	25,22	21,11	18,20	50,18	30,13
10000	100,00	97,03	78,759	60,19	46,42	36,94	30,52	25,64	21,37	18,37	51,52	30,90
Média (%)	92,35	76,73	59,20	46,44	37,21	29,22	24,77	21,31	18,19	15,90		
Desvio Padrão (%)	12,12	20,11	17,81	12,74	8,75	8,11	6,16	4,69	3,59	2,90		
Volume (L)	Área de Captação = 100 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	70,98	45,75	33,07	29,57	27,30	17,99	16,83	15,37	14,39	13,61	28,48	18,15
1000	87,89	64,02	48,57	38,38	34,60	26,47	24,34	21,97	19,98	18,64	38,49	22,52
2000	97,44	80,15	62,89	52,04	43,81	36,72	30,57	27,41	24,51	22,45	47,80	25,37
3000	99,40	87,95	72,73	58,99	49,83	42,38	36,19	31,05	27,58	24,89	53,10	26,30
5000	100,00	94,66	82,28	68,75	57,58	48,32	41,30	35,61	30,90	27,68	58,71	26,53
7000	100,00	97,41	87,72	74,08	61,95	51,97	43,84	37,59	32,53	28,91	61,60	26,86
10000	100,00	99,52	92,42	78,64	65,50	54,86	45,97	39,40	33,92	30,05	64,03	27,19
Média (%)	93,67	81,35	68,53	57,21	48,65	39,82	34,15	29,77	26,26	23,75		
Desvio Padrão (%)	10,92	19,91	21,73	18,37	14,25	13,65	10,79	8,79	7,13	5,97		
Volume (L)	Área de Captação = 150 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	73,38	48,54	36,09	33,36	30,80	20,51	19,23	18,34	17,29	16,58	31,41	18,07
1000	90,16	68,49	53,27	43,15	39,58	30,53	28,51	27,12	25,54	24,13	43,05	21,78
2000	98,52	85,15	69,55	60,01	51,64	44,13	36,87	34,37	31,90	29,84	54,20	23,77
3000	99,77	92,70	80,15	68,29	59,51	52,04	45,50	39,91	36,72	34,14	60,87	23,58
5000	100,00	97,91	89,50	79,70	70,11	61,18	54,23	48,56	43,28	39,60	68,41	22,49
7000	100,00	99,25	93,86	85,75	76,55	67,49	59,81	53,04	47,39	42,95	72,61	21,57
10000	100,00	100,00	97,03	91,50	82,71	73,33	64,92	57,77	51,59	46,17	76,50	20,62
Média (%)	94,55	84,58	74,21	65,96	58,70	49,89	44,15	39,87	36,25	33,34		
Desvio Padrão (%)	10,00	19,39	22,69	21,82	19,23	16,82	14,29	12,26	10,60			
Volume (L)	Área de Captação = 200 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	74,73	50,02	37,60	35,26	33,34	21,94	20,61	19,96	19,13	18,37	33,10	17,98
1000	91,17	70,98	55,84	45,75	42,88	33,07	31,30	29,57	28,29	27,30	45,62	21,31
2000	98,87	87,89	72,85	64,02	56,19	48,57	40,81	38,38	36,08	34,60	57,83	22,66
3000	99,82	94,67	83,84	73,00	64,95	57,85	51,23	44,92	41,85	39,73	65,19	21,93
5000	100,00	98,89	92,98	84,72	76,40	68,49	61,73	55,76	50,27	47,10	73,63	19,93
7000	100,00	99,78	96,55	90,13	83,04	75,64	68,70	62,01	56,22	52,17	78,43	18,14
10000	100,00	100,00	98,81	94,66	89,05	82,28	75,57	68,75	62,81	57,58	82,95	16,03
Média (%)	94,94	86,03	76,92	69,65	63,69	55,41	49,99	45,62	42,09	39,55		
Desvio Padrão (%)	9,48	18,94	23,01	22,61	20,78	22,26	20,17	17,68	15,54	13,93		
Volume (L)	Área de Captação = 300 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	76,29	51,64	39,11	37,35	36,01	23,46	22,67	21,84	21,24	20,63	35,02	17,82
1000	92,23	73,38	58,50	48,54	46,40	36,09	34,63	33,36	32,04	30,80	48,60	20,54
2000	99,09	90,16	76,55	68,49	60,85	53,27	45,29	43,15	41,25	39,58	61,77	21,26
3000	99,85	96,20	87,89	77,71	70,63	64,02	57,50	50,78	48,57	46,47	69,96	19,81
5000	100,00	99,50	95,69	89,40	82,72	75,77	69,86	64,37	58,75	55,86	79,19	16,72
7000	100,00	99,87	98,52	94,52	89,30	83,21	77,63	71,82	66,48	62,65	84,40	14,18
10000	100,00	100,00	99,70	97,91	94,23	89,50	84,62	79,70	74,84	70,11	89,06	11,19
Média (%)	95,35	87,25	79,42	73,42	68,59	60,76	56,03	52,15	49,03	46,58		
Desvio Padrão (%)	8,87	18,35	23,03	23,32	22,00	24,57	22,96	21,02	19,09	17,65		
Volume (L)	Área de Captação = 400 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	76,87	52,37	40,06	38,63	37,47	24,33	23,68	23,05	22,27	22,00	36,07	17,65
1000	92,67	74,73	60,12	50,02	48,21	37,60	36,29	35,26	34,28	33,34	50,25	20,06
2000	99,15	91,17	78,36	70,98	63,51	55,84	47,54	45,75	44,18	42,88	63,94	20,38
3000	99,90	96,83	89,66	80,14	73,70	67,32	60,92	54,05	51,97	50,33	72,48	18,59
5000	100,00	99,59	96,66	91,80	85,79	79,39	74,16	68,74	63,31	60,92	82,04	14,89
7000	100,00	99,90	99,15	96,22	92,12	86,69	82,18	76,45	71,39	68,34	87,24	12,11
10000	100,00	100,00	99,85	98,89	96,40	92,98	88,82	84,72	80,37	76,40	91,84	8,81
Média (%)	95,51	87,80	80,55	75,24	71,03	63,45	59,08	55,43	52,54	50,60		
Desvio Padrão (%)	8,65	18,04	22,81	23,42	22,42	25,62	24,34	22,46	20,68	19,42		
Volume (L)	Área de Captação = 500 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	77,35	53,29	40,62	39,64	38,23	25,06	24,34	23,90	23,27	22,69	36,84	17,58
1000	92,95	75,92	61,23	51,26	49,44	38,63	37,55	36,71	35,65	34,93	51,43	19,77
2000	99,22	91,93	79,41	72,67	65,25	57,55	48,92	47,64	46,13	44,91	65,36	19,82
3000	99,93	97,20	90,61	81,88	75,71	69,58	63,09	56,16	54,36	52,80	74,13	17,77
5000	100,00	99,63	97,23	93,11	87,89	81,71	76,65	71,62	66,35	64,02	83,82	13,73
7000	100,00	99,93	99,40	97,00	93,78	89,03	84,60	79,32	74,89	72,00	89,00	10,73
10000	100,00	100,00	99,85	99,30	97,44	94,72	91,45	87,64	84,10	80,15	93,47	7,31
Média (%)	95,64	88,27	81,19	76,41	72,53	65,18	60,95	57,57	54,96	53,07		
Desvio Padrão (%)	8,47	17,66	22,63	23,29	22,66	26,16	25,08	23,25	21,73	20,54		

Fonte: autora (2023).

Figura 11 – Variações relativas das eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Passo Fundo, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório



Fonte: autora (2023).

Na Tabela 6 são descritos os resultados das simulações realizadas para a estação pluviométrica da cidade de Santa Maria, representante da região Centro Ocidental Rio-Grandense. Já na Tabela 7 são apresentadas as variações relativas das eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Santa Maria, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório.

Tabela 6 – Eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Santa Maria, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório

SANTA MARIA												
Demanda (L/dia)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000		
Volume (L)	Área de Captação = 70 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	63,85	40,19	29,42	26,12	23,51	16,63	15,24	14,07	12,92	12,03	25,40	16,20
1000	81,10	55,80	41,34	32,42	28,45	22,50	20,34	18,32	16,38	15,10	33,17	21,10
2000	94,40	69,70	52,255	41,84	34,31	28,66	24,00	21,10	18,67	16,90	40,18	25,29
3000	98,12	77,04	58,361	45,76	37,57	31,57	26,84	22,83	19,90	17,86	43,58	26,73
5000	99,96	84,98	65,015	50,99	41,16	34,03	28,87	24,49	21,00	18,63	46,91	28,10
7000	100,00	89,55	68,689	53,34	42,55	34,92	29,45	24,93	21,35	18,87	48,37	28,91
10000	100,00	93,27	71,369	54,91	43,42	35,46	29,78	25,19	21,55	19,01	49,39	29,62
Média (%)	91,06	72,93	55,21	43,62	35,85	29,11	24,93	21,56	18,82	16,91		
Desvio Padrão (%)	13,78	19,27	15,36	10,92	7,56	7,12	5,46	4,12	3,18	2,56		
Volume (L)	Área de Captação = 100 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	66,92	43,14	31,73	29,17	27,00	18,73	17,66	16,58	15,88	14,92	28,17	16,34
1000	84,23	60,73	45,98	36,82	33,38	26,25	24,43	22,63	21,18	19,81	37,54	20,84
2000	96,37	76,82	59,71	49,93	42,08	35,70	30,08	27,36	25,15	23,14	46,63	24,42
3000	99,03	85,16	68,56	56,02	47,21	40,61	35,18	30,59	27,68	25,27	51,53	25,39
5000	100,00	93,14	77,06	63,51	53,20	45,50	39,48	34,57	30,72	27,66	56,48	26,04
7000	100,00	96,82	82,44	68,10	56,96	48,56	42,06	36,40	32,27	28,80	59,24	26,42
10000	100,00	99,40	87,45	72,44	60,15	50,91	43,61	37,67	33,23	29,45	61,43	26,96
Média (%)	92,37	79,32	64,70	53,71	45,71	38,04	33,22	29,40	26,59	24,15		
Desvio Padrão (%)	12,57	20,80	20,26	16,13	12,31	11,94	9,65	7,74	6,33	5,30		
Volume (L)	Área de Captação = 150 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	68,95	45,35	34,24	31,81	30,00	20,67	19,60	18,81	18,00	17,54	30,50	16,30
1000	86,19	64,49	50,08	40,66	37,94	29,90	28,25	26,72	25,43	24,26	41,39	20,27
2000	97,46	81,81	66,02	56,74	49,13	42,32	35,98	33,27	31,32	29,49	52,36	23,13
3000	99,42	90,51	76,82	64,66	56,65	49,93	43,94	38,36	35,70	33,22	58,92	23,39
5000	100,00	97,27	87,00	75,43	65,85	57,67	51,21	45,68	41,25	37,86	65,92	23,02
7000	100,00	99,12	92,35	81,25	71,16	62,43	55,46	49,34	44,65	40,71	69,65	22,54
10000	100,00	99,99	96,31	86,95	76,53	67,55	59,85	53,41	48,24	43,61	73,24	21,78
Média (%)	93,15	82,65	71,83	62,50	55,32	47,21	42,04	37,94	34,94	32,39		
Desvio Padrão (%)	11,78	20,69	23,08	20,71	17,30	17,27	14,81	12,53	10,82	9,32		
Volume (L)	Área de Captação = 200 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	70,14	46,90	35,17	33,57	31,80	21,62	20,96	20,15	19,49	18,79	31,86	16,30
1000	87,42	66,92	52,19	43,14	40,25	31,73	30,38	29,17	28,16	27,00	43,64	19,97
2000	98,05	84,23	68,99	60,73	52,95	45,98	39,12	36,82	35,13	33,38	55,54	22,27
3000	99,62	92,43	80,64	69,41	61,54	55,04	48,87	43,14	40,58	38,32	62,96	21,94
5000	100,00	98,26	90,95	81,32	72,45	64,79	58,65	53,27	48,25	45,00	71,30	20,52
7000	100,00	99,50	95,76	88,00	79,20	71,13	64,48	58,15	53,16	49,01	75,84	19,43
10000	100,00	100,00	98,54	93,14	85,20	77,06	69,92	63,51	58,14	53,20	79,87	18,02
Média (%)	93,61	84,04	74,61	67,04	60,48	52,48	47,48	43,46	40,42	37,81		
Desvio Padrão (%)	11,31	20,16	23,85	22,59	19,98	20,55	18,19	15,84	13,87	12,33		
Volume (L)	Área de Captação = 300 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	71,59	48,11	36,87	35,15	33,86	23,06	22,28	21,69	21,05	20,59	33,43	16,24
1000	88,90	68,95	54,91	45,35	43,26	34,24	32,78	31,81	30,80	30,00	46,10	19,60
2000	98,52	86,19	72,28	64,49	57,07	50,08	42,45	40,66	39,21	37,94	58,89	21,18
3000	99,78	93,92	84,23	73,66	66,86	60,73	54,32	48,11	45,98	44,15	67,17	20,17
5000	100,00	98,91	93,83	86,56	79,23	72,07	66,41	60,96	55,77	53,26	76,70	17,62
7000	100,00	99,78	97,79	93,08	86,57	79,78	73,92	67,76	62,98	59,59	82,12	15,53
10000	100,00	100,00	99,36	97,27	92,77	87,00	81,08	75,43	70,48	65,85	86,93	12,99
Média (%)	94,11	85,12	77,04	70,80	65,66	58,14	53,32	49,49	46,61	44,48		
Desvio Padrão (%)	10,72	19,73	23,76	23,85	22,15	23,69	21,88	19,60	17,70	16,25		
Volume (L)	Área de Captação = 400 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	72,24	48,95	37,48	36,42	35,06	23,55	23,09	22,77	22,20	21,61	34,34	16,16
1000	89,78	70,14	56,05	46,90	44,96	35,17	34,31	33,57	32,64	31,80	47,53	19,34
2000	98,81	87,42	73,71	66,92	59,58	52,19	44,59	43,14	41,53	40,25	60,82	20,55
3000	99,90	94,74	85,66	75,88	69,60	63,38	57,18	50,80	48,92	47,29	69,34	19,20
5000	100,00	99,19	94,89	88,63	82,40	75,59	70,38	65,32	60,07	57,52	79,40	15,97
7000	100,00	99,86	98,47	94,60	89,71	83,66	78,69	72,72	68,05	64,96	85,07	13,43
10000	100,00	100,00	99,61	98,26	95,48	90,95	86,12	81,32	77,00	72,45	90,12	10,32
Média (%)	94,39	85,76	77,98	72,52	68,11	60,64	56,34	52,81	50,06	47,98		
Desvio Padrão (%)	10,46	19,43	23,71	23,85	22,81	25,09	23,50	21,35	19,59	18,24		
Volume (L)	Área de Captação = 500 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	72,79	49,63	37,99	37,02	36,19	24,08	23,56	23,27	22,88	22,58	35,00	16,14
1000	90,33	71,12	56,95	47,68	46,37	36,17	35,25	34,51	33,74	33,30	48,54	19,18
2000	98,97	88,35	74,68	68,22	61,42	53,85	45,74	44,54	43,20	42,25	62,12	20,11
3000	99,92	95,37	86,65	77,21	71,55	65,39	59,20	52,50	50,88	49,67	70,84	18,52
5000	100,00	99,33	95,45	89,75	84,23	77,75	72,74	67,75	62,64	60,73	81,04	14,89
7000	100,00	99,92	98,77	95,44	91,21	85,87	81,36	75,64	70,96	68,68	86,79	12,10
10000	100,00	100,00	99,73	98,68	96,37	92,98	88,98	84,65	80,55	76,82	91,87	8,67
Média (%)	94,57	86,25	78,60	73,43	69,62	62,30	58,12	54,70	52,12	50,57		
Desvio Padrão (%)	10,24	19,17	23,58	23,87	22,82	25,69	24,42	22,40	20,61	19,46		

Fonte: autora (2023).

Tabela 7 – Variações relativas das eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Santa Maria, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório

Variação da eficiência no atendimento à demanda (%)										
Área de Captação = 70 m²										
V(L)/ D(L)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
500-1000	17,24	15,61	11,92	6,30	4,94	5,87	5,10	4,25	3,46	3,07
1000-2000	13,31	13,90	10,92	9,41	5,86	6,16	3,66	2,78	2,29	1,80
2000-3000	3,71	7,35	6,11	3,92	3,27	2,92	2,84	1,73	1,23	0,95
3000-5000	1,84	7,94	6,65	5,23	3,58	2,46	2,03	1,66	1,10	0,77
5000-7000	0,04	4,58	3,67	2,35	1,40	0,89	0,59	0,44	0,35	0,24
7000-10000	0,00	3,71	2,68	1,57	0,86	0,54	0,33	0,26	0,20	0,14
Área de Captação = 100 m²										
V(L)/ D(L)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
500-1000	17,31	17,58	14,25	7,65	6,38	7,52	6,77	6,05	5,29	4,89
1000-2000	12,13	16,09	13,73	13,11	8,71	9,45	5,65	4,73	3,97	3,33
2000-3000	2,67	8,34	8,85	6,09	5,12	4,90	5,10	3,23	2,52	2,13
3000-5000	0,97	7,97	8,50	7,49	5,99	4,89	4,30	3,97	3,05	2,39
5000-7000	0,00	3,69	5,39	4,59	3,77	3,06	2,58	1,83	1,54	1,14
7000-10000	0,00	2,58	5,01	4,34	3,19	2,35	1,56	1,27	0,97	0,65
Área de Captação = 150 m²										
V(L)/D(L)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
500-1000	17,24	19,14	15,85	8,85	7,94	9,23	8,65	7,91	7,43	6,72
1000-2000	11,27	17,32	15,94	16,08	11,19	12,42	7,73	6,55	5,90	5,23
2000-3000	1,96	8,69	10,80	7,92	7,52	7,61	7,96	5,09	4,38	3,73
3000-5000	0,58	6,76	10,18	10,77	9,20	7,74	7,27	7,32	5,54	4,64
5000-7000	0,00	1,86	5,35	5,82	5,31	4,76	4,25	3,66	3,40	2,85
7000-10000	0,00	0,86	3,96	5,70	5,37	5,12	4,39	4,07	3,60	2,90
Área de Captação = 200 m²										
V(L)/ D(L)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
500-1000	17,28	20,03	17,02	9,57	8,46	10,11	9,43	9,02	8,67	8,21
1000-2000	10,63	17,31	16,80	17,58	12,69	14,25	8,73	7,65	6,97	6,38
2000-3000	1,57	8,20	11,65	8,68	8,59	9,06	9,75	6,33	5,45	4,94
3000-5000	0,38	5,83	10,32	11,91	10,92	9,75	9,78	10,13	7,67	6,68
5000-7000	0,00	1,24	4,81	6,68	6,75	6,34	5,83	4,88	4,90	4,01
7000-10000	0,00	0,50	2,77	5,14	6,00	5,92	5,44	5,36	4,98	4,18
Área de Captação = 300 m²										
V(L)/ D(L)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
500-1000	17,31	20,84	18,04	10,20	9,40	11,18	10,50	10,12	9,75	9,41
1000-2000	9,62	17,24	17,37	19,14	13,81	15,85	9,67	8,85	8,41	7,94
2000-3000	1,26	7,73	11,95	9,16	9,79	10,64	11,87	7,45	6,77	6,21
3000-5000	0,22	4,99	9,60	12,90	12,37	11,35	12,09	12,85	9,79	9,11
5000-7000	0,00	0,86	3,96	6,52	7,35	7,70	7,50	6,80	7,20	6,33
7000-10000	0,00	0,22	1,57	4,18	6,20	7,23	7,16	7,67	7,50	6,26
Área de Captação = 400 m²										
V(L)/ D(L)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
500-1000	17,53	21,19	18,56	10,47	9,90	11,62	11,22	10,80	10,45	10,18
1000-2000	9,03	17,28	17,66	20,03	14,62	17,02	10,29	9,57	8,89	8,46
2000-3000	1,09	7,32	11,95	8,96	10,03	11,19	12,59	7,66	7,39	7,03
3000-5000	0,10	4,45	9,23	12,75	12,80	12,21	13,19	14,51	11,15	10,24
5000-7000	0,00	0,67	3,58	5,97	7,31	8,07	8,31	7,40	7,97	7,44
7000-10000	0,00	0,14	1,14	3,66	5,77	7,30	7,43	8,60	8,96	7,49
Área de Captação = 500 m²										
V(L)/ D(L)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
500-1000	17,53	21,49	18,96	10,65	10,18	12,09	11,69	11,24	10,86	10,72
1000-2000	8,64	17,23	17,73	20,54	15,05	17,68	10,50	10,03	9,45	8,96
2000-3000	0,95	7,02	11,98	8,99	10,13	11,54	13,45	7,96	7,69	7,41
3000-5000	0,08	3,96	8,80	12,54	12,68	12,35	13,54	15,24	11,75	11,06
5000-7000	0,00	0,59	3,32	5,69	6,98	8,12	8,62	7,90	8,33	7,95
7000-10000	0,00	0,08	0,95	3,24	5,15	7,11	7,62	9,01	9,58	8,14

Fonte: Autora (2023).

