

Eficiência Hídrica em Espaços Públicos: simulação de reuso de águas pluviais na Praça Getúlio Vargas, Campo Mourão – PR, Brasil

¹Anderson Franciscon 

¹ Prefeitura Municipal de Campo Mourão, Campo Mourão, Paraná - Brasil, a.franciscon@hotmail.com

JUTS – Journal of Urban Technology and Sustainability

ISSN: 2675-780X

DOI: <https://doi.org/10.47842/juts.v8i1.81>

Organização: Comitê Científico Interinstitucional

Editora Chefe: Renan Salvador

Avaliação: Double Blind Review pelo SEER/OJS

Recebido: 15/08/2025

Aceito: 19/09/2025

RESUMO

Este estudo avaliou a viabilidade do aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis em espaços públicos urbanos, tomando como estudo de caso a Praça Getúlio Vargas, em Campo Mourão/PR. O trabalho teve como objetivo principal propor uma solução sustentável para suprir demandas como irrigação de jardins, limpeza de pavimentos e abastecimento de chafariz ornamental, utilizando como base a metodologia da NBR 15.527 (2007). Foram quantificados os volumes demandados e analisada a série histórica de precipitação (1996–2016), por meio da estação pluviométrica “Rio da Vargem/Mourão”. A simulação hidrológica considerou três cenários de reservação (50 m³, 100 m³ e 150 m³), avaliando-se parâmetros como eficiência, índice de confiança, dias atendidos e volume de *overflow*. Os resultados demonstraram que, embora o volume total de água precipitada (46.485,92m³) seja levemente superior à demanda estimada (42.349,44 m³), nenhum dos reservatórios testados atingiu o índice de confiança recomendado (90% a 99%). Constatou-se que o aumento da capacidade de reservação gera ganhos marginais decrescentes, sendo mais eficiente, do ponto de vista técnico e econômico, a ampliação da área de captação. O estudo contribui tecnicamente ao aplicar simulação hidrológica em contexto urbano, subsidiando políticas públicas de gestão hídrica descentralizada e sustentável.

Palavras-chave: Reuso de Água Pluvial. Sustentabilidade Urbana. Simulação Hidrológica. Gestão Hídrica. Espaços Públicos.

Water Efficiency in Public Spaces: Simulation of Rainwater Reuse in Getúlio Vargas Square, Campo Mourão – PR, Brazil

This study assessed the feasibility of rainwater harvesting for non-potable purposes in urban public spaces, using Getúlio Vargas Square in Campo Mourão, Paraná, Brazil, as a case study. The main objective was to propose a sustainable solution to meet demands such as garden irrigation, pavement cleaning, and ornamental fountain supply, based on the guidelines of the Brazilian standard NBR 15.527 (2007). Water demands were quantified, and a historical precipitation series (1996–2016) from the "Rio da Várzea/Mourão" rainfall station was analyzed. The hydrological simulation considered three storage scenarios (50 m³, 100 m³, and 150 m³), evaluating parameters such as system efficiency, reliability index, days with demand met, and overflow volume. Results showed that, although the total rainfall volume (46.485,92m³) slightly exceeded the estimated demand (42.349,44 m³), none of the proposed reservoirs reached the recommended reliability index (90% to 99%). It was found that increasing reservoir capacity led to diminishing marginal gains, indicating that expanding the catchment area is a more technically and economically efficient strategy. Scientifically, the study contributes by applying hydrological simulation in an urban context, providing support for public policies on decentralized and sustainable water management.

Keywords: Rainwater reuse. Urban Sustainability. Hydrological simulation. Water management. Public Spaces.



1 INTRODUÇÃO

A técnica de reaproveitamento de água pluvial para fins não potáveis vem sendo utilizada por diversos povos e nações e, consequentemente, popularizando-se ao longo dos tempos. Essa metodologia vem se apresentando como essencial à manutenção do planeta, visto que sua atuação simultânea

proporciona a irrigação de jardins, limpeza de pisos, o fluxo de água para descargas em sanitários, entre outros, assim, consequentemente, resulta na redução do consumo de água potável, conforme Souza e Ghisi (2012). Importante ressaltar que segundo Rodrigues, Formiga e Milograma (2023), o reuso de águas pluviais urbanas também reduz o risco de enchentes e sobrecarga das galerias pluviais, tendo em vista que parte da água que é captada e utilizada não é escoada para as vias e logradouros pavimentados.