A eficiência no atendimento à demanda do sistema de aproveitamento pluvial observada para a situação mais crítica (área de 70 m², reservatório de 500 L e demanda de 1000 L/dia) foi de 12,03%. Para essa mesma demanda de 1000 L/dia, alcançou-se eficiência máxima de 76,82% quando simulada uma configuração do sistema de aproveitamento pluvial composta por área de 500 m² e volume do reservatório de 10000 L. Eficiências de 100% foram obtidas para simulações com demandas de 100 e 200 L/dia. Na demanda de 100 L/dia, a máxima eficiência foi atingida quando se empregou uma área de 70 m² e reservatório de 7000 L, enquanto na demanda de 200 L/dia, a máxima eficiência foi obtida com uma área de 200 m² e volume de reservatório de 10000 L.

De modo geral, o comportamento da eficiência no atendimento à demanda do sistema de aproveitamento pluvial foi semelhante para todas as demandas avaliadas, mostrando elevação da eficiência para um aumento da área (considerado um volume constante) e para um aumento do volume (considerada uma área constante) (SEEGGER, 2008). A variação relativa da eficiência, por sua vez, decresce com o aumento da área a um volume constante, isto é, os incrementos na eficiência ao atendimento tornam-se menos expressivo na medida em que se aumenta a área de captação sem alterar o reservatório; possivelmente, em razão de que não há volume suficiente para armazenar a água captada da área de cobertura. Em contrapartida, quando se aumenta o volume para uma área constante não é possível definir um padrão de comportamento para a variação da eficiência para as diferentes demandas avaliadas, observando-se elevações e reduções das variações relativas da eficiência, conforme a demanda é alterada para uma dada área constante e para um aumento de volume do reservatório.

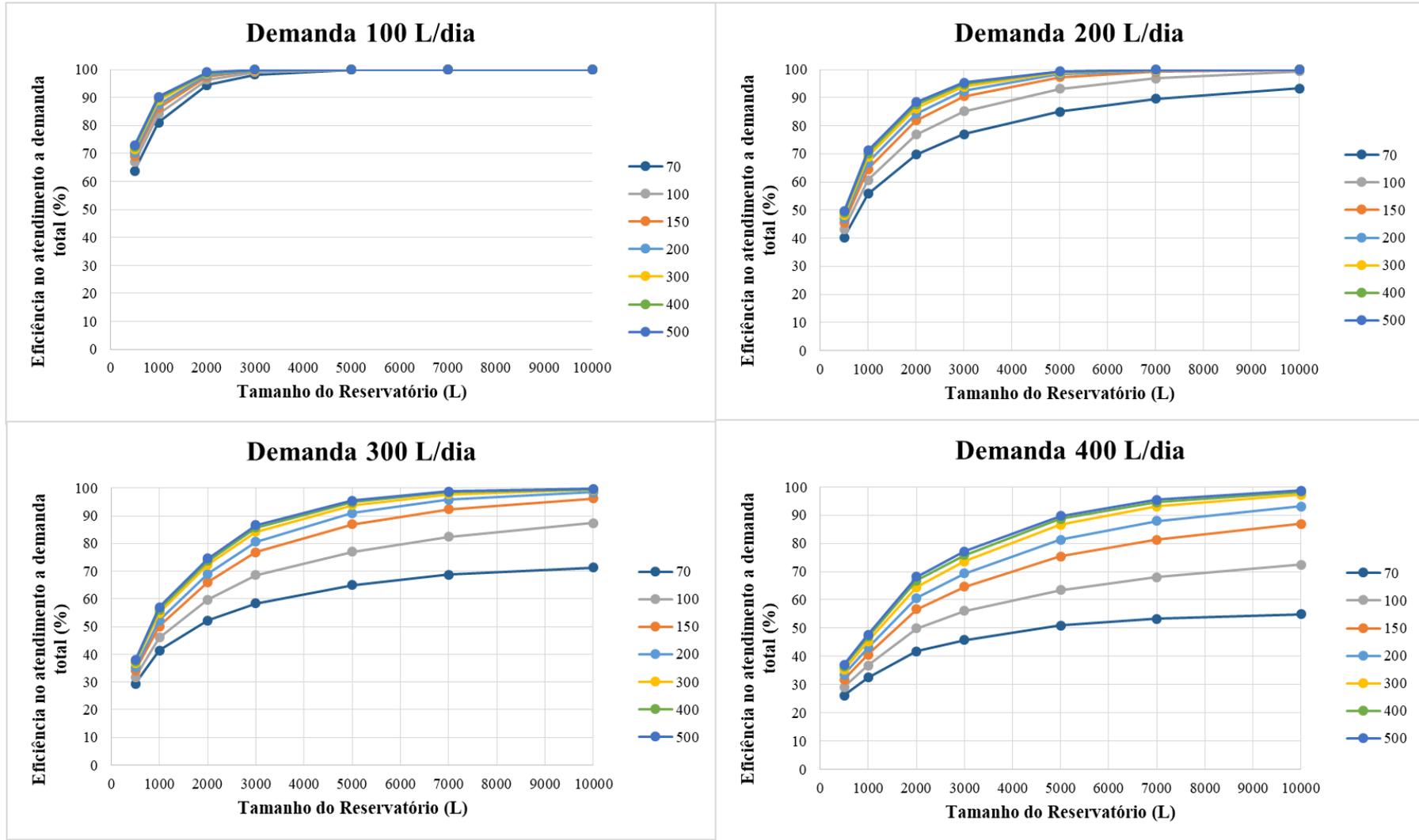
Uma outra forma de visualizar os resultados da cidade de Santa Maria são apresentados na Figura 12 a 14, que apresentam graficamente o comportamento da eficiência dos sistemas para a cidade de Santa Maria. Um reservatório ideal, considerando todas as variáveis do sistema, pode ser selecionado para cada demanda, tendo em vista que a partir de um determinado volume de reservatório, considerando a área constante, os valores de eficiência tendem a ser lineares. Desta forma, de nada adianta aumentar o volume de reservatório se não há área suficiente para captar, ou então se não há volume pluviométrico. Assim, a determinação do volume ideal do reservatório para o sistema em Santa Maria é influenciada pela variação relativa de eficiência, que desempenha um papel crucial na identificação do volume ideal do reservatório, indicando quão significativo pode ser um incremento no armazenamento para o sistema. Dessa forma, conduziu-se uma análise integrada dos gráficos com variação linear para orientar a escolha do reservatório mais adequado para cada demanda. Nesse contexto, variações superiores a 10% em relação ao reservatório anterior foram consideradas como critério

relevante, fundamentando a opção por reservatórios de maior capacidade. Essa abordagem visa otimizar a eficácia do sistema, garantindo um equilíbrio entre volume de armazenamento, eficiência operacional e custo.

Dito isso, para as demandas de 100 L/dia e 200 L/dia o reservatório ideal selecionado é o de 2000 L. Já, para todas as outras demandas do estudo, de 300 L/dia a 1000 L/dia, o reservatório ideal é o de 5000 L.

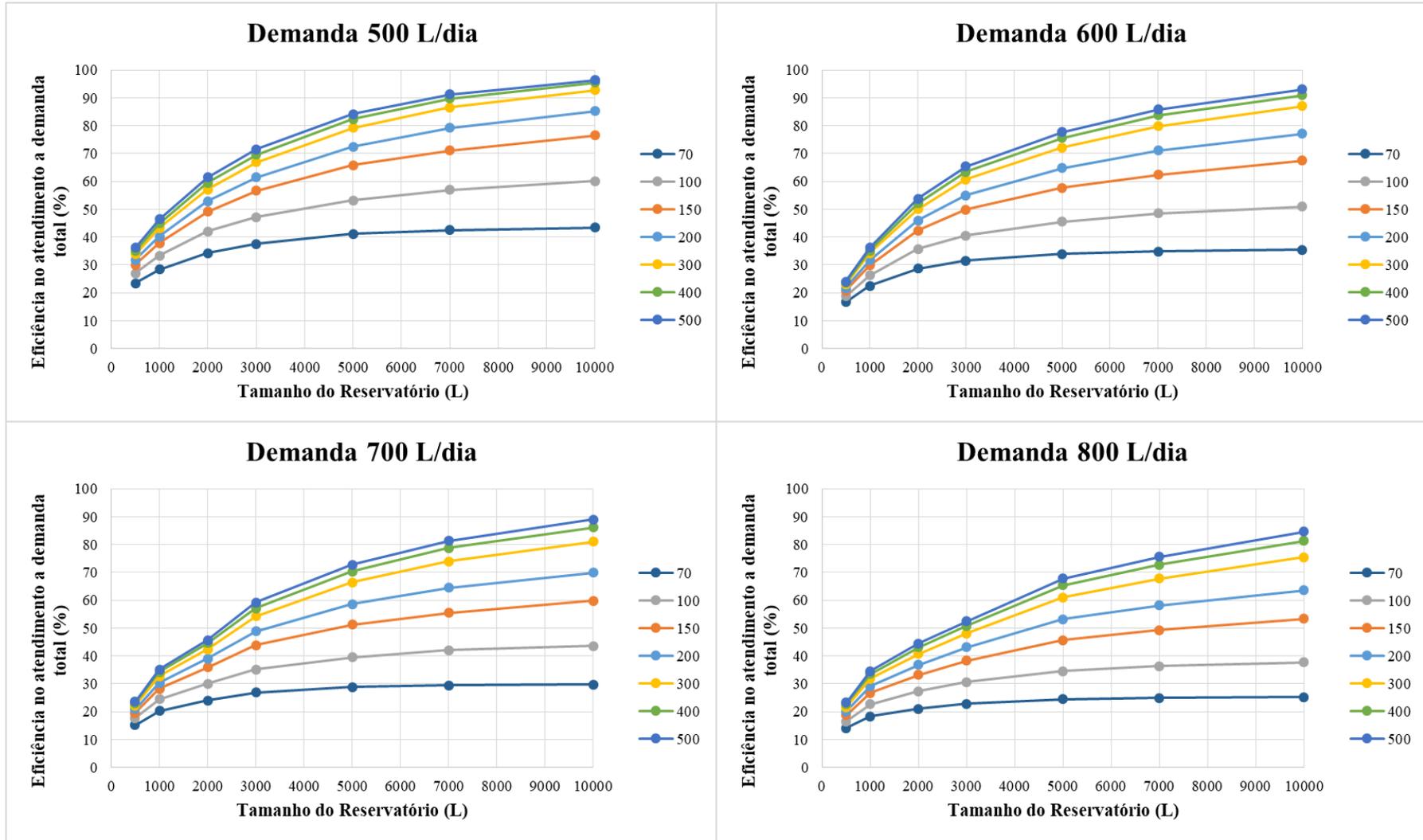
Na Tabela 8 são apresentados os resultados de eficiência no atendimento à demanda total, para a estação pluviométrica de Santa Cruz do Sul, cidade escolhida para representar a região Centro Oriental Rio-Grandense. A eficiência no atendimento à demanda variou de 6,57%, na situação mais crítica (demanda de 1000 L/dia, área de captação de 70 m² e volume do reservatório de 500 L) até 100% para a demanda de 100 L/dia, área de captação de 70 m² e volume do reservatório de 10000 L. Para todas as demais áreas de captação avaliadas no estudo, foram alcançados resultados de 100% de eficiência na demanda de 100 L/dia associada a volumes de reservatório de 7000 L. Eficiências máximas foram observadas apenas na demanda de 100 L/dia, para o reservatório de 7000 L, na área de 70 m², e 10000 L, em todas as áreas do estudo. Contudo, resultados superiores a 90% de eficiência foram alcançados até a demanda de 500 L/dia, com uma área de 400 m² e reservatórios de 10000 L. Na maior demanda simulada no estudo (1000 L), a eficiência máxima observada foi de 67,9%, obtida para simulações com uma área de captação de 500 m² e um reservatório de 10000 L.

Figura 12 – Eficiência no atendimento à demanda para Santa Maria, considerando diferentes áreas de captação e volume do reservatório, para as demandas de 100 a 400 L/dia



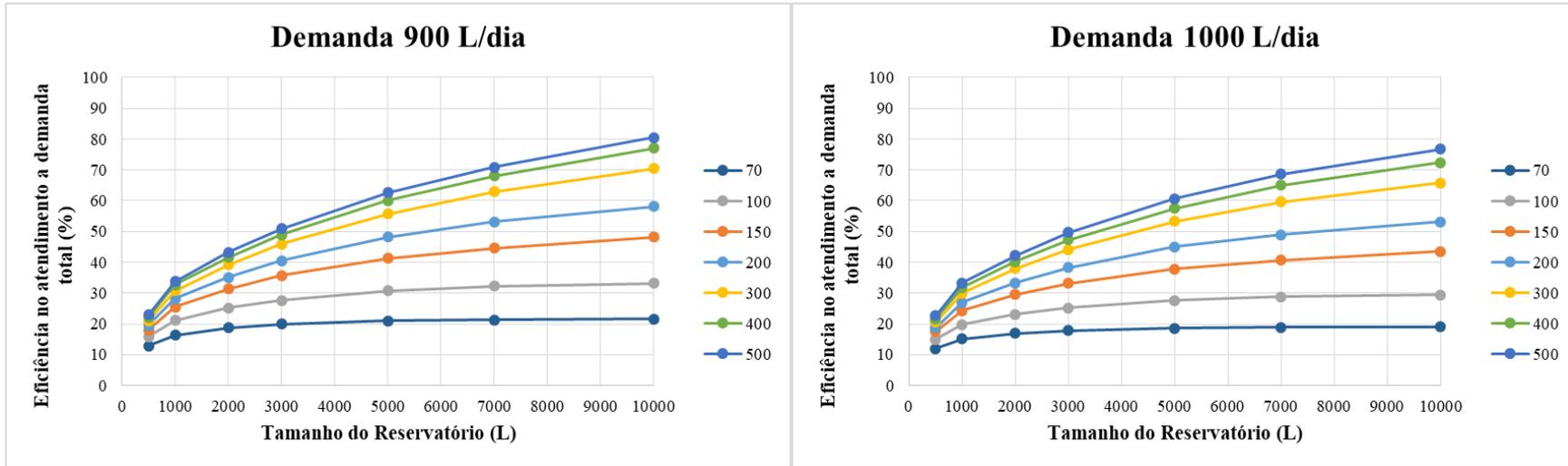
Fonte: autora (2023).

Figura 13 – Eficiência no atendimento à demanda para Santa Maria, considerando diferentes áreas de captação e volume do reservatório, para as demandas de 500 a 800 L/dia



Fonte: autora (2023).

Figura 14 – Eficiência no atendimento à demanda para Santa Maria, considerando diferentes áreas de captação e volume do reservatório, para as demandas de 900 e 1000 L/dia



Fonte: Autora (2023).

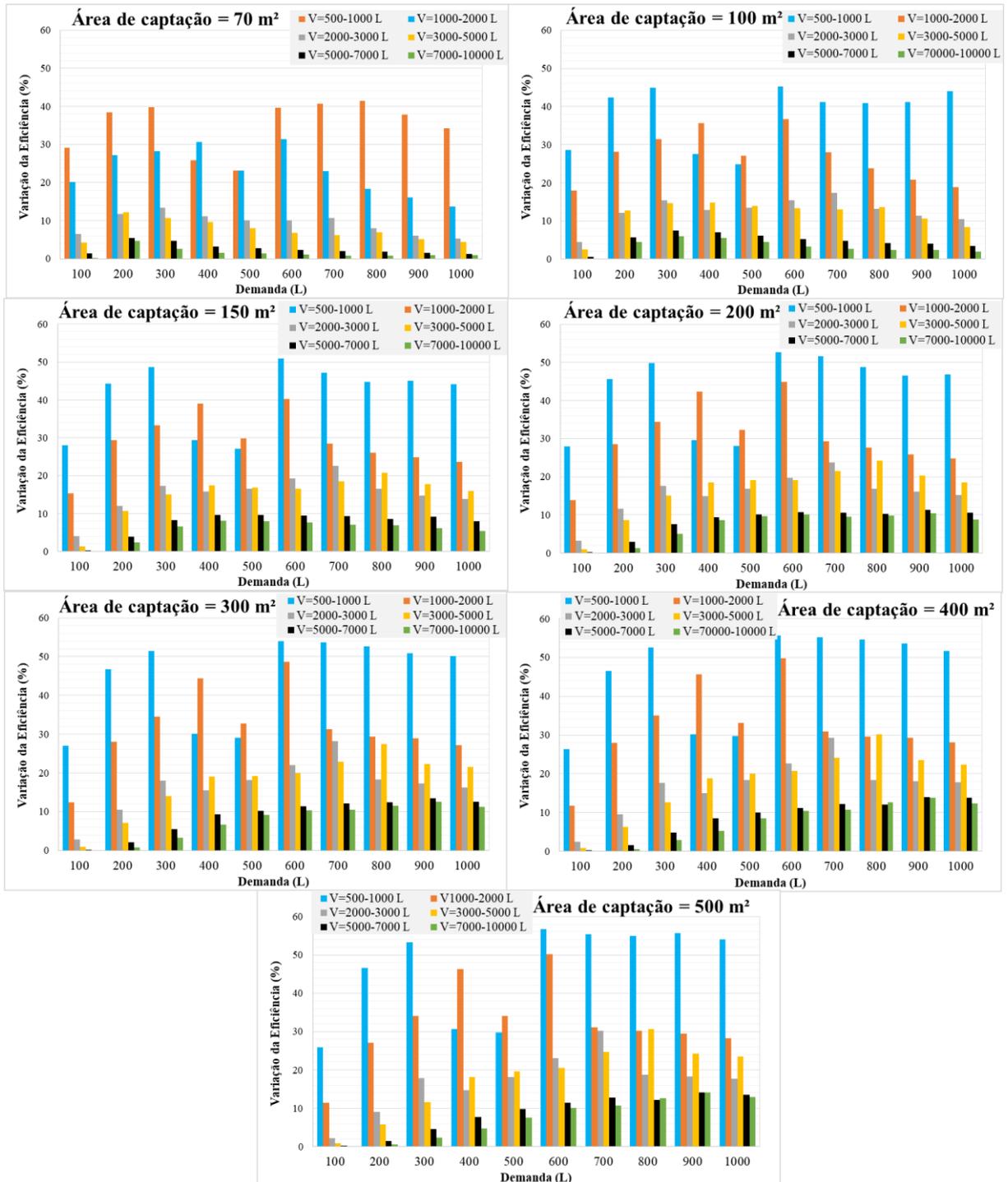
Tabela 8 – Eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Santa Cruz do Sul, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório

Santa Cruz do Sul - Eficiência no atendimento à demanda (%)												
Demanda (L/dia)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000		
Volume (L)	Área de Captação = 70 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	57,39	33,71	23,23	19,23	16,25	10,76	9,42	8,11	7,25	6,57	19,19	15,94
1000	74,07	46,65	32,48	24,19	20,02	15,02	13,26	11,47	10,00	8,82	25,60	20,71
2000	88,97	59,34	41,619	31,60	24,64	19,73	16,31	13,56	11,62	10,03	31,74	25,33
3000	94,65	66,29	47,158	35,12	27,13	21,70	18,04	14,64	12,31	10,55	34,76	27,36
5000	98,66	74,31	52,217	38,52	29,31	23,17	19,15	15,64	12,94	11,02	37,49	29,26
7000	99,99	78,30	54,659	39,74	30,09	23,71	19,51	15,92	13,13	11,15	38,62	30,15
10000	100,00	81,93	56,04	40,35	30,51	23,96	19,65	16,05	13,24	11,25	39,30	30,71
Média (%)	87,67	62,93	43,91	32,68	25,42	19,72	16,48	13,63	11,50	9,91		
Desvio Padrão (%)	16,21	17,65	12,29	8,20	5,47	5,04	3,85	2,92	2,19	1,70		
Volume (L)	Área de Captação = 100 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	61,17	37,24	26,33	23,22	20,44	13,33	11,96	10,92	10,00	9,01	22,36	16,33
1000	78,66	53,02	38,16	29,63	25,51	19,36	16,89	15,38	14,12	12,98	30,37	21,14
2000	92,85	67,92	50,15	40,18	32,42	26,47	21,62	19,04	17,05	15,44	38,31	25,37
3000	96,98	76,17	57,89	45,36	36,81	30,54	25,38	21,54	19,00	17,07	42,67	26,78
5000	99,46	85,88	66,35	52,10	41,92	34,60	28,68	24,48	21,02	18,51	47,30	28,23
7000	100,00	90,78	71,27	55,78	44,47	36,39	30,06	25,51	21,86	19,13	49,53	29,07
10000	100,00	94,85	75,49	58,87	46,46	37,56	30,89	26,12	22,37	19,51	51,21	29,85
Média (%)	89,87	72,27	55,09	43,59	35,43	28,32	23,64	20,43	17,92	15,95		
Desvio Padrão (%)	14,75	21,09	18,03	13,41	9,83	9,16	7,17	5,68	4,55	3,82		
Volume (L)	Área de Captação = 150 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	64,01	40,25	29,23	26,57	24,41	15,92	14,78	13,81	12,75	11,88	25,36	16,36
1000	81,97	58,10	43,45	34,38	31,04	24,03	21,75	19,99	18,49	17,12	35,03	20,93
2000	94,58	75,16	57,90	47,81	40,28	33,70	27,93	25,19	23,07	21,17	44,68	24,55
3000	98,37	84,18	67,92	55,33	46,93	40,18	34,22	29,36	26,47	24,09	50,71	25,51
5000	99,69	93,12	78,15	64,95	54,85	46,85	40,57	35,46	31,17	27,94	57,28	25,80
7000	100,00	96,70	84,59	71,14	60,15	51,32	44,34	38,48	34,03	30,15	61,09	25,85
10000	100,00	98,97	90,16	76,93	64,98	55,23	47,46	41,14	36,14	31,78	64,28	25,94
Média (%)	91,23	78,07	64,49	53,87	46,09	38,17	33,01	29,06	26,02	23,45		
Desvio Padrão (%)	13,63	21,93	22,32	18,78	15,07	14,48	12,12	10,05	8,51	7,23		
Volume (L)	Área de Captação = 200 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	65,61	42,03	30,93	28,74	26,56	17,24	16,44	15,60	14,74	13,93	27,18	16,30
1000	83,94	61,17	46,33	37,24	34,02	26,33	24,92	23,22	21,60	20,44	37,92	20,65
2000	95,57	78,66	62,23	53,02	45,02	38,16	32,21	29,63	27,20	25,51	48,72	23,70
3000	98,71	87,85	73,16	60,95	52,59	45,68	39,87	34,63	31,59	29,39	55,44	24,25
5000	99,75	95,36	84,21	72,28	62,67	54,41	48,44	43,00	38,00	34,82	63,29	23,66
7000	100,00	98,14	90,57	79,07	69,01	60,24	53,55	47,42	42,32	38,52	67,88	23,06
10000	100,00	99,46	95,17	85,88	75,68	66,35	58,69	52,10	46,71	41,92	72,20	22,19
Média (%)	91,94	80,38	68,94	59,60	52,22	44,06	39,16	35,08	31,74	29,22		
Desvio Padrão (%)	12,96	21,61	23,83	21,32	18,18	17,97	15,50	13,26	11,46	10,03		
Volume (L)	Área de Captação = 300 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	67,41	43,63	32,72	30,95	29,63	18,99	18,10	17,42	16,73	16,25	29,18	16,24
1000	85,56	64,01	49,54	40,25	38,22	29,23	27,81	26,57	25,24	24,41	41,08	20,11
2000	96,22	81,97	66,64	58,10	50,71	43,45	36,50	34,38	32,55	31,04	53,16	22,45
3000	98,90	90,61	78,66	67,09	59,88	53,02	46,78	40,66	38,16	36,07	60,98	22,33
5000	99,77	96,99	89,68	79,84	71,35	63,56	57,51	51,80	46,65	43,84	70,10	20,71
7000	100,00	98,98	94,58	87,32	78,66	70,81	64,49	58,21	52,94	49,34	75,53	19,15
10000	100,00	99,69	97,73	93,12	85,91	78,15	71,22	64,95	59,56	54,85	80,52	17,21
Média (%)	92,55	82,27	72,79	65,24	59,19	51,03	46,06	42,00	38,83	36,54		
Desvio Padrão (%)	12,23	21,20	24,50	23,57	20,93	21,78	19,62	17,26	15,29	13,79		
Volume (L)	Área de Captação = 400 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	68,50	44,76	33,51	32,29	31,09	19,87	19,29	18,59	17,95	17,52	30,34	16,21
1000	86,57	65,61	51,14	42,03	40,31	30,93	29,93	28,74	27,56	26,56	42,94	19,75
2000	96,67	83,94	69,04	61,17	53,66	46,33	39,19	37,24	35,64	34,02	55,69	21,76
3000	98,97	91,90	81,25	70,30	63,48	56,84	50,68	44,06	42,07	40,08	63,96	21,13
5000	99,77	97,66	91,55	83,52	76,17	68,63	62,90	57,32	51,96	49,05	73,85	18,76
7000	100,00	99,16	95,90	90,65	83,75	76,23	70,52	64,18	59,17	55,79	79,53	16,73
10000	100,00	99,75	98,63	95,36	90,84	84,21	78,05	72,28	67,31	62,67	84,91	14,11
Média (%)	92,92	83,25	74,43	67,90	62,76	54,72	50,08	46,06	43,09	40,81		
Desvio Padrão (%)	11,79	20,82	24,61	24,17	22,36	23,74	21,75	19,49	17,57	16,14		
Volume (L)	Área de Captação = 500 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	69,15	45,63	34,23	33,06	32,01	20,51	19,94	19,49	18,74	18,46	31,12	16,18
1000	87,08	66,88	52,49	43,16	41,55	32,16	30,98	30,19	29,16	28,45	44,21	19,49
2000	96,95	85,01	70,36	63,12	55,69	48,31	40,62	39,29	37,77	36,49	57,36	21,20
3000	99,00	92,66	82,86	72,39	65,78	59,43	52,90	46,62	44,64	42,93	65,92	20,29
5000	99,77	97,92	92,46	85,55	78,66	71,61	65,98	60,92	55,46	53,02	76,13	17,36
7000	100,00	99,24	96,67	92,06	86,39	79,82	74,37	68,31	63,24	60,17	82,03	15,04
10000	100,00	99,77	98,94	96,35	92,85	87,88	82,29	76,89	72,19	67,90	87,51	12,03
Média (%)	93,13	83,87	75,43	69,39	64,70	57,10	52,44	48,82	45,88	43,92		
Desvio Padrão (%)	11,54	20,48	24,49	24,35	22,89	24,89	23,14	20,88	19,01	17,63		

Fonte: autora (2023).

Na Figura 15 são apresentadas as variações relativas das eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Santa Cruz do Sul, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório.

Figura 15 – Variações relativas das eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Santa Cruz do Sul, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório



Fonte: autora (2023).

Em relação às variações relativas das eficiências, percebe-se que existe tendência de aumento dessas variações com o aumento do volume do reservatório considerado nas simulações. Todavia, não se observa um comportamento bem definido dessa variação em função da alteração da demanda e da área de captação, com aumentos e reduções das variações, conforme os cenários considerados nas análises. Esses resultados mostram que existe uma condição ideal para definir o melhor sistema do aproveitamento a ser utilizado, sendo necessária uma avaliação interligada das variáveis demanda, área de captação e volume do reservatório, em associação com os dados pluviométricos do local de estudo para uma adequada definição de escolha do sistema a ser implantado (SARI et al., 2010).

Na Tabela 9 são mostrados os resultados para a estação pluviométrica da cidade de Uruguaiana, representativa da região Sudoeste Rio-Grandense. As simulações realizadas indicam semelhança de comportamento dessa cidade em relação às demais estações pluviométricas analisadas, havendo um aumento da eficiência ao atendimento da demanda quando se aumenta o volume do reservatório para uma dada demanda e área de contribuição constante. Por outro lado, ocorre redução da eficiência quando a demanda é aumentada para uma mesma área de captação e volume do reservatório. Os resultados mostram que não adianta aumentar a área de captação para suprir a demanda se não houver volume útil disponível no reservatório para armazenamento da água captada, pois isso implicaria em grande extravasamento do reservatório de coleta na maioria dos eventos de chuva. Da mesma forma, não adianta promover o aumento do reservatório de armazenamento se não existir área útil de coleta, bem como, se o local não apresentar precipitação disponível, em períodos distribuídos ao longo do ano, pois isso implicaria na subutilização do reservatório na maior parte do ano, por não haver água a ser coletada para uso. Ainda, o estudo realizado por Sari et al. (2010) apontam as mesmas conclusões a respeito dos sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Na situação mais crítica, a eficiência no atendimento à demanda alcançada para o sistema de aproveitamento pluvial foi de 7,71%, considerando demanda máxima (1000 L), área de captação mínima (70 m²) e o menor tamanho de reservatório avaliado no estudo (500 L). Entretanto, para uma associação da mesma demanda com uma área de captação maior (500 m²) e um reservatório de maior capacidade (1000 L), a eficiência no atendimento à demanda alcançou 66,09%. Eficiências de 100% foram atingidas apenas na análise da menor demanda do estudo (100 L), a partir da área de 100 m² e com emprego de volumes de reservatórios de 10000 L. É importante destacar ainda, que para a demanda de 200 L/dia foram obtidos resultados acima de 90% de eficiência quando utilizada área de captação de 100 m².

Tabela 9 – Eficiências no atendimento às demandas para a cidade de Uruguaiana, considerando diferentes áreas de captação, demandas e volumes de reservatório

Uruguaiana - Eficiência no atendimento à demanda (%)												
Demanda (L/dia)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000		
Volume (L)	Área de Captação = 70 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	54,29	32,00	22,40	19,41	17,38	11,37	10,34	9,14	8,40	7,71	19,24	14,52
1000	71,21	45,96	32,75	24,70	21,70	16,15	14,51	12,75	11,55	10,33	26,16	19,34
2000	86,05	58,21	42,149	32,83	26,73	21,41	17,59	15,17	13,39	11,88	32,54	23,78
3000	92,39	64,84	47,687	36,39	29,40	23,76	20,08	16,65	14,56	12,86	35,86	25,74
5000	97,37	71,71	52,807	40,64	32,57	26,21	22,11	18,50	15,93	13,83	39,17	27,38
7000	99,11	75,90	56,102	43,01	34,24	27,41	23,01	19,19	16,49	14,26	40,87	28,23
10000	99,92	80,44	58,925	44,72	35,45	28,31	23,60	19,63	16,79	14,48	42,23	29,04
Média (%)	85,76	61,29	44,69	34,53	28,21	22,09	18,75	15,86	13,87	12,19		
Desvio Padrão (%)	17,13	17,34	13,25	9,53	6,72	6,29	4,91	3,83	3,04	2,46		
Volume (L)	Área de Captação = 100 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	57,06	34,65	24,68	22,49	20,34	13,32	12,28	11,45	10,59	9,96	21,68	14,74
1000	74,93	51,18	37,39	29,30	26,05	19,91	18,06	16,65	15,16	14,15	30,28	19,53
2000	90,08	66,09	49,17	40,60	33,44	27,69	22,84	20,54	18,49	16,95	38,59	23,84
3000	95,91	74,47	57,27	45,85	38,05	31,94	27,25	23,14	20,70	18,72	43,33	25,55
5000	99,23	83,40	64,83	52,43	43,17	36,19	30,98	26,74	23,27	20,83	48,11	26,74
7000	99,73	88,33	69,19	56,10	46,10	38,80	33,10	28,50	24,81	22,05	50,67	27,18
10000	100,00	92,60	73,71	59,74	48,95	41,21	34,93	29,98	26,05	23,01	53,02	27,67
Média (%)	88,13	70,10	53,75	43,79	36,59	29,87	25,63	22,43	19,87	17,95		
Desvio Padrão (%)	16,34	21,08	17,82	13,90	10,60	10,25	8,33	6,71	5,55	4,67		
Volume (L)	Área de Captação = 150 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	59,41	36,52	26,70	24,81	23,11	15,04	14,21	13,41	12,78	12,07	23,81	14,82
1000	78,16	54,94	41,20	32,61	30,21	23,13	21,56	20,08	19,05	17,84	33,88	19,46
2000	92,67	72,07	55,81	47,33	40,09	34,02	28,02	25,90	24,05	22,43	44,24	23,26
3000	97,53	81,46	66,09	53,99	46,40	40,60	34,90	30,08	27,69	25,67	50,44	24,35
5000	99,61	90,55	76,26	63,83	54,55	47,45	41,50	36,83	32,59	29,64	57,28	24,60
7000	99,88	94,94	82,28	69,34	59,32	51,62	45,26	39,83	35,50	32,10	61,01	24,63
10000	100,00	97,82	87,66	74,35	63,73	55,53	48,56	43,05	38,46	34,52	64,37	24,44
Média (%)	89,61	75,47	62,29	52,32	45,34	38,20	33,43	29,88	27,16	24,90		
Desvio Padrão (%)	15,43	22,70	22,38	18,62	15,11	15,02	12,75	10,83	9,21	8,04		
Volume (L)	Área de Captação = 200 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	60,58	37,56	27,53	26,30	24,74	15,75	15,17	14,76	13,91	13,38	24,97	14,82
1000	79,79	57,06	43,23	34,65	32,44	24,68	23,56	22,49	21,22	20,34	35,94	19,31
2000	94,00	74,93	58,91	51,18	44,04	37,39	30,88	29,30	27,48	26,05	47,42	22,71
3000	98,21	84,66	70,63	58,97	51,59	45,36	39,76	34,52	32,07	30,21	54,60	23,34
5000	99,77	93,61	81,70	70,47	61,49	53,84	48,15	43,47	38,80	36,00	62,73	22,85
7000	100,00	97,28	87,90	77,11	67,58	59,40	53,42	47,90	43,09	39,70	67,34	22,28
10000	100,00	99,23	93,20	83,40	73,31	64,83	58,14	52,43	47,30	43,17	71,50	21,53
Média (%)	90,34	77,76	66,16	57,44	50,74	43,03	38,44	34,98	31,98	29,84		
Desvio Padrão (%)	14,99	23,07	24,27	21,45	18,10	18,16	15,96	13,79	12,02	10,71		
Volume (L)	Área de Captação = 300 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	61,88	39,01	28,47	27,42	26,51	16,83	16,48	15,80	15,50	14,98	26,29	14,81
1000	81,25	59,41	45,37	36,52	34,95	26,70	25,77	24,81	23,97	23,11	38,19	19,04
2000	95,38	78,16	62,25	54,94	47,91	41,20	34,09	32,61	31,48	30,21	50,82	22,09
3000	98,75	87,47	74,93	63,68	56,94	51,18	45,24	39,20	37,39	35,76	59,05	21,91
5000	99,97	95,76	86,39	76,97	68,96	61,66	55,98	50,90	46,02	43,58	68,62	20,45
7000	100,00	98,42	92,45	84,38	76,47	68,80	63,09	56,82	52,04	48,89	74,14	19,09
10000	100,00	99,61	96,83	90,55	83,58	76,26	69,70	63,83	58,87	54,55	79,38	17,21
Média (%)	91,03	79,69	69,53	62,07	56,47	48,95	44,34	40,57	37,90	35,87		
Desvio Padrão (%)	14,52	22,86	25,52	23,94	21,31	21,96	19,82	17,51	15,51	14,19		
Volume (L)	Área de Captação = 400 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	62,68	39,70	29,42	28,37	27,52	17,33	16,90	16,75	16,31	15,86	27,09	14,84
1000	82,14	60,58	46,64	37,56	36,37	27,53	26,78	26,30	25,54	24,74	39,42	18,91
2000	95,88	79,79	64,25	57,06	50,17	43,23	35,62	34,65	33,53	32,44	52,66	21,71
3000	99,02	89,12	77,36	66,15	59,85	53,94	47,86	41,79	40,09	38,77	61,40	21,22
5000	99,99	96,75	88,38	79,91	72,79	65,53	60,23	55,28	50,25	48,19	71,73	18,93
7000	100,00	98,86	94,30	87,33	80,82	73,54	68,36	62,18	57,35	54,51	77,73	17,06
10000	100,00	99,77	97,93	93,61	87,79	81,70	75,97	70,47	65,80	61,49	83,45	14,50
Média (%)	91,39	80,65	71,18	64,28	59,33	51,83	47,39	43,92	41,27	39,43		
Desvio Padrão (%)	14,20	22,76	25,75	24,82	22,64	23,84	22,04	19,61	17,67	16,39		
Volume (L)	Área de Captação = 500 m²										Média (%)	Desvio Padrão (%)
500	63,21	40,30	29,84	29,19	28,15	17,62	17,32	17,15	16,83	16,57	27,62	14,87
1000	82,73	61,66	47,47	38,67	37,22	28,22	27,58	27,06	26,44	26,11	40,32	18,85
2000	96,22	80,92	65,44	58,88	51,55	44,60	36,58	35,99	34,87	34,17	53,92	21,46
3000	99,17	90,31	78,86	68,04	61,64	55,89	49,77	43,46	41,90	40,94	63,00	20,74
5000	99,99	97,39	89,73	81,85	74,93	68,06	62,78	58,02	52,88	51,18	73,68	18,00
7000	100,00	99,17	95,31	89,19	83,18	76,32	71,56	65,47	60,65	58,36	79,92	15,76
10000	100,00	99,94	98,37	95,08	90,08	84,72	79,61	74,56	70,09	66,09	85,85	12,76
Média (%)	91,62	81,38	72,14	65,84	60,97	53,63	49,31	45,96	43,38	41,92		
Desvio Padrão (%)	13,99	22,63	25,89	25,14	23,33	24,89	23,28	20,97	19,01	17,76		

Fonte: autora (2023).

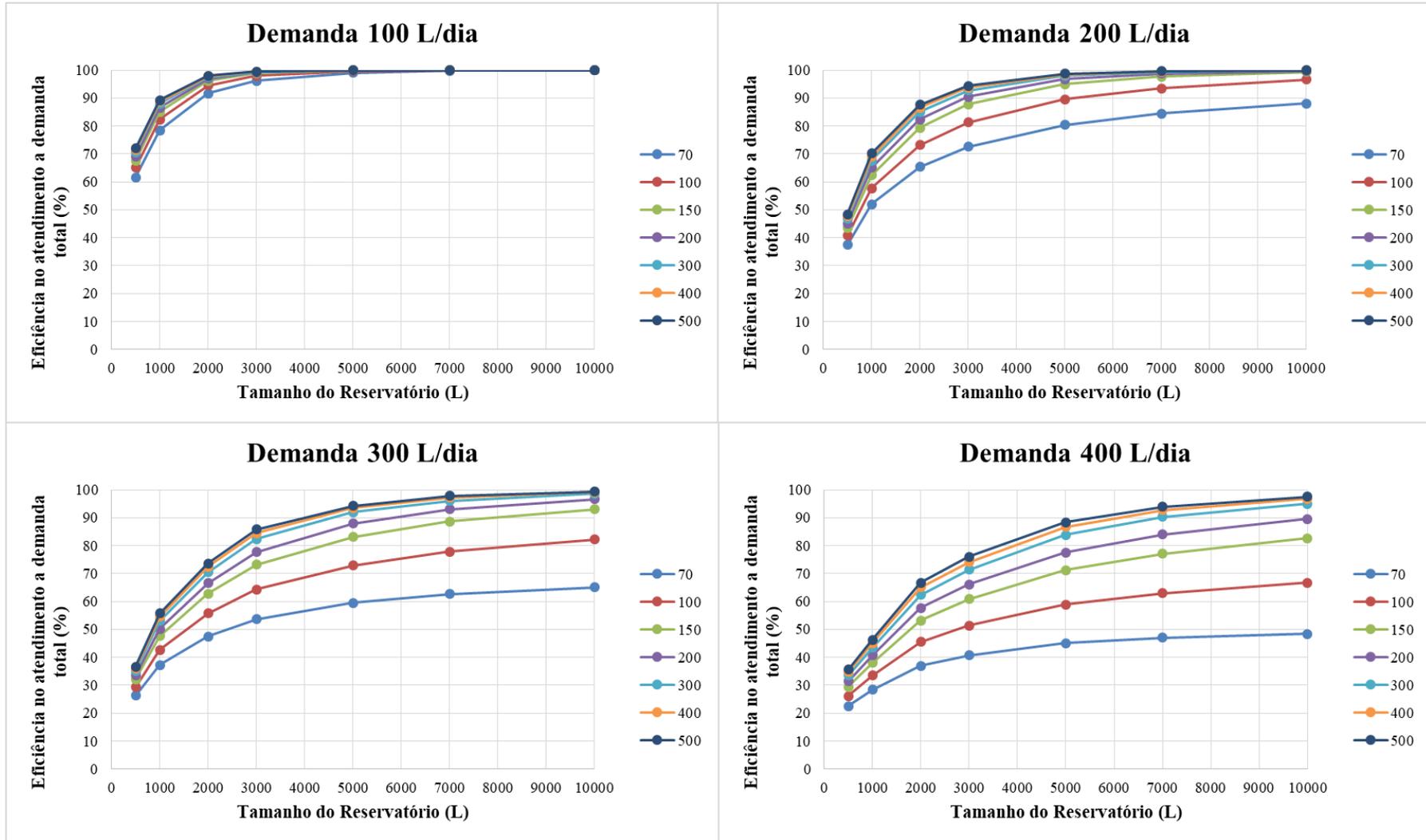
4.2. DESEMPENHO MÉDIO GERAL DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO PLUVIAL PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Com base nos resultados obtidos a partir da aplicação do método da simulação, considerando as diferentes configurações dos sistemas de aproveitamento pluvial nas sete estações pluviométricas analisadas do estado, realizou-se o cálculo da média dos valores encontrados para as variáveis avaliadas. Essa abordagem buscou identificar a representatividade geral do estado do Rio Grande do Sul no que se refere aos sistemas de aproveitamento pluvial simulados, proporcionando uma visão integrada e mais abrangente dos dados, generalizada para as distintas localidades do estado.

No APÊNDICE A até o APÊNDICE J são apresentados os valores médios de falha e de eficiência no atendimento à demanda total, o número de dias falhos consecutivos, o percentual de dias com extravasamento e o potencial de aproveitamento pluvial, bem como os desvios padrões gerais desses dados, para cada demanda, área de captação e volume de reservatório; buscando-se determinar os padrões médios de variações no estado do Rio Grande do Sul.

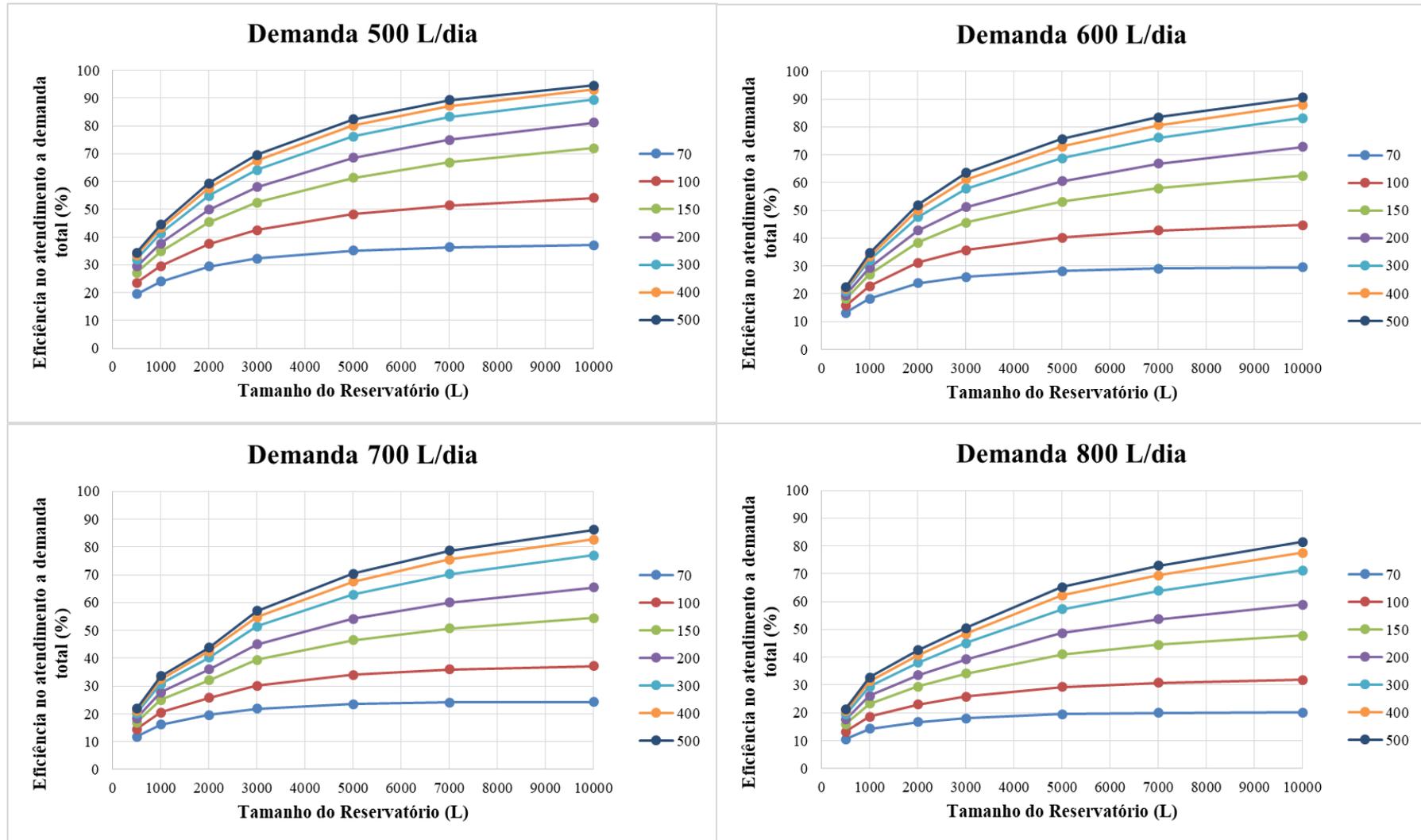
Os resultados gerais das cidades avaliadas demonstram um comportamento de crescimento da eficiência em função do aumento do volume de armazenamento do reservatório, considerando-se uma área de captação e demanda constante. Da mesma forma, visualiza-se um crescimento da eficiência em relação ao aumento da área de captação, quando se considera o volume de armazenamento constante, para uma mesma demanda. Por outro lado, quando se analisa uma mesma área de captação e volume de reservatório, a eficiência no atendimento à demanda tende a diminuir com o aumento da demanda necessária. Os resultados demonstram o mesmo comportamento descrito por Sari et al. (2010), que pode ser melhor visualizado na Figura 16, Figura 17 e Figura 18.

Figura 16 – Eficiência média no atendimento à demanda para as cidades simuladas no estado do Rio Grande do Sul, considerando diferentes áreas de captação e volume do reservatório, para as demandas de 100 a 400 L/dia



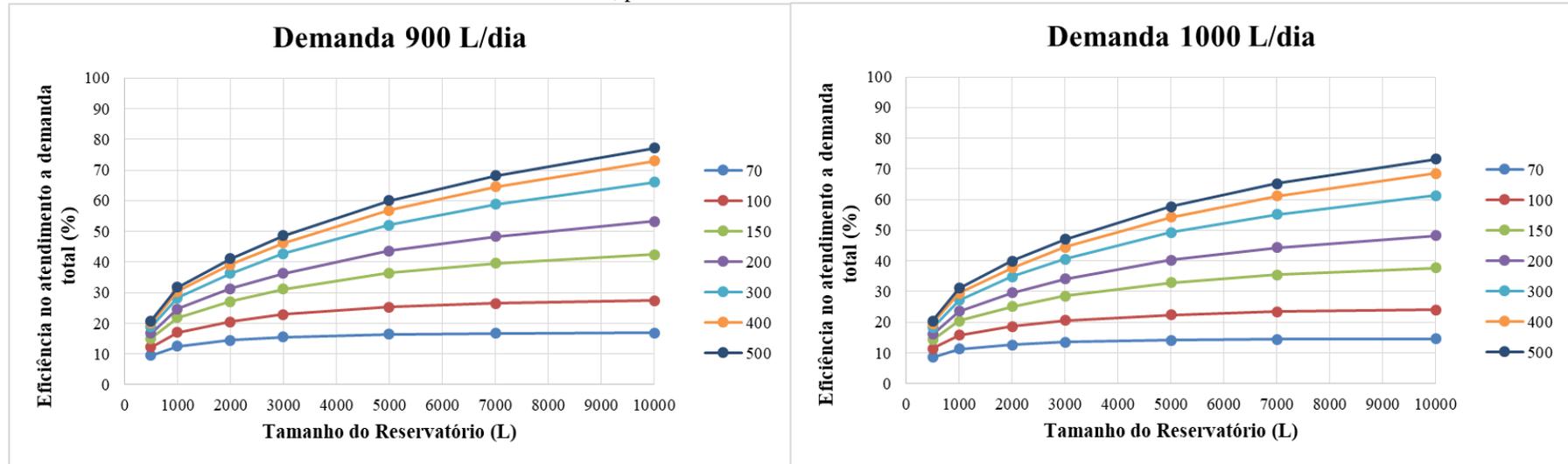
Fonte: Autora (2023).

Figura 17 – Eficiência média no atendimento à demanda para as cidades simuladas no estado do Rio Grande do Sul, considerando diferentes áreas de captação e volume do reservatório, para as demandas de 500 a 800 L/dia



Fonte: Autora (2023).

Figura 18 – Eficiência média no atendimento à demanda para as cidades simuladas no estado do Rio Grande do Sul, considerando diferentes áreas de captação e volume do reservatório, para as demandas de 900 e 1000 L/dia



Fonte: Autora (2023).

Na Tabela 10 são descritos os resultados médios de eficiência ao atendimento da demanda para as simulações realizadas considerando demandas de 100 a 500 L, variações de área de captação (70, 100, 150, 200, 300, 400 e 500 m²) e volumes de reservatório (500, 1000, 2000, 3000, 5000, 7000 e 10000 L). Já na Tabela 11 são descritos os resultados médios de eficiência no atendimento à demanda e desvio padrão, considerando diferentes áreas de captação e volume de reservatório, para demandas de 600 a 1000 L.

Para a demanda de 100 L observa-se que mesmo para as simulações com menores áreas de captação avaliadas (70 m², 100 m² e 150 m²), reservatórios de 5000 L já apresentam um resultado excelente de eficiência no atendimento à demanda, alcançando valores acima de 99% de eficiência. Para as áreas de captação maiores (200 m², 300 m², 400 m² e 500 m²), a eficiência acima de 99% já é alcançada com o reservatório de 3000 L. Além disso, resultados já satisfatórios em termos de eficiência (acima de 90%) já são alcançados com reservatórios de 2000 L, mesmo para a menor área simuladas. O maior valor de falha no atendimento à demanda encontrado foi observado para a cidade de Uruguaiana, com 45,71%, para a área de 70 m² e reservatório de 500 L. Valores de eficiência de 100% e zero dias falhos foram encontrados para 31,78% das simulações dos sistemas de aproveitamento realizadas para a demanda de 100 L/dia.

A Figura 16 representa graficamente os resultados médios da eficiência dos sistemas de aproveitamento pluvial para a demanda de 100 L/dia, para todas as áreas do estudo, conforme a variação do tamanho de reservatório. A análise do gráfico demonstra um crescimento logarítmico da eficiência em função do aumento dos valores da área de captação e do volume de armazenamento para uma demanda constante. Para o volume mínimo de 500 L obteve-se valores médios de eficiência entre 61,64% e 71,92%, com um desvio padrão de 3,73. Já para reservatórios de 3000 L observou-se resultados médios de eficiência superiores a 96,12% para área de 70 m², alcançando-se 99,53% quando a área de captação simulada foi de 500 m². Destaca-se ainda, que o crescimento da eficiência em função do aumento do volume torna-se menos significativo para volumes superiores a 5000 L, tendendo a estabilidade de 100%, independentemente do valor da área de captação analisada. Isso ocorre porque para uma demanda pequena, mesmo áreas e reservatórios menores já conseguem suprir a quantidade de água requerida para uma boa eficiência dos sistemas de aproveitamento pluvial.

Tabela 10 – Resultados médios de eficiência no atendimento à demanda e desvio padrão, considerando diferentes áreas de captação e volume de reservatório, para demandas de 100 a 500 L

Volume (L)	Área: 70 m ²		Área: 100 m ²		Área: 150 m ²		Área: 200 m ²		Área: 300 m ²		Área: 400 m ²		Área: 500 m ²	
	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)
Demanda diária: 100 L														
500	61,64	5,99	64,98	5,90	67,59	5,84	68,98	5,80	70,55	5,76	71,34	5,59	71,92	5,57
1000	78,39	5,87	82,29	5,45	85,10	4,88	86,58	4,52	87,98	4,27	88,73	4,04	89,20	3,93
2000	91,59	4,06	94,56	2,97	96,15	2,32	96,92	1,92	97,52	1,55	97,82	1,39	98,02	1,29
3000	96,12	2,51	97,98	1,45	98,91	0,87	99,21	0,66	99,40	0,52	99,49	0,47	99,53	0,45
5000	99,09	0,98	99,69	0,31	99,85	0,17	99,89	0,12	99,93	0,10	99,93	0,11	99,93	0,11
7000	99,82	0,34	99,96	0,10	99,98	0,04	100,00	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	100,0	0,00
10000	99,99	0,03	100,00	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	100,0	0,00
Demanda diária: 200 L														
500	37,35	4,77	40,75	4,97	43,48	5,11	45,06	5,19	46,69	5,29	47,56	5,22	48,34	5,26
1000	51,97	6,20	57,72	6,02	62,32	5,97	64,98	5,90	67,59	5,84	68,98	5,80	70,13	5,75
2000	65,42	7,32	73,19	6,55	79,27	5,77	82,29	5,45	85,10	4,88	86,58	4,52	87,53	4,33
3000	72,61	7,76	81,33	6,64	87,73	4,93	90,50	4,16	92,69	3,44	93,75	3,01	94,42	2,70
5000	80,39	8,10	89,57	5,06	94,95	3,01	96,72	2,13	97,99	1,48	98,48	1,14	98,72	0,96
7000	84,46	8,05	93,51	3,94	97,66	1,75	98,78	1,01	99,36	0,57	99,52	0,44	99,62	0,36
10000	88,08	7,69	96,66	2,89	99,28	0,80	99,69	0,31	99,85	0,17	99,89	0,12	99,92	0,10
Demanda diária: 300 L														
500	26,29	3,77	29,31	3,99	32,10	4,20	33,48	4,28	35,15	4,46	36,01	4,45	36,64	4,52
1000	37,19	5,29	42,71	5,42	47,55	5,51	50,14	5,50	53,05	5,58	54,57	5,63	55,71	5,66
2000	47,45	6,60	55,74	6,76	62,85	6,38	66,54	6,19	70,46	6,05	72,47	5,80	73,69	5,73
3000	53,56	7,48	64,23	7,44	73,19	6,55	77,69	5,95	82,29	5,45	84,44	5,03	85,73	4,72
5000	59,46	8,66	72,80	8,06	83,13	6,20	87,92	5,04	91,96	3,81	93,46	3,27	94,28	2,94
7000	62,59	9,36	77,78	8,43	88,59	5,33	93,01	3,73	96,09	2,44	97,19	1,92	97,75	1,60
10000	65,01	10,3	82,21	8,56	93,00	4,10	96,58	2,31	98,52	1,17	99,11	0,76	99,33	0,59
Demanda diária: 400 L														
500	22,48	3,61	26,14	3,56	29,41	3,82	31,42	3,96	33,43	4,2	34,72	4,32	35,57	4,38
1000	28,32	4,53	33,49	4,56	38,04	4,79	40,75	4,97	43,48	5,11	45,06	5,19	46,22	5,25
2000	36,87	5,74	45,53	6,03	53,16	6,16	57,72	6,02	62,32	5,97	64,98	5,9	66,75	5,8
3000	40,72	6,31	51,37	6,85	60,82	6,78	66,05	6,48	71,39	6,17	74,14	5,94	75,99	5,75
5000	45,06	7,43	58,91	8,05	71,2	7,47	77,6	6,57	83,85	5,5	86,72	4,94	88,37	4,54
7000	47,01	8,07	63,01	8,71	77,1	7,5	83,98	6,14	90,28	4,4	92,72	3,59	93,94	3,11
10000	48,31	8,72	66,68	9,4	82,59	7,56	89,57	5,06	94,95	9,01	96,72	2,13	97,55	1,71
Demanda diária: 500 L														
500	19,55	3,42	23,53	3,52	27,25	3,66	29,4	3,8	32,03	3,97	33,45	4,09	34,42	4,25
1000	24,02	4,1	29,54	4,41	34,8	4,56	37,71	4,7	41,29	4,79	43,22	4,88	44,51	5,06
2000	29,36	4,95	37,51	5,54	45,33	5,8	49,83	5,77	54,8	5,76	57,58	5,77	59,41	5,8
3000	32,22	5,50	42,46	6,19	52,43	6,52	57,97	6,41	64,22	6,10	67,53	6,01	69,63	5,96
5000	35,12	6,28	48,21	7,19	61,35	7,60	68,55	7,05	76,12	6,2	80,07	5,64	82,29	5,45
7000	36,35	6,71	51,40	7,98	66,79	8,12	74,99	7,23	83,23	5,88	87,2	4,93	89,28	4,43
10000	37,13	7,05	54,04	8,67	71,90	8,73	81,08	7,08	89,47	4,82	92,99	3,6	94,56	2,97

Legenda: Ef: Eficiência do sistema no atendimento à demanda (%); DP: Desvio Padrão (%)

Fonte: Autora (2023).