A utilização constante de água potável em atividades que poderiam ser supridas com a utilização de água de menor qualidade tem impactado nas taxas de consumo diário, elevando-se, dessa forma, sua utilização. No Brasil, entre os anos de 2009 e 2013 houve significativo crescimento quanto ao consumo de água, passando de 148,5 litros/habitantes/dia em 2009 para 166,3 litros/habitantes/dia em 2013, no entanto, em 2023 o consumo per capita retornou aos 148,2 litros/habitantes/dia, conforme Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA, 2014 e 2024). O consumo médio brasileiro é superior à taxa estipulada pela *World Health Organization* (Organização Mundial da Saúde) de 50 a 100 litros/pessoa/dia, considerados necessários para suprir adequadamente beber, cozinhar, higiene pessoal, limpeza doméstica e saneamento, conforme explica Howard *et al.* (2020).

O crescimento da taxa de uso e a poluição dos recursos hídricos e mudanças climáticas tendem a gerar pessimistas convicções futuras quanto à existência da água potável em quantidade desejável. O aumento da demanda hídrica e a escassez de água potável poderá resultar em um desequilíbrio natural, sendo que em um futuro próximo (2030), a Organização das Nações Unidas (ONU) estima que déficit no fornecimento de água bebível no planeta Terra poderá chegar a 40% (Nações Unidas Brasil, 2015).

Nos últimos anos, a pressão sobre o uso racional dos recursos hídricos tem se intensificado em função do crescimento populacional, da urbanização acelerada, da poluição hídrica e das mudanças climáticas, que impactam diretamente a disponibilidade de água potável. Estudos apontam que cerca de 2 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso a serviços de abastecimento de água gerenciados de forma segura (UNESCO, 2021). Nesse contexto, o reuso de águas pluviais emerge como estratégia relevante não apenas para reduzir o consumo de água potável, mas também para minimizar os impactos sobre os sistemas de drenagem urbana e contribuir para a mitigação de enchentes (Rodrigues; Formiga; Milograna, 2023).

Diante desse contexto, observa-se uma crescente urgência na adoção de alternativas sustentáveis que visem não apenas à economia de água, mas também ao redesenho das práticas urbanas de gestão hídrica. A captação e o reaproveitamento das águas pluviais se destacam como uma solução eficaz,

de baixo custo, tecnicamente viável e ambientalmente responsável. Essa estratégia não só contribui para a preservação dos mananciais, como também mitiga riscos urbanos associados ao excesso de escoamento superficial, especialmente em áreas densamente impermeabilizadas.

Como no caso brasileiro, o consumo médio de água ultrapassa o recomendado pela Organização Mundial da Saúde, evidenciando a necessidade de políticas e tecnologias voltadas à eficiência hídrica (Souza; Ghisi, 2012). Além disso, experiências nacionais e internacionais têm demonstrado que a adoção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em espaços públicos pode representar uma alternativa sustentável de gestão integrada de recursos hídricos (Ghisi; Ferreira, 2007).

De forma a conter e/ou minimizar a escassez futura de água potável, o reuso de água torna-se uma opção atrativa, principalmente em regiões dotadas de índices pluviométricos generosos, como em Campo Mourão. O município apresenta índices pluviais anuais entre 1.400 e 1.500mm (Costa, 2017), cujos meses de veraneio apresentam maior concentração pluviométrica. Dessa forma, justifica-se a realização de uma pesquisa que venha descrever e ilustrar a importância do reuso de águas pluviais em uma de suas praças mais representativas, no caso, a Praça Getúlio Vargas.

Esta investigação assume, portanto, caráter não apenas técnico, mas também estratégico, ao propor a análise da viabilidade do reuso de águas pluviais em um espaço urbano consolidado. Mais do que dimensionar volumes e estruturas, a pesquisa procura estabelecer uma ponte entre a hidrologia e os princípios da sustentabilidade urbana, integrando dados, simulações e leitura crítica do território, quanto à sua infraestrutura e funcionalidade. Nesse contexto, temos como objetivo principal, ou seja, demonstrar e avaliar a possibilidade de reuso de águas pluviais para o mantimento e manutenção das atividades vitais presentes na Praça Getúlio Vargas: irrigação de jardim, abastecimento do chafariz e limpeza de logradouros internos.

Importante destacar que esta pesquisa se alinha à Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, sobretudo ao ODS 6 (Água Potável e Saneamento), que estabelece como meta até 2030 “garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos”. Além disso, dialoga com o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao propor soluções urbanas que favorecem a resiliência climática e a qualidade de vida da população (ONU, 2015).

Assim, o objetivo geral consiste, portanto, em analisar tecnicamente a viabilidade de implementação de um sistema de captação, armazenamento e reaproveitamento de águas pluviais na Praça Getúlio Vargas, visando a garantir o abastecimento das funções operacionais da praça, com base em dados reais de precipitação e consumo.

Para tanto, quantificamos a demanda hídrica, índices pluviométricos regionais e dimensionamento do reservatório, constituindo, assim, os objetivos específicos da pesquisa, na qual destacam-se: (i) levantar e analisar os índices pluviométricos históricos do município entre 1996 e 2016; (ii) estimar a demanda hídrica média anual da praça com base em suas atividades usuais; (iii) simular diferentes cenários de armazenamento (50, 100 e 150m³), utilizando planilhas hidrológicas, conforme a NBR 15.527/2007; (iv) verificar a eficiência operacional de cada volume proposto com base no índice de atendimento anual e confiabilidade; (v) propor diretrizes técnicas e sustentáveis para replicação do modelo em outros espaços públicos urbanos.

Assim, de modo a potencializar a utilização da água e, ao mesmo tempo, reduzir a sua extração junto a corpos hídricos, o reuso de água torna-se justificável, visto ser benéfico ao meio ambiente (utilizando recursos ecologicamente corretos). O reuso de água apresenta-se economicamente viável, pois frequentemente utilizam água bebível para fins não potáveis, como: regar jardins, lavar pátios e carros, entre outros. Sendo assim, o reaproveitamento de águas pluviais na manutenção da Praça Getúlio Vargas é justificável por proporcionar benefícios ambientais e econômicos ao município.

Como resultados esperados, estima-se que a adoção de um sistema de reservação de 150m³ seja capaz de suprir mais de 60% da demanda hídrica anual da praça, com índice de confiabilidade superior a 80%. Esses indicadores demonstram não apenas a viabilidade da proposta, mas também o potencial transformador do reuso de águas pluviais enquanto política pública ambiental, social e urbana.

Acredita-se, portanto, que esta pesquisa poderá servir como referência técnico-metodológica para municípios de médio porte que buscam soluções sustentáveis, de baixo custo e alta eficiência para a gestão de seus espaços públicos urbanos. Além disso, ao aliar simulações hidrológicas baseadas em séries históricas de precipitação com critérios normativos da NBR 15.527, o estudo oferece uma abordagem replicável e adaptável a diferentes contextos urbanos (ABNT, 2007). A metodologia empregada permite o dimensionamento racional de reservatórios com base em dados reais, o que qualifica a tomada de decisão técnica e favorece a implementação de sistemas de captação pluvial eficientes. Como contribuição adicional, propõe-se um conjunto de diretrizes operacionais voltadas a profissionais da engenharia, arquitetura e planejamento urbano, fomentando a adoção de práticas integradas de infraestrutura verde, uso racional da água e resiliência hídrica urbana.

2 ESTADO DA ARTE: A ÁGUA, SEU CONSUMO, REUSO E MEIOS TÉCNICOS/NORMATIVOS PARA REUTILIZAÇÃO

O reuso de águas pluviais, segundo Souza Filho *et al.* (2025), constitui-se como uma resposta viável às demandas contemporâneas por eficiência no uso da água, sobretudo em contextos urbanos onde a pressão sobre os recursos hídricos se intensifica. Além disso, apresenta-se como solução estratégica no enfrentamento à escassez hídrica e no fortalecimento de políticas sustentáveis.

2.1 A importância da água, de seu reaproveitamento e de sua qualidade

De acordo com Botari, Botari e Bertonha (2015), a água é um recurso natural essencial à manutenção da vida, cuja disponibilidade, entretanto, é limitada. Seu uso ocorre de forma direta, como na ingestão e higiene pessoal, e indireta, como insumo em processos produtivos agrícolas, industriais e energéticos. Para os autores, a água possui também dimensões econômicas e socioculturais. Além do consumo humano, a água desempenha papel relevante em diversas atividades complementares, como irrigação de jardins, abastecimento de chafarizes, controle de poeira em obras e lavagem de pavimentos urbanos.

Botari, Botari e Bertonha (2015) ressaltam que apenas 1% da água doce disponível no planeta encontra-se acessível em rios, lagos e pântanos. Os demais 99% estão em geleiras ou aquíferos profundos. Cerca de 97,5% da água total do planeta é salgada, e dos 2,5% de água doce, 68,9% estão concentrados em regiões polares e de difícil acesso.

Diante desse cenário de escassez hídrica e distribuição desigual, o reuso de águas pluviais surge como alternativa estratégica para mitigar pressões sobre os mananciais convencionais, conforme defendem autores como Tucci, Hespanhol e Cordeiro Netto (2001) e Marinoski e Ghisi (2008). A coleta e uso racional da água da chuva reduz a sobrecarga em estações de tratamento, contribui para a mitigação de alagamentos urbanos e amplia a resiliência hídrica em ambientes urbanos consolidados (Rodrigues; Formiga; Milograma, 2023).