Tabela 11 – Resultados médios de eficiência no atendimento à demanda e desvio padrão, considerando diferentes áreas de captação e volume de reservatório, para demandas de 600 a 1000 L

Volume (L)	Área: 70 m ²		Área: 100 m ²		Área: 150 m ²		Área: 200 m ²		Área: 300 m ²		Área: 400 m ²		Área: 500 m ²	
	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)	Ef (%)	DP (%)
Demanda diária: 600 L														
500	13,15	2,56	15,74	2,72	18,10	2,78	19,37	2,94	20,97	3,07	21,72	3,11	22,34	3,21
1000	18,3	3,39	22,77	3,67	26,99	3,7	29,31	3,99	32,1	4,2	33,48	4,28	34,6	4,38
2000	23,73	4,26	31,13	4,97	38,38	5,24	42,71	5,42	47,55	5,51	50,14	5,5	51,97	5,57
3000	23,12	4,76	35,67	5,57	45,53	6,03	51,11	6,22	57,72	6,02	61,10	5,94	63,48	5,94
5000	28,18	5,34	40,22	6,36	53,08	7,08	60,53	7,2	68,74	6,55	73,0	6,12	75,65	5,92
7000	29,03	5,64	42,72	7,1	57,96	7,85	66,76	7,75	76,08	6,60	80,63	5,86	83,49	5,42
10000	29,53	5,86	44,66	7,76	62,45	8,67	72,8	8,06	83,13	6,2	87,92	5,04	90,6	4,24
Demanda diária: 700 L														
500	11,77	2,44	14,4	2,65	16,92	2,60	18,45	2,74	20,16	2,91	21,15	3,05	21,78	3,12
1000	16,15	3,08	20,44	3,64	24,94	3,64	27,7	3,69	30,65	3,94	32,43	4,09	33,53	4,25
2000	19,55	3,61	25,71	4,35	32,08	4,7	35,91	4,74	40,11	5,03	42,43	5,12	43,79	5,23
3000	21,79	4,13	30,14	5,04	39,35	5,64	44,92	5,78	51,38	5,8	54,83	5,81	57,02	5,84
5000	23,41	4,62	33,97	5,77	46,44	6,54	54,18	6,75	62,8	6,56	67,48	6,22	70,32	6,14
7000	24,03	4,85	35,9	6,35	50,64	7,27	59,95	7,49	70,18	6,92	75,44	6,27	78,65	5,82
10000	24,31	4,97	37,24	6,82	54,42	8,14	65,46	8,25	76,98	7,0	82,73	5,95	86,12	5,25
Demanda diária: 800 L														
500	10,47	2,46	13,24	2,47	15,96	2,56	17,62	2,59	19,43	2,83	20,63	2,98	21,35	3,04
1000	14,18	2,96	18,62	3,32	23,23	3,62	26,14	3,56	29,41	3,82	31,42	3,96	32,7	4,09
2000	16,64	3,41	22,89	4,0	29,36	4,52	33,49	4,56	38,04	4,79	40,75	4,97	42,54	5,0
3000	18,06	3,78	25,78	4,51	34,05	5,2	39,25	5,36	45,06	5,49	48,29	5,64	50,46	5,6
5000	19,46	4,16	29,23	5,16	41,0	6,12	48,7	6,45	57,25	6,53	62,16	6,26	65,27	6,08
7000	19,89	4,3	30,71	5,57	44,41	6,74	53,67	7,21	63,9	7,02	69,39	6,62	72,86	6,2
10000	20,13	4,4	31,78	6,01	47,78	7,58	58,91	8,05	71,2	7,47	77,6	6,57	81,44	5,91
Demanda diária: 900 L														
500	9,44	2,29	12,28	2,45	15,05	2,55	16,76	2,56	18,79	2,73	19,97	2,89	20,79	3,0
1000	12,55	2,71	17,04	3,1	21,79	3,55	24,73	3,62	28,24	3,79	30,36	3,87	31,75	3,97
2000	14,46	3,1	20,55	3,71	27,15	4,36	31,3	4,51	36,31	4,64	39,16	4,78	41,06	4,85
3000	15,46	3,37	22,84	4,14	31,13	4,97	36,32	5,2	42,7	5,42	46,24	5,46	48,61	5,54
5000	16,4	3,63	25,35	4,71	36,35	5,66	43,57	6,14	52,03	6,34	56,9	6,22	59,97	6,11
7000	16,74	3,76	26,57	5,06	39,52	6,21	48,36	6,82	58,82	7,06	64,47	6,7	68,06	6,43
10000	16,9	3,82	27,43	5,38	42,43	7,04	53,2	7,63	66,07	7,67	73	6,91	77,19	6,33
Demanda diária: 1000 L														
500	8,56	2,16	11,36	2,43	14,23	2,59	16	2,52	18,2	2,63	19,47	2,77	20,41	2,91
1000	11,18	2,58	15,69	2,94	20,36	3,49	23,53	3,52	27,25	3,66	29,4	3,8	31,11	3,88
2000	12,66	2,92	18,63	3,45	25,13	4,17	29,54	4,42	34,8	4,56	37,71	4,7	39,93	4,79
3000	13,44	3,14	20,49	3,79	28,56	4,72	34,02	5,05	40,62	5,28	44,4	5,34	47,06	5,44
5000	14,14	3,33	22,44	4,33	32,89	5,37	40,25	5,9	49,2	6,2	54,21	6,09	57,72	6,02
7000	14,37	3,42	23,38	4,6	35,45	5,85	44,29	6,41	55,15	6,84	61,2	6,58	65,24	6,39
10000	14,49	3,45	24,03	4,85	37,73	6,54	48,21	7,19	61,35	7,6	68,55	7,05	73,18	6,56

Legenda: Ef: Eficiência do sistema no atendimento à demanda (%); DP: Desvio Padrão (%)

Os resultados médios da eficiência e do desvio padrão para a demanda de 200 L/dia mostram que, índices de eficiência acima de 90% serão alcançados apenas para sistemas de aproveitamento pluvial com áreas de captação a partir de 100 m². Nesse caso, reservatórios de 3000 L já atingem uma eficiência satisfatória (acima de 90%) com área de captação de 200 m² ou superiores. O maior valor de falha no atendimento à demanda encontrado foi verificado para a cidade de Uruguaiana, com 68%, para a área de 70 m² e reservatório de 500 L. Valores de eficiência no atendimento à demanda de 100% e zero dias falhos foram encontrados para 4,96% das simulações dos sistemas de aproveitamento realizadas para a demanda de 200 L/dia, sendo esses já observados na área de 150 m², para as cidades de Caxias do Sul e Passo Fundo, com reservatórios de 10000 L. Para o volume mínimo de 500 L obteve-se valores médios de eficiência entre 37,35% e 48,34%, com um desvio padrão de 3,97%. Para reservatórios de 3000 L atingiu-se resultados médios de eficiência superiores a 72,61% para área de 70 m², alcançando-se 90,5% quando a área de captação utilizada foi de 200 m² e 94,42% quando foram simuladas áreas de 500 m². Destaca-se ainda, que o crescimento da eficiência em função do aumento do volume torna-se menos significativo para volumes superiores a 5000 L, tendendo a estabilidade de 100%, para áreas de captação acima de 150 m².

Para a demanda de 300 L/dia, resultados médios de eficiência acima de 90% só serão observados com áreas de captação acima de 150 m², sendo nesta, somente para o reservatório de 10000 L, apresentando uma eficiência de 93%. Reservatórios de 5000 L já atingem uma eficiência satisfatória (acima de 90%) com área de captação de 300 m² em diante. O maior valor de falha no atendimento à demanda foi encontrado para a cidade de Uruguaiana, com 77,6%, para a área de 70 m² e reservatório de 500 L. Valores de eficiência no atendimento à demanda de 100% e zero dias falhos foram encontrados somente para a cidade de Caxias do Sul, nas simulações com áreas maiores (400 e 500 m²), com reservatórios de 10000 L. Para o volume mínimo de 500 L obteve-se valores médios de eficiência entre 26,29% e 36,64%, com um desvio padrão de 3,78%. Para reservatórios de 5000 L conseguiu-se resultados médios de eficiência superiores a 59,46% para área de 70 m², alcançando-se 91,96% quando a área de captação de 300 m² e 94,28% na área de 500 m². Destaca-se ainda, que o crescimento da eficiência em função do aumento do volume torna-se menos significativo para volumes superiores a 7000 L, tendendo a estabilidade em 98% de eficiência para áreas de captação acima de 300 m².

Para a demanda de 400 L/dia foram observados resultados médios da eficiência acima de 90% apenas em simulações com áreas de captação acima de 300 m², sendo nesta, para os reservatórios de 7000 L e 10000 L, apresentando uma eficiência de 90,28% e 94,95%,

respectivamente. O maior valor de falha no atendimento à demanda encontrado foi para a cidade de Pelotas, com 80,89%, para a área de 70 m² e reservatório de 500 L. O maior valor de eficiência encontrado foi de 99,63%, com o valor máximo de 8 dias falhos consecutivos, na cidade de Caxias do Sul, com área de 500 m² e reservatório de 10000 L. Para o volume mínimo de 500 L obteve-se valores médios de eficiência entre 22,48% e 35,57%, com um desvio padrão de 4,78. Para reservatórios de 7000 L alcançou-se resultados médios de eficiência superiores a 47,01% para área de 70 m², atingindo-se 90,28% de eficiência no atendimento à demanda quando a área de captação simulada foi de 300 m² e 93,94% de eficiência para área de captação de 500 m². O crescimento da eficiência em função do aumento do volume torna-se menos significativo para volumes superiores a 7000 L, tendendo a estabilidade, considerando o valor da área de captação constante.

Para a demanda de 500 L/dia resultados médios de eficiência acima de 90% só serão observados para o reservatório de 10000 L, com áreas de captação de 400 m² e 500 m², apresentando uma eficiência de 92,99% e 94,56%, respectivamente. O maior valor de falha no atendimento à demanda foi verificado para a cidade de Pelotas, com 83,84%, para a área de captação de 70 m² e reservatório de 500 L. O maior valor de eficiência no atendimento à demanda observados nas simulações foi de 98,37%, com o valor máximo de 15 dias falhos consecutivos, na cidade de Caxias do Sul, com área de 500 m² e reservatório de 10000 L. Para o volume mínimo de 500 L obteve-se valores médios de eficiência entre 19,55% e 34,42%, com um desvio padrão de 5,47%. Para reservatórios de 10000 L foram alcançados resultados de eficiência superiores a 37,13% para área de 70 m². O crescimento da eficiência em função do aumento do volume torna-se menos significativo para volumes superiores a 7000 L, tendendo a estabilidade, considerando o valor da área de captação constante. Quanto menor a área de captação, menos significativo mostra-se o crescimento da eficiência ao aumentar o tamanho do reservatório para a demanda mantida constante.

Os resultados médios de eficiência para a demanda de 600 L/dia mostram que índices de eficiência no atendimento à demanda acima de 90% somente são alcançados para grandes sistemas de aproveitamento pluvial implantados, isto é, para área de captação de 500 m² e reservatório de 10000 L, resultando em 90,6% de eficiência. O maior valor de falha no atendimento à demanda encontrado foi verificado para a cidade de Pelotas, com 89,29% para a área de 70 m² e reservatório de 500 L. O maior valor de eficiência no atendimento à demanda atingido foi de 96,39%, com 19 dias falhos consecutivos, para a área de 500 m² e reservatório de 10000 L, na cidade de Caxias do Sul. Para o volume mínimo de 500 L obteve-se valores médios de eficiência entre 13,15% e 22,34%, com um desvio padrão de 3,36%. Observa-se

também que, para a menor área do estudo (70 m²), não há significativo aumento da eficiência para reservatórios superiores a 5000 L. Já para a maior área de captação analisada (500 m²), há uma diferença relevante na eficiência ao atendimento da demanda com o aumento do reservatório, apresentando 22,34% para 500 L e 90,6% para 10000 L, resultando em um desvio padrão de 24,23%. O mesmo comportamento se repete para as áreas de 200 m², 300 m² e 400 m², com desvio padrão maior que 19%. Desta forma, percebe-se que o crescimento da eficiência em função do aumento do volume torna-se menos significativo para volumes superiores a 5000 L, tendendo a estabilidade para áreas de captação de 70 m² e 100 m². Já para volumes superiores a 7000 L a estabilidade tende a ocorrer para áreas de 150 m².

Percebe-se, portanto, que o aumento da demanda resulta na necessidade de implantação de sistemas de aproveitamento pluvial maiores, com áreas de captação e volumes de armazenamento maiores, caso se deseje alcançar uma eficiência no atendimento à demanda superior a 90%. Tais sistemas requererem maior área para sua implantação e maior disponibilidade de recursos para investimento. Por isso a importância de analisar o custo/benefício ou então o Tempo de Retorno do Capital investido (PERIUS, 2016).

Para a demanda de 700 L/dia resultados médios de eficiência acima de 90% não foram observados, sendo o maior valor 86,12%. O maior valor de falha no atendimento à demanda encontrado foi para a cidade de Pelotas, com 90,62%, para a área de 70 m² e reservatório de 500 L. O maior valor de eficiência encontrado foi de 93,41%, com 22 dias falhos consecutivos, para a área de 500 m² e reservatório de 10000 L, na cidade de Caxias do Sul. Para o volume mínimo de 500 L obteve-se valores médios de eficiência entre 11,77% e 21,78%, com um desvio padrão de 3,69. Observa-se também que, para a menor área do estudo (70 m²), não há significativo aumento da eficiência para reservatórios superiores a 3000 L, resultando um desvio padrão de 5,80, para as eficiências desta área. Já, para a maior área do estudo (500 m²), há uma diferença bem relevante na eficiência com o aumento do reservatório, apresentando 21,78% para 500 L e 86,12% para 10000 L, resultando em um desvio padrão de 22,96. O mesmo comportamento se repete para as áreas de 200 m², 300 m² e 400 m², com desvio padrão maior que 17. Desta forma, o crescimento da eficiência em função do aumento do volume torna-se menos significativo para volumes superiores a 3000 L, tendendo a estabilidade, para áreas de captação de 70 m² e 100 m², e volumes superiores a 5000 L, para áreas de 150 m².

Para a demanda de 800 L/dia foram observadas eficiência no atendimento à demanda acima de 80% para a área de captação de 500 m² e reservatório de 10000 L, sendo atingida eficiência de 81,44%. O maior valor de falha no atendimento à demanda encontrado foi verificado para a cidade de Pelotas, com 91,94% de falha no atendimento à demanda para a

área de 70 m² e reservatório de 500 L, o que se justifica em função da elevada demanda para um sistema de aproveitamento pluvial muito restrito em termos de coleta de água da área de captação e também, do pequeno volume disponível para armazenamento das águas coletadas (inferior a demanda requerida). O maior valor de eficiência observado foi de 89,61%, com 24 dias falhos consecutivos, para a área de 500 m² e reservatório de 10000 L, na cidade de Caxias do Sul. Para o volume mínimo de 500 L obteve-se valores médios de eficiência entre 10,47% e 21,35%, com um desvio padrão de 4,00%. Percebe-se também que, para a menor área do estudo (70 m²), não ocorre aumento significativo da eficiência para reservatórios superiores a 3000 L, resultando um desvio padrão de 4,80% para as eficiências avaliadas para essa área. Já para a maior área de captação simulada no estudo (500 m²), observa-se uma diferença relevante na eficiência ao atendimento à demanda com o aumento do volume do reservatório, atingindo-se 21,35% para 500 L e 81,44% para 10000 L, resultando em um desvio padrão de 21,08%. O mesmo comportamento se repete para as áreas de 150 m², 200 m², 300 m² e 400 m², com desvio padrão maior que 12%. Além disso, é perceptível que o crescimento da eficiência em função do aumento do volume torna-se menos significativo para volumes superiores a 3000 L, tendendo a estabilidade para áreas de captação de 70 m² e 100 m².

Para simulações com a demanda de 900 L/dia não foram observados resultados médios de eficiência ao atendimento da demanda acima de 80%, sendo o maior valor verificado igual a 77,19%. A maior falha no atendimento à demanda (92,82%) foi verificada para a cidade de Pelotas para a área e captação de 70 m² e volume de reservatório de 500 L, sendo observados 88 dias falhos consecutivos durante a simulação desse sistema de aproveitamento pluvial. Quando as cidades são analisadas de forma individual, observa-se que o maior valor de eficiência no atendimento à demanda (85,85%) ocorreu para a cidade de Caxias do Sul, com 26 dias falhos consecutivos, ocorrido para um sistema com área de captação de 500 m² e volume de reservatório de 10000 L. Para o volume mínimo de 500 L, inferior a demanda diária, obteve-se valores médios de eficiência entre 9,44% e 20,79%, com um desvio padrão de 4,18%. Quando avaliada a menor área de estudo (70 m²), não são percebidos aumentos significativos da eficiência para reservatórios superiores a 2000 L, resultando um desvio padrão de 3,99% para as eficiências resultantes de simulações com essa área de captação. Já para a maior área do estudo (500 m²) são visualizadas diferenças mais relevantes na eficiência ao atendimento da demanda para um aumento do reservatório. Nesse caso, são observadas eficiências de 20,79% para volumes de 500 L e 77,19% para reservatórios de 10000 L, resultando em um desvio padrão de 19,48%. O mesmo comportamento se repete para as áreas de 150 m², 200 m², 300 m² e 400 m², resultando em desvio padrão maior que 10%. Desse modo, o crescimento da eficiência

em função do aumento do volume torna-se menos significativo para volumes superiores a 2000 L, tendendo a estabilidade para áreas de captação de 70 m² e 100 m².

O maior resultado médio verificado para a eficiência ao atendimento da demanda para a demanda diária de 1000 L foi de 73,18%, sendo o maior valor de falha no atendimento à demanda encontrado para a cidade de Pelotas (93,47% de falha), para simulações com área de captação de 70 m² e reservatório de 500 L, observando-se, resultando em 130 dias falhos consecutivos. O maior valor de eficiência foi encontrado para a cidade de Caxias do Sul, que atingiu valor de 82,31%, com 27 dias falhos consecutivos, para a área de 500 m² e reservatório de 10000 L. Para o volume mínimo de 500 L obteve-se valores médios de eficiência entre 8,53% e 20,41%, com um desvio padrão de 4,36%. Observa-se que o crescimento da eficiência no atendimento à demanda, em função do aumento do volume do reservatório, torna-se menos significativo para volumes superiores a 1000 L, tendendo a estabilidade para áreas de captação de 70 m² e 100 m². De fato, para as menores área de captação simuladas no estudo (70 m²), não ocorrem aumentos significativos da eficiência para reservatórios superiores a 1000 L, resultando em um desvio padrão de 3,48% para as eficiências verificadas em simulações com essa área de captação. Em contrapartida, para a maior área do estudo (500 m²), observa-se uma diferença relevante na eficiência ao atendimento da demanda com o aumento do volume do reservatório simulado, apresentando 20,79% para 500 L e 77,19% para 10000 L, resultando em um desvio padrão de 18,34%. Comportamento semelhante é verificado para as áreas de 150 m², 200 m², 300 m² e 400 m², com desvio padrão maior que 9,00%.

Por fim, pode-se afirmar que a implementação de sistemas de aproveitamento de água da chuva no Rio Grande do Sul é viável e traz inúmeras vantagens e benefícios, porém requer uma abordagem cuidadosa e individualizada. É essencial conduzir estudos prévios em cada caso específico, considerando as variáveis de interferência locais (SEEGGER, 2008). Avaliar fatores como a pluviosidade, as características do espaço disponível para implantação do reservatório, a área de captação, tanto em tamanho quanto o material, e a demanda de água é crucial para determinar a eficiência pretendida do sistema. Além disso, é importante estabelecer orçamentos claros, compreendendo quanto se está disposto a investir na implantação do sistema (PERIUS, 2016). Somente por meio de uma análise minuciosa desses elementos será possível garantir o sucesso e a sustentabilidade dos projetos de aproveitamento de água da chuva na região.