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico recomenda o aproveitamento de águas pluviais como prática complementar à gestão integrada de recursos hídricos, especialmente em municípios de médio porte que enfrentam sazonalidades críticas no abastecimento (ANA, 2020).

Nesse sentido, Botari, Botari e Bertonha (2015) destacam que o reuso da água da chuva contribui não apenas com ganhos econômicos, como também na formação de uma cultura ambientalmente consciente, ao reduzir o desperdício e estimular práticas sustentáveis no ambiente urbano. Enquanto Moraes (2016) exemplifica esse potencial ao relatar o caso de uma indústria que, ao substituir água

potável por água de reuso no resfriamento de caldeiras, obteve significativa redução nos custos operacionais e na demanda por água tratada, aliviando a pressão sobre os sistemas públicos.

O aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis tem sido amplamente difundido em países como Alemanha, Japão e Austrália, onde políticas públicas e normatizações específicas foram implementadas com sucesso (Herrmann; Schmida, 2000; Marinoski; Ghisi, 2008). No Brasil, a norma ABNT NBR 15.527 estabelece critérios técnicos para projetos de aproveitamento de água da chuva em áreas urbanas, com foco no uso não potável — como irrigação paisagística, lavagem de áreas externas e descargas sanitárias (ABNT, 2007).

Nesse sentido, o reuso da água da chuva, segundo Botari, Botari e Bertonha (2015), tem papel relevante no balanço hídrico urbano. Contudo, exige controle de qualidade, com análises físico-químicas e bacteriológicas que garantam a segurança para os fins pretendidos. Assim, é essencial que os sistemas de captação e armazenamento contemplem dispositivos de filtragem, separação da primeira chuva e manutenção periódica, conforme previsto nas boas práticas de engenharia hídrica urbana, explicam Marinoski e Ghisi (2008).

A valorização do reuso foi consolidada internacionalmente a partir da Agenda 21, proposta na Conferência ECO-92, que defende a gestão racional da água e a implementação de tecnologias ambientais adequadas, com atenção à saúde pública e à preservação ambiental (Botari; Bertonha, 2015).

Bonelli (2015) destaca o Parque Madureira (RJ) como exemplo pioneiro, que recebeu o certificado AQUA (Alta Qualidade Ambiental) em 2012. O parque possui reservatórios com capacidade para 200 m³, captando água de telhados, pavimentos e pistas de skate.

No Parque Chico Mendes, também citado por Guarnieri (2016), um reservatório de 1 m³ permitiu o aproveitamento de cerca de 23,9 mil litros em um período de três meses, destinados à irrigação, limpeza e descarga sanitária. A adoção de soluções baseadas na natureza e infraestrutura verde urbana é reconhecida como estratégia eficaz segundo o UN World Water Development Report, que incentiva o uso múltiplo da água como pilar de cidades sustentáveis e adaptativas ao clima (WWAP; UN-Water, 2018).

É importante destacar que o reuso da água deve seguir critérios técnicos e normativos, especialmente no que tange à sua qualidade e finalidade. A Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) classifica o reuso de água não potável em cinco categorias:

-
- I - Reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;
 - II - Reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
 - III - reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
 - IV - Reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,
 - V - Reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos (Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 2005).

A viabilidade técnica do aproveitamento de águas pluviais, associada à sua relevância ambiental e social, reforça a necessidade de sua inclusão nas políticas públicas e no planejamento urbano, especialmente em municípios de médio porte, como o caso em estudo. Normas como a ABNT NBR 15.527 e diretrizes do CNRH oferecem bases sólidas para a implementação segura e eficaz desses sistemas, enquanto experiências bem-sucedidas, como as dos parques Madureira e Chico Mendes demonstram a aplicabilidade prática e os benefícios concretos dessa abordagem (ABNT, 2007; Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 2005).

2.2 Uso da água na manutenção de Jardins, Pavimentação e Chafariz

A gestão eficiente da água em espaços públicos urbanos envolve o conhecimento detalhado das demandas hídricas associadas às atividades de manutenção. Jardins, áreas pavimentadas e chafarizes consomem volumes significativos de água ao longo do ano, sendo essencial quantificar essas demandas para subsidiar propostas de reaproveitamento hídrico. Ou seja, os espaços públicos urbanos, para serem adequadamente preservados, exigem constante manutenção. As atividades mais recorrentes incluem a irrigação de áreas verdes, limpeza de pavimentos e o abastecimento de espelhos d'água e chafarizes ornamentais.

Segundo Valle (2015), os pisos intertravados (PAVER) requerem higienização periódica, visto que partículas de poeira, óleo e resíduos urbanos acumulam-se em sua superfície, comprometendo sua estética e durabilidade. A frequência ideal de limpeza varia, mas estima-se o consumo médio de 2 litros/m² por dia, conforme Tomaz (2011). No tocante aos índices de irrigação, para Tomaz (2011), o consumo de água em irrigação de Jardins é de 2 litros/m² x dia, nas seguintes frequências: 2 vezes/semana; 1 vez/semana ou 1 vez/15 dias.

Não há estatísticas nacionais sobre consumo de água para irrigação em praças públicas, mas a importância dessa demanda é evidenciada quando comparada aos valores da irrigação agrícola reportados pela ANA (2020), os quais apontam que 46% de toda a água retirada no Brasil destina-se

à irrigação e representa 67% do consumo nacional. Isso reforça a necessidade de reduzir o uso de água potável para irrigação urbana.

Estudos sobre paisagismo sustentável defendem o uso de espécies nativas ou adaptadas à região, que demandem menos irrigação e tenham maior resistência às variações climáticas (Cardin, 2022). Tal medida, associada ao reuso de água, potencializa a economia hídrica em áreas urbanas.

Além da limpeza, irrigação de jardins, a Praça Getúlio Vargas contempla um chafariz ornamental. Quanto ao suprimento de chafarizes ornamentais, poucas são as fontes (científicas) existentes, havendo ausência de informações referentes a: consumo, limpezas periódicas e eventuais perdas com infiltrações, evaporações e consumos por animais (pombos, cachorros). A SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) estimula uma taxa diária de 2,5 litros/dias/m² para mantimento de lâminas da água.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo aplicado, exploratório e quali-quantitativo, desenvolvido por meio da simulação do aproveitamento de águas pluviais em espaço público urbano consolidado, tomando como objeto de estudo a Praça Getúlio Vargas, localizada no município de Campo Mourão/PR. O estudo visa à avaliação da viabilidade técnico-hidrológica de reuso de água da chuva para fins não potáveis, como irrigação de jardins, limpeza de pavimentos e abastecimento de chafariz ornamental.

Para isso, a abordagem metodológica adotada foi predominantemente quali-quantitativa, com ênfase na análise descritiva e exploratória do sítio urbano estudado. A coleta de dados se deu por meio de fontes secundárias, como bases históricas de precipitação e dados técnicos da praça, além de modelagens computacionais que viabilizaram a simulação de cenários diversos, conforme a norma brasileira vigente, NBR 15.527 (ABNT, 2007).

Visto a temática ser baseada no reuso de águas pluviais em espaços públicos, optou-se por explorar a Praça Getúlio Vargas (Figura 1), devido a sua representatividade socioespacial e simbólica para a cidade/município de Campo Mourão. A praça conta com importante infraestrutura, permitindo a realização desta pesquisa, contendo: setores pavimentados, jardins, telhado e um chafariz ornamental. De acordo com a Figura 1, temos as seguintes áreas: 8.106,18 m² de pavimento, 1.408,64 m² de telhado, 8.274,69 m² de jardim e 270,12 m² de lâmina d'água.