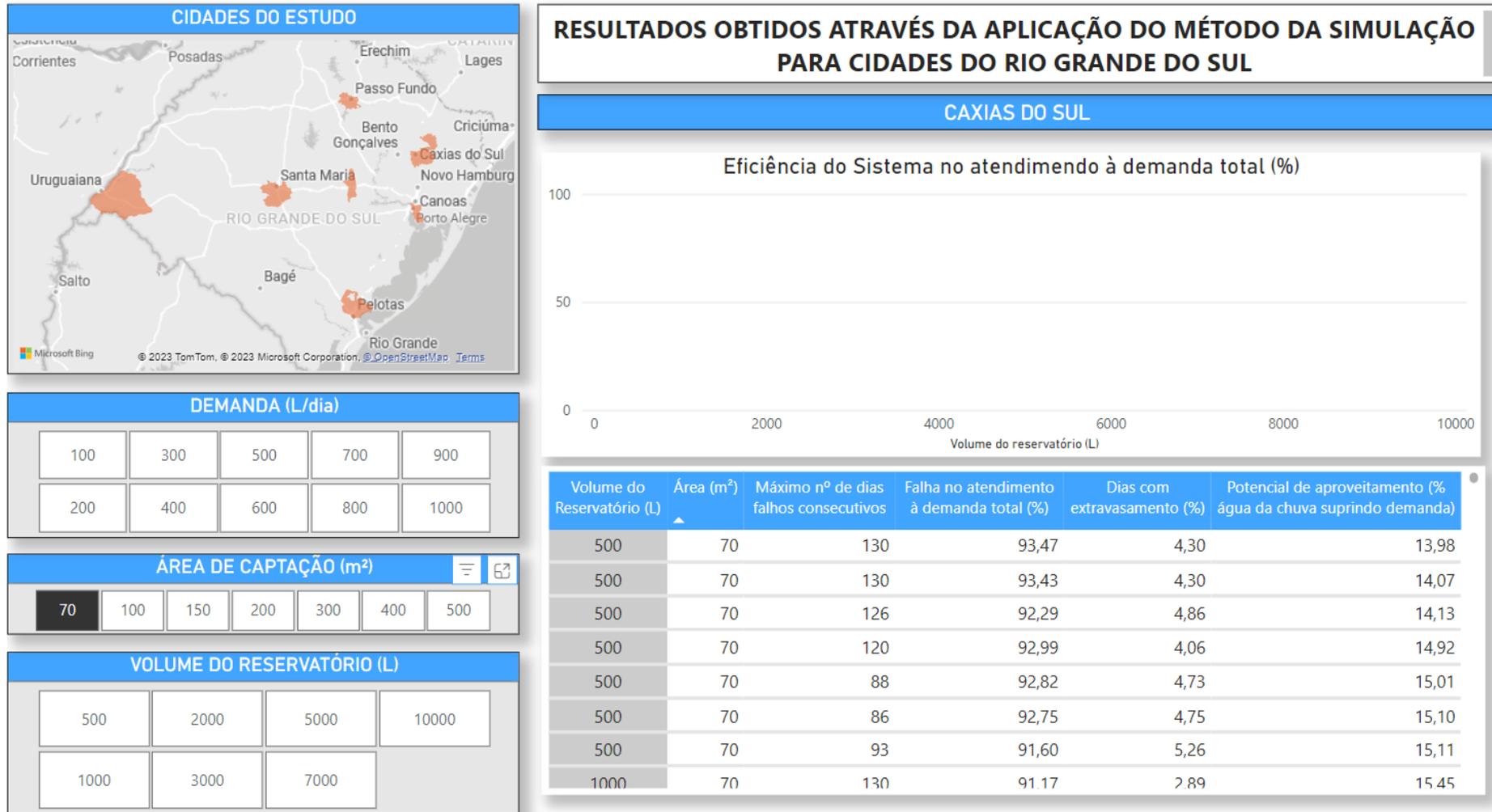
4.3. CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS E CONSTRUÇÃO DO DASHBOARD POWER BI

Com o intuito de simplificar a visualização e acesso aos dados provenientes das simulações dos sistemas de aproveitamento pluvial, desenvolveu-se um *dashboard* utilizando a ferramenta Power BI. Após a consolidação, o *dashboard* foi disponibilizado *online*, permitindo acesso a quem desejar explorar as informações e visando aumentar a utilização desse tipo de sistema, por meio da facilitação no acesso aos dados. Na Figura 19 é apresentada a interface do Power BI ao clicar no link de acesso.

Ao explorar o *dashboard*, o procedimento inicial consiste na escolha da cidade desejada, seguida pela seleção da demanda diária de água necessária e, por último, pela indicação da área disponível para captação de água da chuva. Como resultado, o *dashboard* apresenta ao usuário um gráfico que ilustra a eficiência no atendimento à demanda em relação ao volume do reservatório, além de fornecer uma tabela com dados detalhados referentes ao sistema selecionado. No exemplo mostrado na Figura 20 selecionou-se a cidade de Caxias do Sul, demanda de 500 L/dia e área de captação de 200 m².

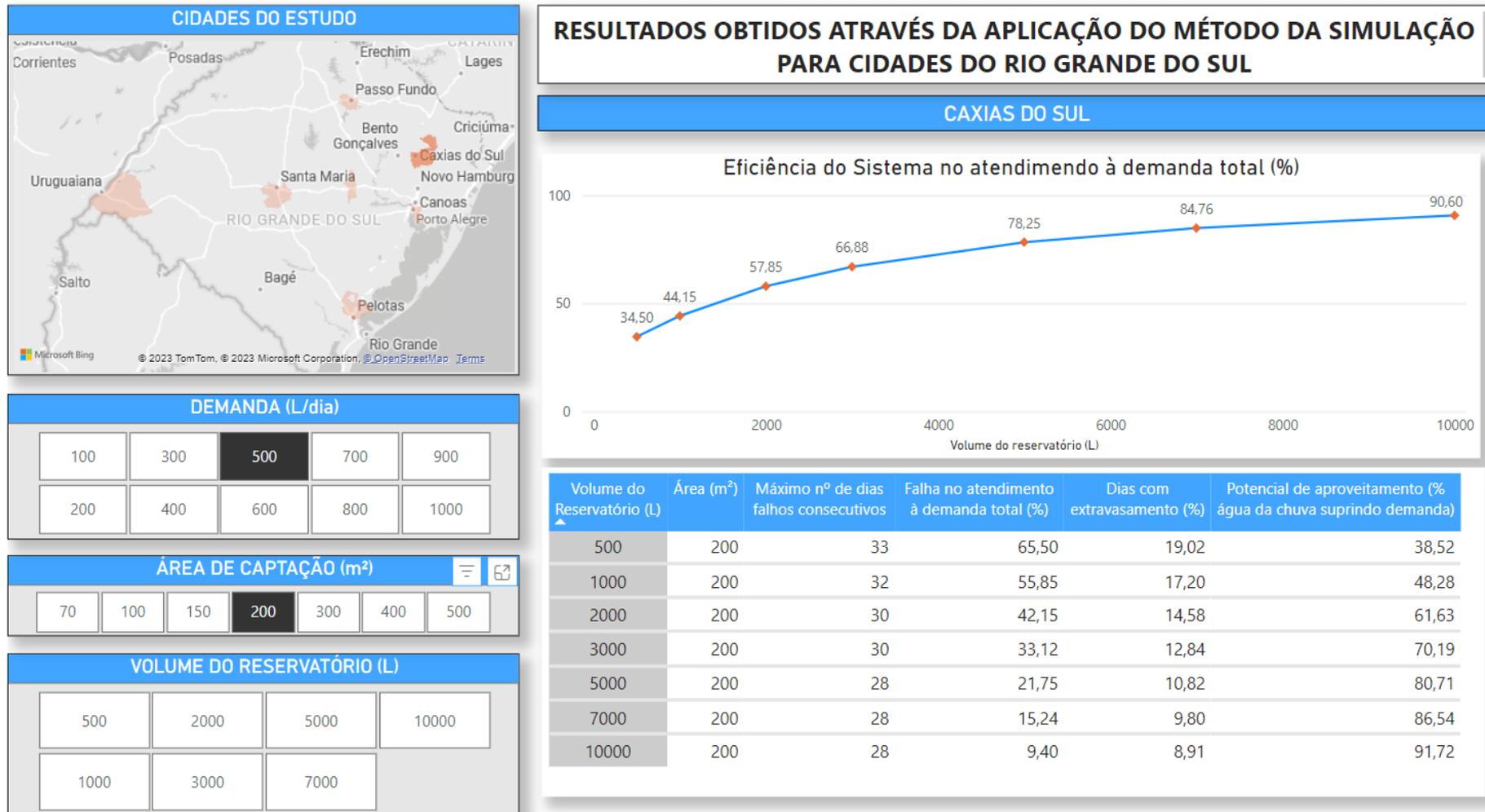
O *dashboard* desenvolvido pode ser acessado através do link: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMTlkNDIzZjYtY2MwZS00ZDdkLWFiZDUtZGEwZWE3ZmRIOTQ1IiwidCI6IjI2NDljOGVmLWZlMDktNDZlZC05MTg4LTAxZDhhMmZiZDE4MyJ9>.

Figura 19 – Dashboard desenvolvido utilizando a ferramenta Power BI, com base nos dados das simulações dos sistemas de aproveitamento.



Fonte: autora (2023).

Figura 20 – Dashboard desenvolvido utilizando a ferramenta Power BI, aplicando um exemplo para a cidade de Caxias do Sul.



Fonte: autora (2023).

5 CONCLUSÃO

O aproveitamento da água da chuva apresenta grande contribuição para reduzir o déficit hídrico em termos quantitativos, destacando-se por sua simplicidade e constituindo-se em uma das soluções mais econômicas para preservar a água potável, sendo também uma alternativa para o controle de enchentes, grave problema de regiões com grandes áreas impermeáveis. No entanto, a difusão desses sistemas de aproveitamento pluvial depende, dentre outras coisas, da viabilidade econômica de suas implantações.

É possível afirmar que uma área de captação maior resultará em uma economia mais expressiva no fornecimento externo de água. No entanto, essa economia está intrinsecamente ligada à relação entre a área de captação e o volume do reservatório. Por exemplo, se a opção for um volume de captação pequeno, é ineficaz planejar uma área de captação extensa, pois, no momento da precipitação, a água coletada facilmente preencherá esse volume, resultando no descarte do excedente, sem aproveitamento. O mesmo cenário se aplica quando se opta por volumes consideravelmente elevados de reservatórios para uma área de coleta pequena. Na prática, é pouco provável que esses volumes atinjam sua capacidade máxima com frequência, resultando em um desperdício de espaço físico e dos recursos empregados na construção ou implantação do sistema de aproveitamento.

Resultados acima de 90% de eficiência são considerados ótimos, tendo em vista que isso significa que mais de 90% da água da chuva que é coletada e armazenada está sendo utilizada de maneira eficiente, contribuindo significativamente para a redução da dependência de fontes externas de água. Uma alta eficiência indica que o sistema está bem projetado e operando de maneira eficaz, minimizando as perdas e maximizando a utilização da água coletada.

Os resultados médios de eficiência do sistema acima de 90%, apresentados para a demanda de 100 L/dia, já foi possível de se obter em sistemas menores (área de 70 m² e reservatório de 2000 L). Ainda, para a demanda de 200 L/dia, eficiência acima de 90% foi obtida para a área de 100 m² e 7000 L para o tamanho do reservatório, sendo também um sistema menor. Para a demanda de 300 L/dia, é necessário um sistema médio para garantir um resultado acima de 90%, sendo possível de se obter com a área de 150 m² apenas com o reservatório de 10000 L. Já, para a demanda de 400 L/dia, sistemas médios também são necessários para suprir uma eficiência acima de 90%, sendo possível de se atingir com a área de 300 m² e reservatório de 7000 L. Por outro lado, para a demanda de 500 L/dia, faz-se necessário a implantação de um sistema maior para satisfazer uma eficiência acima de 90%,

sendo área de 400 m² e reservatório de 10000 L. A demanda de 600 L/dia requer o maior sistema do estudo para atingir a eficiência de 90%, sendo ele com reservatório de 10000 L e área de 500 m². Demandas acima de 600 L/dia não possuem eficiência acima de 90%. Dessa forma, para garantir eficiências entre 70% e 90%, demandas de 700, 800, 900 e 1000 L/dia, requerem sistemas maiores, com áreas de captação acima de 300 m² e reservatórios acima de 7000 L.

De modo geral, observou-se uma consistência no padrão de eficiência média do sistema em face das diversas demandas analisadas. Houve um crescimento nos índices de eficiência ao ampliar a área (com o volume mantido constante) e ao aumentar o volume (com a área mantida constante). No entanto, a variação na eficiência diminui à medida que a área de captação se expande para um volume constante. Ou seja, os acréscimos nos índices tornam-se menos expressivos à medida que se amplia a área de captação sem modificar o reservatório; isso provavelmente ocorre pela falta de volume suficiente para armazenar toda a água que poderia ser coletada. Da mesma forma, ao considerarmos uma área de captação específica e um volume de reservatório constante, a eficiência no atendimento da demanda é reduzida diante de um aumento na demanda diária simulada.

A implementação do Power BI neste estudo foi um elemento-chave para a consolidação e apresentação eficiente de dados provenientes das simulações dos sistemas de aproveitamento de água da chuva. Ao adotar essa ferramenta, foi possível criar *dashboards* dinâmicos e acessíveis, oferecendo ao usuário uma visualização clara e interativa dos resultados das simulações. A publicação online dos recursos não apenas amplia o acesso às informações, mas também democratiza a compreensão dos sistemas de aproveitamento de água da chuva, considerando o número de variáveis envolvidas. O Power BI, por sua capacidade de simplificar a comunicação técnica e sua interface intuitiva, oferece um diálogo mais aberto entre a pesquisa e a comunidade, impulsionando a compreensão coletiva e tornando-se uma ferramenta de conscientização e de promoção da adoção de práticas sustentáveis na gestão de recursos hídricos.

Recomenda-se a continuidade da pesquisa por meio de um estudo adicional, explorando a capacidade do Power BI em fornecer *insights* sobre o tamanho ideal de reservatório a ser selecionado para os sistemas em questão, considerando também aspectos financeiros. Essa abordagem possibilitará não apenas otimizar a eficiência operacional dos sistemas de aproveitamento de água da chuva, mas também oferecerá uma perspectiva financeira que pode influenciar significativamente as decisões de implementação e manutenção dos sistemas de aproveitamento pluvial no estado do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual. Brasília: ANA, 2020. 118p

_____. **ODS 6 no Brasil**: visão da ANA sobre os indicadores. Brasília: ANA, 2019. 94 p.

_____. **HIDROWEB: Séries Históricas de Estações**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 17 ago. 2021.

_____. **Contas econômicas ambientais da água no Brasil 2013–2015**. Agência Nacional de Águas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. Brasília: ANA, 2018. 79 p.

_____. **HIDROWEB (com dados do inventário atualizado em 24/06/2016)**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=6010>. Acessado em: 28 de junho de 2016.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5.625**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998, 41p.

_____. **NBR 5.626**: Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2020, 56p.

_____. **NBR 10.844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989, 13p.

_____. **NBR 16.782**: Conservação de água em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019b, 22p.

_____. **NBR 16.783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019c, 19p.

_____. **NBR 15.527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007, 8p.

_____. **NBR 15.527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019a, 10p.

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: 8a ed., 2002. 669p. Editora: Edgard Blucher.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2008. p. 23-40.

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

BIELENKI JUNIOR, C. et al. Alternative methodology to gap filling for generation of monthly rainfall series with GIS approach. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 23, e. 29, 2018. DOI: 10.1590/2318-0331.231820170171

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. *Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal*: Brasília, Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

BRASIL. Projeto de Lei nº 7.818, de 16 de julho de 2014. Institui a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais. *Câmara dos Deputados*: Brasília, 2014. 92 p.

BRASIL. Lei nº 13.501, de 30 de outubro de 2017. Altera o art. 2º da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos. *Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal*: Brasília, Secretaria de Recursos Hídricos, 1917. 1p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Guia orientativo das normas de conservação de água, fontes alternativas não potáveis e aproveitamento de água de chuva em edificações**. SODRÉ, V. D. de A.; FUKASAWA, B. N.; Oliveira, M. R. Brasília-DF: CEBIC, 2019. 156p.

CARVALHO, G. dos S.; OLIVEIRA, S. C. de; MORUZZI, R. B. Cálculo do Volume do Reservatório de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva: comparação entre métodos para aplicação em residência unifamiliar. **Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**, v. 10, 2007.

CARVALHO JUNIOR, R. de. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. São Paulo: Blucher, 2017. 288p.

CRUZ, M. M. da; BEZERRA, A. F.; MAIA, A. G. Análise da eficiência dos métodos de dimensionamento de cisternas nas zonas pluviais homogêneas do Rio Grande do Norte. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, **Anais...**, Florianópolis-SC, 2017. Disponível em: <http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/60/PAP022798.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2021.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. Captação e Aproveitamento de Água de Chuvas: Dimensionamento de Reservatórios. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9. ed., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008.

COHIM, E.; OLIVEIRA, C. A Importância do Intervalo de Tempo na Simulação do Funcionamento de um Reservatório de Água de Telhado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25. ed., 2009, Recife. **Anais...** Recife, 2009.

- DALSENTER, M. E. V. **Estudo de potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial em um condomínio residencial multifamiliar localizado em Florianópolis-SC**. 2016. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- DORNELLES, F. **Aproveitamento de água da chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012. 234p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- FEWKES, A. A review of rainwater harvesting in the UK. **Structural Survey**, v.30, n.2, p. 174-194. 2012.
- FUGI, A. M. **Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares em Blumenau**. 2019. 95p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.
- GAITÁN, M. C. P.; TEIXEIRA, B. A. do N. Aproveitamento de água pluvial e sua relação com ações de conservação de água: estudo de caso em hospital universitário, São Carlos (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental** [online]. 2020, v. 25, n. 1, p. 133-144. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020189032>. Acesso em: 30 jul. 2021.
- GERALDI, M. S. **Influência do tamanho de séries temporais de precipitação em simulações de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações**. 2017, 251f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.
- GHISI, E.; CARDOSO, K. A.; RUPP, R. F. Short-term versus long-term rainfall time series in the assessment of potable water savings by using rainwater in houses. **Journal of environmental management**, v.100, p.109–19. 2012.
- GHISI, E.; BRESSAN, D.; MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1654-1666, Apr. 2007.
- GHISI, E.; SCHONDERMARK, P. N. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. **Water Resources Management**, v. 27, n. 7, p. 2555–2576. 2013.
- HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 2009, 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.
- HENTGES, S. C. **Efeito de reservatório de aproveitamento de água de chuva sobre redes de drenagem pluvial**. 2013, 258f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.
- IMMICH JÚNIOR, E. G. **Eficácia de sistema de aproveitamento de água da chuva: efeito do tamanho da série de precipitações**. 2013, 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Agência IBGE Notícias:** Em apenas 3,6% dos municípios empresas privadas são responsáveis pelo abastecimento de água. 2020. Estatísticas sociais. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28325-em-apenas-3-6-dos-municipios-empresas-privadas-sao-responsaveis-pelo-abastecimento-de-agua>. Acesso em: 01 ago. 2021.

_____. **Malha Municipal.** 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em 17 ago 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Uso de água de chuva. 2015. Disponível em: https://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=892. Acesso em: 30 ago. 2021.

KIM, J.; RYU, J. H. A Heuristic Gap Filling Method for Daily Precipitation Series. **Water Resources Management**, v. 30, n. 7, p. 2275-2294, 2016.

KUMMU, M. et al. Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. **Environmental Research Letters**, v. 5, 2010.

MICROSOFT. **O que é Power BI?** 2023. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>. Acesso em: 09 dez. 2023.

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

MOURA, M. R. F. de; SILVA, S. R. da; BARROS, E. X. do R. Análise de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em um empreendimento residencial na cidade de Recife-PE. **TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v. 22, n. 1, p. 66-72, jan./jun. 2018.

OHNUMA, A. A. et al. Qualidade de águas pluviais em regime de first flush. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 10. ed., 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo-SP: ABRH.

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

PERIUS, C. F. **Variáveis de projeto e sua influência no desempenho e dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água da chuva.** 2016, 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

POZZEBON, P. H. B.; GASTALDINI, M. do C. C. Dimensionamento e simulação do comportamento de um reservatório para aproveitamento de água da chuva para uso não potável em Santa Maria-RS. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 1-8, 2013.