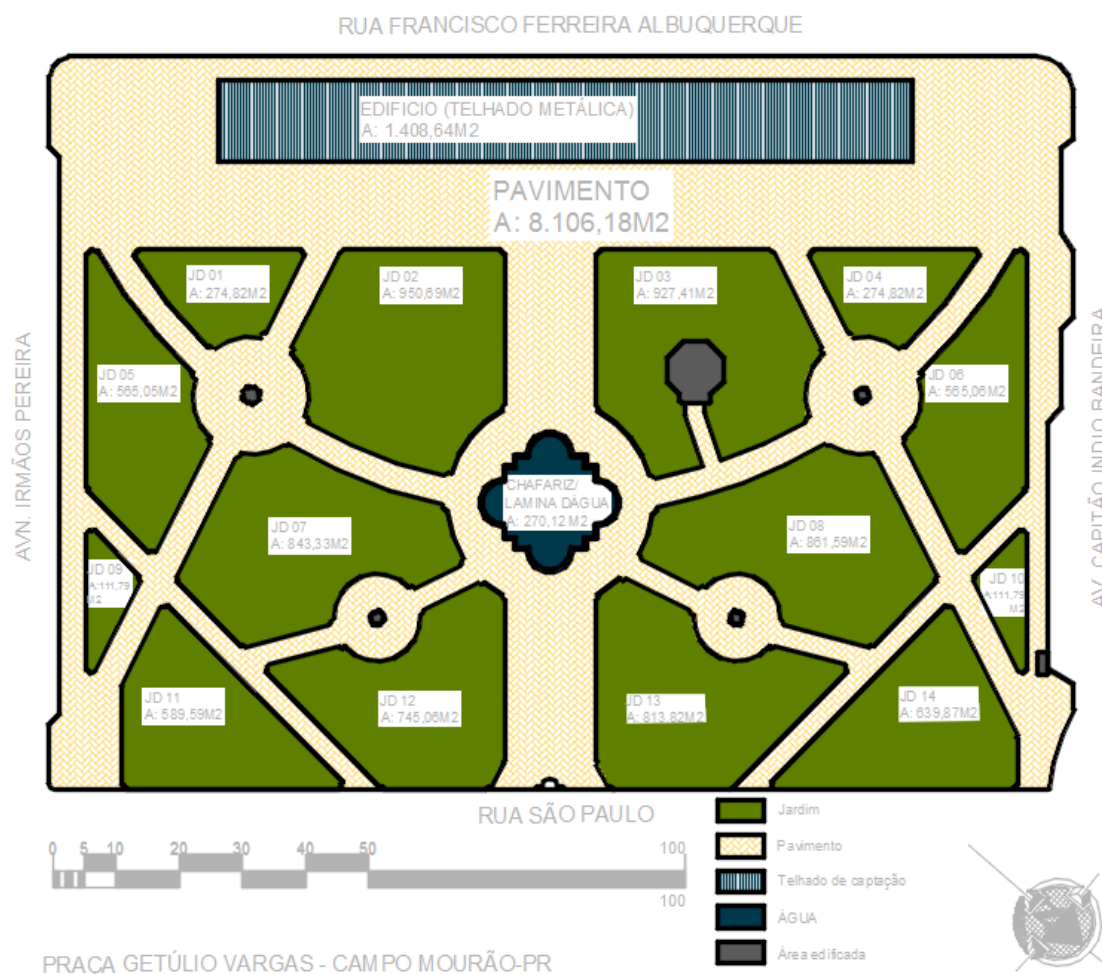


Figura 1 - Planta baixa da Praça Getúlio Vargas
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Para estimar a demanda hídrica, consideraram-se três finalidades principais:

- a) irrigação de áreas verdes;
- b) limpeza de pavimentações intertravadas;
- c) manutenção da lâmina d'água do chafariz.

Uma vez selecionada a praça, partimos para a quantificação da demanda, para isso tomamos como base o quantitativo informado por Tomaz (2011) e Sanepar (2019), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativa de consumo de água para a Praça Getúlio Vargas

ATIVIDADE	Freq. semanal	Freq. anual	Cons. (l/m ²)	Área (m ²)	Demanda anual (m ³)	Demanda mensal (m ³)	Demanda diária (m ³)
Lavagem de Pavimento ⁽¹⁾	0,06	3,00	2,00	8106,18	48,64	4,05	0,13
Rega de jardim ⁽¹⁾	2,00	104,00	2,00	8274,69	1721,14	143,43	4,72
Abastecimento do Chafariz ⁽²⁾	7,00	365,00	2,50	270,12	246,48	20,54	0,68
Demanda total						168,02	5,52

(1) Dados obtidos de Tomaz (2011) – Para limpeza de Paver 2,0 litros/dias/m²; Para Rega de Jardim 2,0 litros/dias/m².

(2) Dados obtidos de Sanepar (2019 – Para chafariz: 2,5 litros/dias/m² de lâminas da água;

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Segundo Valle (2015), os pisos intertravados (PAVER) requerem higienização periódica, visto que partículas de poeira, óleo e resíduos urbanos acumulam-se em sua superfície, comprometendo sua estética e durabilidade. A frequência ideal de limpeza varia, mas estima-se o consumo médio de 2 litros/m² por dia, conforme Tomaz (2011, p.72).

Conforme destacado por Valle (2015), os pavimentos em blocos intertravados de concreto requerem, para adequada conservação e durabilidade, ao menos uma lavagem anual. Para fins dessa simulação, a frequência de limpeza adotada foi de uma intervenção a cada quatro meses, contemplando tanto a manutenção preventiva quanto eventuais ações corretivas.

Em relação à irrigação das áreas ajardinadas, optou-se por considerar a maior frequência sugerida por Tomaz (2011), equivalente a duas aplicações semanais. Embora tal referência seja válida para fins estimativos, ressalta-se que o dimensionamento ideal da irrigação deve considerar o cálculo da evapotranspiração potencial, o qual permite ajustar o volume e a periodicidade da aplicação de água conforme as condições climáticas, tipo de vegetação e características edáficas. Contudo, este estudo não contempla tal metodologia, adotando valores médios de referência.