- ROSAS, D. F. **Caracterização físico-química e análise da estrutura da comunidade microbiana na água da chuva de um sistema de aproveitamento de água pluviais.** 2020, 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.
- SARI, V. et al. Eficiência de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em municípios do estado do Rio Grande do Sul/Brasil. **REGA**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 37-52, jul./dez. 2010.
- SEEGER, L. M. K. **Eficiência dos sistemas de aproveitamento das águas pluviais na região central do rio grande do sul.** 2008, 212f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- SIEVERS, C. K.; PINHEIRO, A. Trincheira de infiltração em série com reservatório de água de chuva. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 15, n. 1, p. 52-59, 2014.
- SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of daily potable water demand on the performance evaluation of rainwater harvesting systems in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, v. 180, p. 82-93. 2016.
- SEMPRESUSTENTÁVEL. Projeto experimental de aproveitamento de água da chuva com a tecnologia da mini cisterna para residência urbana: **Manual de construção e instalação.** 2018. Disponível em: <https://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/minicisterna/minicisterna.htm>. Acesso em: 30 ago. 2021.
- SOUZA, E.L.; GHISI, E. Potable water savings by using rainwater for non-potable uses in houses. **Water**, v.4, n.3, pp.607–628. 2012.
- STEFFEN, J. et al. Water supply and stormwater management benefits of residential rainwater harvesting in U.S. cities. **Journal of The American Water Resources Association**, 2013. p. 810-824.
- TEIXEIRA, C. A. et al. Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis. **Ambiente Construído [online]**, Porto Alegre, v.17, n.2, p.135-155, 2017. DOI:10.1590/S1678-86212017000200150.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis.** 4ª ed. São Paulo: Ed. Navegar, 2010. 208 p.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação.** 2ª ed. Porto Alegre: Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ABRH, 2001. 943 p.
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.1-16, 2008.
- TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, Dez. 2003, v. 55, n. 4, p. 31-33. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400018&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 02 ago. 2021.

TUNDISI, J. G. et al. Conservação e uso sustentável de recursos hídricos. In: BARBOSA, F. A. (Org.) **Ângulos da água: desafios da integração**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. p.157-83.

TURBAN, E. et al. **Business Intelligence: Um enfoque gerencial para a inteligência do negócio**. Porto Alegre: Bookman (Artmed), 2009.

UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019**. Não deixar ninguém para trás – fatos e dados. Resumo executivo. Perúgia: UN Water, 2019. 12p.

VERÓL, A. P.; VAZQUEZ, E. G.; MIGUEZ, M. G. **Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários. Projetos Práticos e Sustentáveis**. 1. ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2019. 427p.

VILLARREAL, E. L.; DIXON, A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. **Building and Environment**, 2004. p. 1174-1184.

WADA, Y. et al. Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. **Environmental Research Letters**, v.8, 2013.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.

ZHANG, Y. et al. Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. **Journal of environmental management**, v.91, n.1, p.222–226. 2009.

APÊNDICE A - RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 100 L/DIA

Demanda diária (L) = 100					
Volume do Reservatório (L)	Dias fálhos consecutivos	Falha no atendimento à demanda total (%)	Eficiência do Sistema no atendimento a demanda total (%)	Dias com extravasamento (%)	Potencial de aproveitamento (%)
Área (m²) = 70 m²					
500	48,14	38,36	61,64	15,14	63,68
1000	44,43	21,61	78,39	13,23	79,92
2000	36,71	8,41	91,59	11,86	92,25
3000	28,71	3,88	96,12	11,45	96,43
5000	15,14	0,91	99,09	11,19	99,16
7000	6	0,18	99,82	11,13	99,84
10000	0,43	0,01	99,99	11,12	99,99
Desvio Padrão (%)	20,13	13,97	13,97	3,07	13,21
Área (m²) = 100 m²					
500	44,57	35,02	64,98	17,23	66,44
1000	40,14	17,71	82,29	15,77	83,35
2000	30,57	5,44	94,56	14,87	94,92
3000	23,14	2,02	97,98	14,61	98,13
5000	11	0,31	99,69	14,47	99,72
7000	2,14	0,04	99,96	14,46	99,96
10000	0	0	100	14,46	100
Desvio Padrão (%)	20,26	12,75	12,75	3,01	12,21
Área (m²) = 150 m²					
500	42	32,41	67,59	19,1	68,66
1000	37,57	14,9	85,1	18,17	85,88
2000	28,43	3,85	96,15	17,56	96,42
3000	20	1,09	98,91	17,42	99
5000	8,57	0,15	99,85	17,38	99,86
7000	1,57	0,02	99,98	17,37	99,98
10000	0	0	100	17,37	100
Desvio Padrão (%)	19,22	11,78	11,78	3,02	11,38
Área (m²) = 200 m²					
500	41,57	31,02	68,98	20,22	69,85
1000	37,14	13,42	86,58	19,44	87,15
2000	27,71	3,08	96,92	19,05	97,1
3000	18,29	0,79	99,21	18,98	99,25
5000	7,86	0,11	99,89	18,96	99,9
7000	0	0	100	18,96	100
10000	0	0	100	18,96	100
Desvio Padrão (%)	19,35	11,25	11,25	3,01	10,93
Área (m²) = 300 m²					
500	41,43	29,45	70,55	21,44	71,11
1000	36,71	12,02	87,98	20,85	88,38
2000	27	2,48	97,52	20,57	97,65
3000	17,43	0,6	99,4	20,53	99,43
5000	6	0,07	99,93	20,51	99,93
7000	0	0	100	20,5	100
10000	0	0	100	20,5	100
Desvio Padrão (%)	19,52	10,67	10,67	3,06	10,46
Área (m²) = 400 m²					
500	41,14	28,66	71,34	22,06	71,75
1000	36,43	11,27	88,73	21,61	89
2000	26,43	2,18	97,82	21,42	97,91
3000	17,14	0,51	99,49	21,38	99,51
5000	5,57	0,07	99,93	21,37	99,93
7000	0	0	100	21,37	100
10000	0	0	100	21,37	100
Desvio Padrão (%)	19,58	10,36	10,36	3,04	10,21
Área (m²) = 500 m²					
500	40,71	28,08	71,92	22,48	72,15
1000	36,14	10,8	89,2	22,13	89,38
2000	26,14	1,98	98,02	21,96	98,09
3000	16,86	0,47	99,53	21,94	99,55
5000	5,29	0,07	99,93	21,93	99,93
7000	0	0	100	21,93	100
10000	0	0	100	21,93	100
Desvio Padrão (%)	19,53	10,15	10,15	3,03	10,06

APÊNDICE B - RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 200 L/DIA

Demanda diária (L) = 200					
Volume do Reservatório (L)	Dias falhos consecutivos	Falha no atendimento à demanda total (%)	Eficiência do Sistema no atendimento a demanda total (%)	Dias com extravasamento (%)	Potencial de aproveitamento (%)
Área (m²) = 70 m²					
500	54,86	62,65	37,35	12,48	43,19
1000	52,71	48,03	51,97	9,78	55,44
2000	50,57	34,58	65,42	7,16	68,32
3000	49	27,39	72,61	5,87	74,96
5000	46,43	19,61	80,39	4,57	82,07
7000	45,43	15,54	84,46	3,95	85,75
10000	44	11,92	88,08	3,3	89,09
Desvio Padrão (%)	11,22	18,56	18,56	3,62	17,01
Área (m²) = 100 m²					
500	52	59,25	40,75	14,95	46,19
1000	49,29	42,28	57,72	12,68	60,28
2000	46	26,81	73,19	10,41	75,21
3000	43,43	18,67	81,33	9,26	82,84
5000	39,57	10,43	89,57	8,23	90,4
7000	36,14	6,49	93,51	7,78	94,04
10000	29,86	3,34	96,66	7,44	96,93
Desvio Padrão (%)	13,91	19,83	19,83	3,49	18,24
Área (m²) = 150 m²					
500	49,14	56,52	43,48	17,29	48,76
1000	46,14	37,68	62,32	15,52	64,28
2000	42,14	20,73	79,27	13,71	80,72
3000	38,14	12,27	87,73	12,89	88,71
5000	31,29	5,05	94,95	12,25	95,36
7000	22,86	2,34	97,66	12	97,87
10000	13,57	0,72	99,28	11,88	99,33
Desvio Padrão (%)	16,98	19,93	19,93	3,26	18,33
Área (m²) = 200 m²					
500	47,14	54,94	45,06	18,68	50,16
1000	44,57	35,02	64,98	17,23	66,44
2000	40,14	17,71	82,29	15,77	83,35
3000	35,14	9,5	90,5	15,14	91,15
5000	26,86	3,28	96,72	14,7	96,96
7000	19,71	1,22	98,78	14,55	98,86
10000	11	0,31	99,69	14,47	99,72
Desvio Padrão (%)	18,54	19,6	19,6	3,13	18,06
Área (m²) = 300 m²					
500	44,29	53,31	46,69	20,21	51,66
1000	42	32,41	67,59	19,1	68,66
2000	37,57	14,9	85,1	18,17	85,88
3000	33,14	7,31	92,69	17,72	93,12
5000	23,57	2,01	97,99	17,47	98,14
7000	17,43	0,64	99,36	17,4	99,4
10000	8,57	0,15	99,85	17,38	99,86
Desvio Padrão (%)	18,02	19,12	19,12	3,06	17,63
Área (m²) = 400 m²					
500	44,14	52,44	47,56	21,12	52,46
1000	41,57	31,02	68,98	20,22	69,85
2000	37,14	13,42	86,58	19,44	87,15
3000	32,43	6,25	93,75	19,14	94,07
5000	22,71	1,52	98,48	19,01	98,57
7000	15,71	0,48	99,52	18,97	99,55
10000	7,86	0,11	99,89	18,96	99,9
Desvio Padrão (%)	18,35	18,83	18,83	3,03	17,36
Área (m²) = 500 m²					
500	44,14	51,66	48,34	21,64	52,98
1000	41,43	29,87	70,13	20,88	70,61
2000	36,71	12,47	87,53	20,23	87,89
3000	31,86	5,58	94,42	19,99	94,61
5000	22,14	1,28	98,72	19,87	98,78
7000	14,71	0,38	99,62	19,83	99,63
10000	6,57	0,08	99,92	19,82	99,92
Desvio Padrão (%)	18,76	18,54	18,54	3,02	17,18

APÊNDICE C – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 300 L/DIA

Demanda diária (L) = 300					
Volume do Reservatório (L)	Dias falhos consecutivos	Falha no atendimento à demanda total (%)	Eficiência do Sistema no atendimento a demanda total (%)	Dias com extravasamento (%)	Potencial de aproveitamento (%)
Área (m²) = 70 m²					
500	55,86	73,71	26,29	10,75	33,88
1000	54,86	62,81	37,19	8,05	42,61
2000	53,71	52,55	47,45	5,18	52,35
3000	52,86	46,44	53,56	3,63	57,66
5000	50,86	40,54	59,46	2,14	63,14
7000	49,43	37,41	62,59	1,46	65,95
10000	48,86	34,99	65,01	0,91	68,13
Desvio Padrão (%)	10,54	15,14	15,14	3,65	13,72
Área (m²) = 100 m²					
500	55,57	70,69	29,31	13,35	36,9
1000	54,14	57,29	42,71	10,97	47,46
2000	52,43	44,26	55,74	8,26	59,97
3000	50,71	35,77	64,23	6,74	67,2
5000	49	27,2	72,8	5,15	75,2
7000	47,57	22,22	77,78	4,26	79,73
10000	46,86	17,79	82,21	3,55	83,69
Desvio Padrão (%)	10,59	19,29	19,29	3,81	17,38
Área (m²) = 150 m²					
500	53	67,9	32,1	16	39,58
1000	51	52,45	47,55	14,02	51,68
2000	48,43	37,15	62,85	11,65	66,54
3000	46	26,81	73,19	10,41	75,21
5000	43	16,87	83,13	9,01	84,61
7000	40,29	11,41	88,59	8,32	89,54
10000	36,57	7	93	7,84	93,58
Desvio Padrão (%)	12,1	21,67	21,67	3,62	19,5
Área (m²) = 200 m²					
500	52,14	66,52	33,48	17,54	41,05
1000	50,14	49,86	50,14	15,94	54
2000	47,57	33,46	66,54	13,93	70,03
3000	44,43	22,31	77,69	12,82	79,31
5000	40,14	12,08	87,92	11,72	89,06
7000	35	6,99	93,01	11,21	93,58
10000	27,29	3,42	96,58	10,87	96,84
Desvio Padrão (%)	13,64	22,48	22,48	3,44	20,19
Área (m²) = 300 m²					
500	48	64,85	35,15	19,31	42,64
1000	46,29	46,95	53,05	18,08	56,5
2000	43,71	29,54	70,46	16,62	73,64
3000	40,14	17,71	82,29	15,77	83,35
5000	34,14	8,04	91,96	15,03	92,7
7000	28,14	3,91	96,09	14,76	96,41
10000	20,57	1,48	98,52	14,56	98,64
Desvio Padrão (%)	17,18	22,75	22,75	3,17	20,41
Área (m²) = 400 m²					
500	45,14	63,99	36,01	20,4	43,51
1000	43,43	45,43	54,57	19,32	57,83
2000	41,29	27,53	72,47	18,19	75,5
3000	37,71	15,56	84,44	17,55	85,25
5000	32,14	6,54	93,46	17,04	94,05
7000	25,57	2,81	97,19	16,83	97,41
10000	18,57	0,89	99,11	16,74	99,17
Desvio Padrão (%)	16,77	22,7	22,7	3,11	20,35
Área (m²) = 500 m²					
500	45,14	63,36	36,64	21,01	44,06
1000	43,29	44,29	55,71	20,13	58,67
2000	41	26,31	73,69	19,18	76,61
3000	37,43	14,27	85,73	18,64	86,38
5000	31,86	5,72	94,28	18,22	94,8
7000	25	2,25	97,75	18,11	97,91
10000	17,57	0,67	99,33	18,05	99,37
Desvio Padrão (%)	16,95	22,58	22,58	3,06	20,26

APÊNDICE D – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 400 L/DIA

Demanda diária (L) = 400					
Volume do Reservatório (L)	Dias falhos consecutivos	Falha no atendimento à demanda total (%)	Eficiência do Sistema no atendimento a demanda total (%)	Dias com extravasamento (%)	Potencial de aproveitamento (%)
Área (m²) = 70 m²					
500	59	77,52	22,48	9,52	28,44
1000	58,57	71,68	28,32	6,98	34,86
2000	57,86	63,13	36,87	4,09	42,19
3000	56,86	59,28	40,72	2,63	46,05
5000	56,29	54,94	45,06	1,25	49,96
7000	56,29	52,99	47,01	0,68	51,74
10000	56,29	51,69	48,31	0,31	52,9
Desvio Padrão (%)	10,99	11,06	11,06	3,41	10,44
Área (m²) = 100 m²					
500	55,86	73,86	26,14	12,24	31,48
1000	55,14	66,51	33,49	9,76	39,58
2000	54	54,47	45,53	6,94	49,72
3000	53,43	48,63	51,37	5,26	55,69
5000	52	41,09	58,91	3,47	62,56
7000	50,57	36,99	63,01	2,53	66,3
10000	49,29	33,32	66,68	1,73	69,59
Desvio Padrão (%)	10,45	15,67	15,67	3,92	14,71
Área (m²) = 150 m²					
500	54	70,59	29,41	14,97	34,23
1000	53,14	61,96	38,04	12,97	43,83
2000	50,86	46,84	53,16	10,3	56,47
3000	49,71	39,18	60,82	8,79	64,39
5000	47,43	28,8	71,2	7,01	73,77
7000	46	22,9	77,1	6,04	79,11
10000	42,71	17,41	82,59	5,22	84,06
Desvio Padrão (%)	9,32	19,6	19,6	3,91	18,26
Área (m²) = 200 m²					
500	53	68,58	31,42	16,61	35,76
1000	52	59,25	40,75	14,95	46,19
2000	49,29	42,28	57,72	12,68	60,28
3000	47,43	33,95	66,05	11,29	69,1
5000	44,86	22,4	77,6	9,73	79,57
7000	42,71	16,02	83,98	8,91	85,39
10000	39,57	10,43	89,57	8,23	90,4
Desvio Padrão (%)	11,77	21,18	21,18	3,68	19,78
Área (m²) = 300 m²					
500	50,14	66,57	33,43	18,61	37,45
1000	49,14	56,52	43,48	17,29	48,76
2000	46,14	37,68	62,32	15,52	64,28
3000	44,29	28,61	71,39	14,46	74,06
5000	40,14	16,15	83,85	13,23	85,33
7000	36,43	9,72	90,28	12,68	91,15
10000	31,29	5,05	94,95	12,25	95,36
Desvio Padrão (%)	14,17	22,47	22,47	3,37	21
Área (m²) = 400 m²					
500	48	65,28	34,72	19,73	38,37
1000	47,14	54,94	45,06	18,68	50,16
2000	44,57	35,02	64,98	17,23	66,44
3000	42,86	25,86	74,14	16,35	76,57
5000	38	13,28	86,72	15,4	87,95
7000	33,43	7,28	92,72	14,99	93,34
10000	26,86	3,28	96,72	14,7	96,96
Desvio Padrão (%)	16,32	22,76	22,76	3,19	21,33
Área (m²) = 500 m²					
500	45,14	64,43	35,57	20,46	38,96
1000	44,29	53,78	46,22	19,47	51,04
2000	42	33,25	66,75	18,25	67,78
3000	40,43	24,01	75,99	17,57	78,09
5000	35,86	11,63	88,37	16,78	89,34
7000	31,43	6,06	93,94	16,49	94,4
10000	24,29	2,45	97,55	16,29	97,71
Desvio Padrão (%)	15,9	22,8	22,8	3,13	21,43

APÊNDICE E – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 500 L/DIA

Demanda diária (L) = 500					
Volume do Reservatório (L)	Dias falhos consecutivos	Falha no atendimento à demanda total (%)	Eficiência do Sistema no atendimento a demanda total (%)	Dias com extravasamento (%)	Potencial de aproveitamento (%)
Área (m²) = 70 m²					
500	67,86	80,45	19,55	8,45	24,85
1000	67	75,98	24,02	6,15	29,73
2000	66,43	70,64	29,36	3,4	35,33
3000	66,29	67,78	32,22	2,01	38,21
5000	66,29	64,88	35,12	0,85	40,94
7000	66,29	63,65	36,35	0,41	42,07
10000	66,29	62,87	37,13	0,15	42,76
Desvio Padrão (%)	13,85	8,12	8,12	3,08	8,09
Área (m²) = 100 m²					
500	56,43	76,47	23,53	11,24	27,9
1000	55,86	70,46	29,54	8,9	34,27
2000	55,29	62,49	37,51	6,05	42,44
3000	54,43	57,54	42,46	4,32	47,31
5000	53,29	51,79	48,21	2,55	52,8
7000	52,14	48,6	51,4	1,66	55,75
10000	50,43	45,96	54,04	0,99	58,13
Desvio Padrão (%)	10,64	12,26	12,26	3,81	12,08
Área (m²) = 150 m²					
500	55,71	72,75	27,25	14,1	30,71
1000	55	65,2	34,8	12,11	38,51
2000	54	54,67	45,33	9,42	49,17
3000	53,29	47,57	52,43	7,79	56,12
5000	52,14	38,65	61,35	5,81	64,64
7000	51	33,21	66,79	4,74	69,71
10000	49,29	28,1	71,9	3,69	74,36
Desvio Padrão (%)	10,51	16,73	16,73	3,99	16,32
Área (m²) = 200 m²					
500	53,71	70,6	29,4	15,79	32,33
1000	52,71	62,29	37,71	14,1	40,92
2000	50,86	50,17	49,83	11,75	53,05
3000	49,29	42,03	57,97	10,15	61,05
5000	47	31,45	68,55	8,32	71,15
7000	45,43	25,01	74,99	7,32	77,14
10000	43,57	18,92	81,08	6,35	82,71
Desvio Padrão (%)	10,57	18,9	18,9	3,85	18,41
Área (m²) = 300 m²					
500	53	67,97	32,03	17,96	34,11
1000	52	58,71	41,29	16,6	43,58
2000	50	45,2	54,8	14,68	57,21
3000	48,29	35,78	64,22	13,47	66,45
5000	45	23,88	76,12	11,97	77,92
7000	42,29	16,77	83,23	11,14	84,62
10000	39,57	10,53	89,47	10,41	90,36
Desvio Padrão (%)	12,16	20,77	20,77	3,5	20,35
Área (m²) = 400 m²					
500	49,14	66,55	33,45	19,18	35,11
1000	48,29	56,78	43,22	18,07	45,04
2000	46,57	42,42	57,58	16,54	59,49
3000	44,86	32,47	67,53	15,52	69,26
5000	41,86	19,93	80,07	14,22	81,4
7000	37,86	12,8	87,2	13,54	88,14
10000	32,71	7,01	92,99	13,04	93,51
Desvio Padrão (%)	14,66	21,54	21,54	3,32	21,15
Área (m²) = 500 m²					
500	48	65,58	34,42	20,02	35,74
1000	47,14	55,49	44,51	19,04	45,97
2000	45,43	40,59	59,41	17,71	60,93
3000	43,71	30,37	69,63	16,87	71,03
5000	40,14	17,71	82,29	15,77	83,35
7000	36,14	10,72	89,28	15,21	90,02
10000	30,57	5,44	94,56	14,87	94,92
Desvio Padrão (%)	15,94	21,82	21,82	3,2	21,5