Para estimar a demanda hídrica referente à manutenção do chafariz ornamental, utilizou-se o valor de 2,5 litros/m²/dia, conforme parâmetros técnicos fornecidos pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR (2019). No dimensionamento, foi considerada a totalidade da área do espelho d'água do chafariz, incluindo superfícies submersas e ilhas centrais, uma vez que essas permanecem constantemente umedecidas, favorecendo perdas por evaporação e respingos.

Após a definição dos consumos por categoria de uso, procedeu-se à análise da disponibilidade hídrica local por meio de dados pluviométricos históricos. Foi selecionada a estação meteorológica “Rio da Varge/Mourão” (código 2452045), cujos dados foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), abrangendo o período de 1996 a 2016, totalizando 20 anos de observações.

O recorte temporal de vinte anos visa a atender aos requisitos da NBR 15.527, que recomenda o uso de, no mínimo, 15 anos de dados pluviométricos para estudos de dimensionamento de sistemas de captação de águas pluviais (ABNT, 2007). Assim, o período utilizado é adequado e atende às exigências normativas. Além do mais, é importante destacar que, por mais de cinquenta anos a estação “Rio da Varge/Mourão”, foi a principal estação meteorológica de Campo Mourão, sendo extinta no início de 2018 devido a problemas técnicos/operacionais, afirma Bonete (2018). Assim, a escolha da

estação meteorológica ocorreu de forma a atender normativas, confiabilidade e proximidade com o local de estudo, visto que era a estação meteorológica mais próxima do local estudado.

A Figura 2 apresenta a série histórica de precipitação mensal acumulada em Campo Mourão/PR, evidenciando os valores médios, máximos e mínimos registrados para cada mês do ano. Observa-se que os valores médios mensais variam entre 88,80 mm e 230,69 mm, sendo os meses de abril, julho e agosto os de menor precipitação, enquanto janeiro, fevereiro e outubro concentram os maiores volumes pluviométricos. Esses dados subsidiam a modelagem hidrológica do sistema de captação e armazenamento de águas pluviais proposto neste estudo.