APÊNDICE F – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 600 L/DIA

Demanda diária (L) = 600					
Volume do Reservatório (L)	Dias falhos consecutivos	Falha no atendimento à demanda total (%)	Eficiência do Sistema no atendimento a demanda total (%)	Dias com extravasamento (%)	Potencial de aproveitamento (%)
Área (m²) = 70 m²					
500	72,86	86,85	13,15	7,63	22,19
1000	72,14	81,7	18,3	5,44	26,02
2000	71,57	76,27	23,73	2,88	30,41
3000	71,57	73,88	26,12	1,64	32,6
5000	71,57	71,82	28,18	0,64	34,57
7000	71,57	70,97	29,03	0,28	35,34
10000	71,57	70,47	29,53	0,07	35,78
Desvio Padrão (%)	21,29	7,24	7,24	2,8	6,5
Área (m²) = 100 m²					
500	62,29	84,26	15,74	10,36	25,21
1000	61,29	77,23	22,77	8,08	30,35
2000	60,71	68,87	31,13	5,4	37,07
3000	60,43	64,33	35,67	3,74	41,08
5000	60,43	59,78	40,22	1,99	45,48
7000	60,43	57,28	42,72	1,18	47,77
10000	60,43	55,34	44,66	0,6	49,51
Desvio Padrão (%)	12,57	11,4	11,4	3,62	10,04
Área (m²) = 150 m²					
500	56,57	81,9	18,1	13,28	28,04
1000	55,86	73,01	26,99	11,27	34,52
2000	54,57	61,62	38,38	8,63	43,63
3000	54	54,47	45,53	6,94	49,72
5000	53,14	46,92	53,08	4,81	57,2
7000	52,29	42,04	57,96	3,64	61,71
10000	50,86	37,55	62,45	2,63	65,8
Desvio Padrão (%)	10,65	16,38	16,38	4,03	14,39
Área (m²) = 200 m²					
500	56,57	80,63	19,37	15,18	29,68
1000	55,57	70,69	29,31	13,35	36,9
2000	54,14	57,29	42,71	10,97	47,46
3000	52,86	48,89	51,11	9,35	54,68
5000	51,57	39,47	60,53	7,42	64
7000	50,43	33,24	66,76	6,17	69,77
10000	49	27,2	72,8	5,15	75,2
Desvio Padrão (%)	10,76	19,3	19,3	3,94	16,85
Área (m²) = 300 m²					
500	54	79,03	20,97	17,38	31,52
1000	53	67,9	32,1	16	39,58
2000	51	52,45	47,55	14,02	51,68
3000	49,29	42,28	57,72	12,68	60,28
5000	46,86	31,26	68,74	10,94	71,37
7000	45,29	23,92	76,08	9,9	78,28
10000	43	16,87	83,13	9,01	84,61
Desvio Padrão (%)	11,96	22,12	22,12	3,65	19,28
Área (m²) = 400 m²					
500	53,14	78,28	21,72	18,67	32,54
1000	52,14	66,52	33,48	17,54	41,05
2000	50,14	49,86	50,14	15,94	54
3000	48,29	38,9	61,1	14,83	63,24
5000	46	27	73	13,29	75,25
7000	43,43	19,37	80,63	12,46	82,54
10000	40,14	12,08	87,92	11,72	89,06
Desvio Padrão (%)	12,49	23,49	23,49	3,42	20,44
Área (m²) = 500 m²					
500	50	77,66	22,34	19,59	33,2
1000	49,14	65,4	34,6	18,49	41,99
2000	47,43	48,03	51,97	17,15	55,47
3000	45,71	36,52	63,48	16,14	65,14
5000	43,29	24,35	75,65	14,83	77,6
7000	40,43	16,51	83,49	14,14	85,04
10000	35,71	9,4	90,6	13,54	91,4
Desvio Padrão (%)	14,61	24,23	24,23	3,28	21,06

APÊNDICE G – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 700 L/DIA

Demanda diária (L) = 700					
Volume do Reservatório (L)	Dias fálhos consecutivos	Falha no atendimento à demanda total (%)	Eficiência do Sistema no atendimento a demanda total (%)	Dias com extravasamento (%)	Potencial de aproveitamento (%)
Área (m²) = 70 m²					
500	75	88,23	11,77	6,88	20,16
1000	74,43	83,85	16,15	4,88	23,22
2000	74	80,45	19,55	2,46	26,7
3000	74	78,21	21,79	1,34	28,4
5000	74	76,59	23,41	0,52	29,89
7000	74	75,97	24,03	0,18	30,45
10000	74	75,69	24,31	0,04	30,73
Desvio Padrão (%)	19,62	5,8	5,8	2,54	5,37
Área (m²) = 100 m²					
500	67,29	85,6	14,4	9,55	23,15
1000	66,57	79,56	20,44	7,47	27,39
2000	65,71	74,29	25,71	4,87	32,97
3000	65,43	69,86	30,14	3,27	36,3
5000	65,29	66,03	33,97	1,64	39,84
7000	65,29	64,1	35,9	0,91	41,61
10000	65,29	62,76	37,24	0,43	42,88
Desvio Padrão (%)	14,62	9,3	9,3	3,39	8,44
Área (m²) = 150 m²					
500	56,57	83,08	16,92	11,11	26
1000	55,86	75,06	24,94	10,64	31,49
2000	55,14	67,92	32,08	7,97	39,32
3000	54,86	60,65	39,35	6,31	44,6
5000	54	53,56	46,44	4,18	51,1
7000	53,14	49,36	50,64	3,02	55
10000	52	45,58	54,42	2,01	58,49
Desvio Padrão (%)	10,79	14,05	14,05	3,99	12,59
Área (m²) = 200 m²					
500	56,57	81,55	18,45	14,51	27,68
1000	55,71	72,3	27,7	12,76	33,87
2000	55	64,09	35,91	10,36	43,12
3000	53,71	55,08	44,92	8,72	49,56
5000	53	45,82	54,18	6,71	58,02
7000	52,14	40,05	59,95	5,36	63,38
10000	50,71	34,54	65,46	4,19	68,52
Desvio Padrão (%)	10,78	17,14	17,14	3,98	15,28
Área (m²) = 300 m²					
500	54,71	79,84	20,16	16,79	29,58
1000	53,71	69,35	30,65	15,5	36,58
2000	52,71	59,89	40,11	13,51	47,38
3000	50,71	48,62	51,38	12,05	55,2
5000	48,29	37,2	62,8	10,16	65,69
7000	46,71	29,82	70,18	8,97	72,51
10000	45	23,02	76,98	7,93	78,98
Desvio Padrão (%)	11,18	20,4	20,4	3,73	18,03
Área (m²) = 400 m²					
500	54	78,85	21,15	18,27	30,63
1000	53	67,57	32,43	17,09	38,08
2000	52	57,57	42,43	15,43	49,73
3000	50	45,17	54,83	14,23	58,24
5000	47,43	32,52	67,48	12,52	69,85
7000	45	24,56	75,44	11,58	77,23
10000	42,57	17,27	82,73	10,63	84,24
Desvio Padrão (%)	12,37	21,99	21,99	3,5	19,42
Área (m²) = 500 m²					
500	53,14	78,22	21,78	19,11	31,32
1000	52,14	66,47	33,53	18,17	39,04
2000	51,14	56,21	43,79	16,75	51,23
3000	49,14	42,98	57,02	15,68	60,19
5000	46,57	29,68	70,32	14,24	72,41
7000	44,29	21,35	78,65	13,36	80,16
10000	40,71	13,88	86,12	12,59	87,29
Desvio Padrão (%)	12,6	22,96	22,96	3,33	20,24

APÊNDICE H – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 800 L/DIA

Demanda diária (L) = 800					
Volume do Reservatório (L)	Dias falhos consecutivos	Falha no atendimento à demanda total (%)	Eficiência do Sistema no atendimento a demanda total (%)	Dias com extravasamento (%)	Potencial de aproveitamento (%)
Área (m²) = 70 m²					
500	83	89,53	10,47	6,2	18,53
1000	82,29	85,82	14,18	4,33	21,02
2000	81,71	83,36	16,64	2,12	23,81
3000	81,57	81,94	18,06	1,13	25,15
5000	81,57	80,54	19,46	0,4	26,32
7000	81,57	80,11	19,89	0,12	26,71
10000	81,57	79,87	20,13	0,02	26,91
Desvio Padrão (%)	19,31	4,8	4,8	2,3	4,55
Área (m²) = 100 m²					
500	72,86	86,76	13,24	8,87	21,5
1000	72,14	81,38	18,62	6,89	25,04
2000	71,71	77,11	22,89	4,44	29,73
3000	71,57	74,22	25,78	2,91	32,52
5000	71,43	70,77	29,23	1,39	35,41
7000	71,43	69,29	30,71	0,74	36,8
10000	71,43	68,22	31,78	0,32	37,76
Desvio Padrão (%)	21,32	7,69	7,69	3,18	7,2
Área (m²) = 150 m²					
500	57,14	84,04	15,96	11,9	24,38
1000	56,57	76,77	23,23	10,03	29,08
2000	55,86	70,64	29,36	7,46	35,84
3000	55,57	65,95	34,05	5,82	40,47
5000	54,57	59	41	3,69	46,16
7000	54	55,59	44,41	2,55	49,49
10000	53,71	52,22	47,78	1,56	52,5
Desvio Padrão (%)	10,8	12	12	3,87	11,08
Área (m²) = 200 m²					
500	56,57	82,38	17,62	13,87	26,09
1000	55,86	73,86	26,14	12,24	31,48
2000	55,14	66,51	33,49	9,76	39,58
3000	54,57	60,75	39,25	8,13	45,37
5000	53,71	51,3	48,7	6,06	53,02
7000	53,14	46,33	53,67	4,63	57,88
10000	52	41,09	58,91	3,47	62,56
Desvio Padrão (%)	10,81	15,03	15,03	3,98	13,8
Área (m²) = 300 m²					
500	55	80,57	19,43	16,27	28,05
1000	54	70,59	29,41	14,97	34,23
2000	53,14	61,96	38,04	12,97	43,83
3000	52,29	54,94	45,06	11,49	51,01
5000	50,29	42,75	57,25	9,45	60,81
7000	49,14	36,1	63,9	8,17	67,33
10000	47,43	28,8	71,2	7,01	73,77
Desvio Padrão (%)	9,87	18,39	18,39	3,8	16,78
Área (m²) = 400 m²					
500	54	79,37	20,63	17,78	29,14
1000	53	68,58	31,42	16,61	35,76
2000	52	59,25	40,75	14,95	46,19
3000	51	51,71	48,29	13,7	54,11
5000	48,43	37,84	62,16	11,86	65,13
7000	46,86	30,61	69,39	10,81	72,42
10000	44,86	22,4	77,6	9,73	79,57
Desvio Padrão (%)	12,17	20,06	20,06	3,55	18,33
Área (m²) = 500 m²					
500	53,14	78,65	21,35	18,68	29,85
1000	52,14	67,3	32,7	17,68	36,75
2000	51,14	57,46	42,54	16,22	47,7
3000	50,14	49,54	50,46	15,13	56,08
5000	47,57	34,73	65,27	13,59	67,83
7000	46	27,14	72,86	12,59	75,55
10000	43	18,56	81,44	11,72	83,03
Desvio Padrão (%)	12,43	21,08	21,08	3,35	19,25

APÊNDICE I – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 900 L/DIA

Demanda diária (L) = 900					
Volume do Reservatório (L)	Dias falhos consecutivos	Falha no atendimento à demanda total (%)	Eficiência do Sistema no atendimento a demanda total (%)	Dias com extravasamento (%)	Potencial de aproveitamento (%)
Área (m²) = 70 m²					
500	89,71	90,56	9,44	5,62	17,18
1000	88,86	87,45	12,55	3,89	19,23
2000	88,57	85,54	14,46	1,85	21,49
3000	88,29	84,54	15,46	0,96	22,57
5000	88,29	83,6	16,4	0,3	23,49
7000	88,29	83,26	16,74	0,1	23,78
10000	88,29	83,1	16,9	0,02	23,93
Desvio Padrão (%)	14,75	3,99	3,99	2,09	3,92
Área (m²) = 100 m²					
500	72,86	87,72	12,28	8,22	20,13
1000	72,29	82,96	17,04	6,45	23,14
2000	71,86	79,45	20,55	4,09	27,12
3000	71,71	77,16	22,84	2,56	29,46
5000	71,71	74,65	25,35	1,18	31,85
7000	71,71	73,43	26,57	0,61	32,96
10000	71,71	72,57	27,43	0,24	33,72
Desvio Padrão (%)	21,55	6,49	6,49	2,99	6,23
Área (m²) = 150 m²					
500	62,29	84,95	15,05	11,41	23,04
1000	61,43	78,21	21,79	9,52	27,12
2000	60,86	72,85	27,15	7,06	33,01
3000	60,71	68,87	31,13	5,4	37,07
5000	60,43	63,65	36,35	3,33	42,06
7000	60,43	60,48	39,52	2,2	44,93
10000	60,43	57,57	42,43	1,29	47,47
Desvio Padrão (%)	12,51	10,39	10,39	3,77	9,8
Área (m²) = 200 m²					
500	56,57	83,24	16,76	13,35	24,78
1000	55,86	75,27	24,73	11,73	29,53
2000	55,14	68,7	31,3	9,3	36,69
3000	55	63,68	36,32	7,67	41,86
5000	54,14	56,43	43,57	5,52	48,78
7000	53,57	51,64	48,36	4,12	53,11
10000	52,71	46,8	53,2	2,94	57,31
Desvio Padrão (%)	10,85	13,25	13,25	3,96	12,46
Área (m²) = 300 m²					
500	56,57	81,21	18,79	15,85	26,79
1000	55,57	71,76	28,24	14,52	32,31
2000	54,86	63,69	36,31	12,51	40,93
3000	54,14	57,3	42,7	10,97	47,46
5000	52,86	47,97	52,03	8,98	56,59
7000	52	41,18	58,82	7,64	62,77
10000	50,43	33,93	66,07	6,36	68,97
Desvio Padrão (%)	11,04	16,65	16,65	3,8	15,58
Área (m²) = 400 m²					
500	54,71	80,03	19,97	17,4	27,93
1000	53,71	69,64	30,36	16,26	33,89
2000	52,71	60,84	39,16	14,48	43,32
3000	51,71	53,76	46,24	13,22	50,6
5000	49,71	43,1	56,9	11,29	61
7000	48,14	35,53	64,47	10,16	68,05
10000	46,29	27	73	8,96	75,23
Desvio Padrão (%)	11,36	18,42	18,42	3,61	17,24
Área (m²) = 500 m²					
500	54	79,21	20,79	18,39	28,66
1000	53	68,25	31,75	17,41	34,91
2000	52	58,94	41,06	15,89	44,85
3000	51	51,39	48,61	14,74	52,59
5000	49,14	40,03	59,97	13,14	63,79
7000	47,29	31,94	68,06	12,07	71,39
10000	44,57	22,81	77,19	11,05	78,98
Desvio Padrão (%)	12,4	19,48	19,48	3,39	18,24

APÊNDICE J – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA A DEMANDA DE 1000 L/DIA

Demanda diária (L) = 1000					
Volume do Reservatório (L)	Dias falhos consecutivos	Falha no atendimento à demanda total (%)	Eficiência do Sistema no atendimento a demanda total (%)	Dias com extravasamento (%)	Potencial de aproveitamento (%)
Área (m²) = 70 m²					
500	108	91,44	8,56	5,11	16,04
1000	107,57	88,82	11,18	3,51	17,74
2000	107,43	87,34	12,66	1,61	19,59
3000	107,29	86,56	13,44	0,86	20,47
5000	107,29	85,86	14,14	0,25	21,2
7000	107,29	85,63	14,37	0,08	21,43
10000	107,29	85,51	14,49	0,01	21,54
Desvio Padrão (%)	22,62	3,48	3,48	1,91	3,45
Área (m²) = 100 m²					
500	75,14	88,64	11,36	7,72	18,97
1000	74,43	84,31	15,69	5,99	21,55
2000	74	81,37	18,63	3,73	24,95
3000	74	79,51	20,49	2,29	26,93
5000	74	77,56	22,44	1,02	28,93
7000	74	76,62	23,38	0,53	29,84
10000	74	75,97	24,03	0,18	30,45
Desvio Padrão (%)	19,67	5,61	5,61	2,81	5,46
Área (m²) = 150 m²					
500	64,86	85,77	14,23	10,8	21,91
1000	64,14	79,64	20,36	9,01	25,48
2000	63,57	74,87	25,13	6,64	30,66
3000	63,43	71,44	28,56	5,02	34,23
5000	63,14	67,11	32,89	3,03	38,62
7000	63,14	64,55	35,45	1,94	41,11
10000	63,14	62,27	37,73	1,07	43,25
Desvio Padrão (%)	12,01	9,13	9,13	3,62	8,73
Área (m²) = 200 m²					
500	57	84	16	12,81	23,67
1000	56,43	76,47	23,53	11,24	27,9
2000	55,86	70,46	29,54	8,89	34,27
3000	55,57	65,98	34,02	7,27	38,91
5000	54,86	59,75	40,25	5,14	45,15
7000	54,14	55,71	44,29	3,73	49,06
10000	53,29	51,79	48,21	2,55	52,8
Desvio Padrão (%)	10,95	11,86	11,86	3,88	11,28
Área (m²) = 300 m²					
500	56,57	81,8	18,2	15,41	25,73
1000	55,71	72,75	27,25	14,1	30,71
2000	55	65,2	34,8	12,11	38,51
3000	54,29	59,38	40,62	10,55	44,48
5000	53,57	50,8	49,2	8,51	52,97
7000	53	44,85	55,15	7,17	58,73
10000	52,14	38,65	61,35	5,81	64,64
Desvio Padrão (%)	10,93	15,33	15,33	3,8	14,46
Área (m²) = 400 m²					
500	54,71	80,53	19,47	16,95	26,91
1000	53,71	70,6	29,4	15,79	32,33
2000	52,71	62,29	37,71	14,1	40,92
3000	51,86	55,6	44,4	12,79	47,66
5000	50	45,79	54,21	10,84	57,4
7000	48,57	38,8	61,2	9,58	64,16
10000	47	31,45	68,55	8,32	71,15
Desvio Padrão (%)	11,13	17,18	17,18	3,62	16,19
Área (m²) = 500 m²					
500	54	79,59	20,41	18,08	27,68
1000	53	68,89	31,11	16,98	33,38
2000	52	60,07	39,93	15,52	42,48
3000	51	52,94	47,06	14,29	49,68
5000	49,29	42,28	57,72	12,68	60,28
7000	47,57	34,76	65,24	11,48	67,62
10000	46	26,82	73,18	10,41	75,21
Desvio Padrão (%)	12,21	18,34	18,34	3,44	17,27