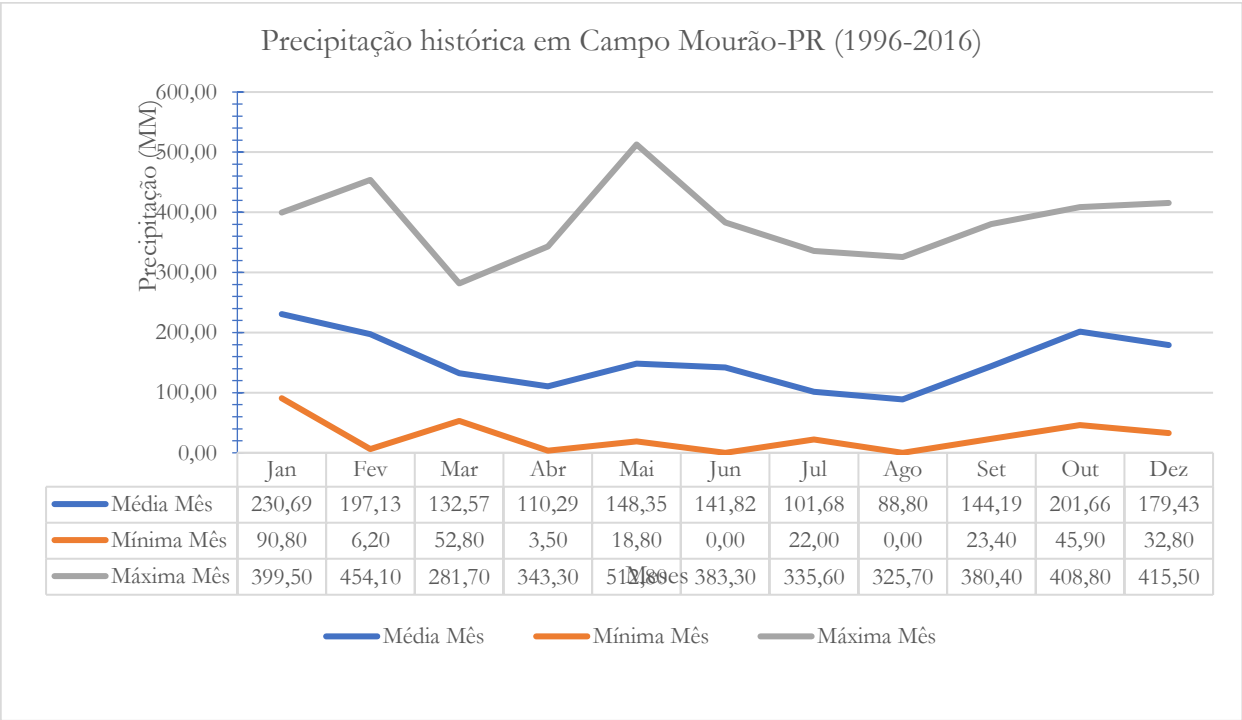


Figura 2 - Série histórica de precipitação mensal em Campo Mourão, entre os anos de 1996-2016
Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados da estação “Rio da Varge/Mourão”, 2025.

Com base na Figura 2, é possível identificar os valores máximos, mínimos e médios de precipitação mensal registrados no período histórico compreendido entre os anos de 1996 e 2016, permitindo uma análise detalhada da variabilidade pluviométrica ao longo do ano. A Figura 3, por sua vez, sintetiza graficamente a série histórica contínua de precipitação diária ao longo dos 7.672 dias analisados, oferecendo uma visão temporal consolidada do regime de chuvas da região.

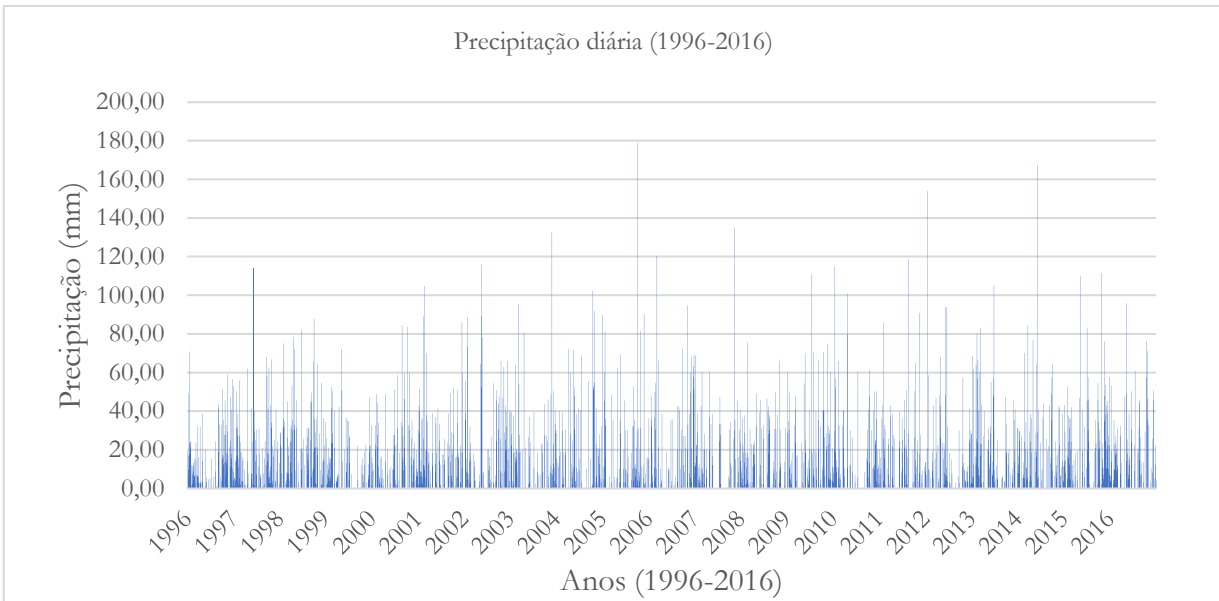


Figura 3 - Série histórica de precipitação diária em Campo Mourão, entre os anos de (1996-2016)
Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados da estação “Rio da Varge/Mourão”, 2025.

Dessa forma, a partir da análise da Figura 3, observa-se uma predominância de eventos pluviométricos diários com volumes inferiores a 50 mm, indicando uma distribuição frequente de chuvas de baixa intensidade ao longo do período analisado. Precipitações diárias na faixa de 50 a 100 mm ocorrem com menor frequência, enquanto eventos extremos, com volumes superiores a 100 mm por dia, foram registrados em ocasiões pontuais. Destacam-se, nesse contexto, os picos máximos observados nos anos de 2005, 2012 e 2014, quando os volumes ultrapassaram os 150 mm em um único dia.

Complementando essa análise, a Tabela 2 apresenta um panorama comparativo mensal, contendo os valores médios, mínimos e máximos de precipitação diária para cada mês, calculados com base em duas décadas de dados históricos. Essa abordagem permite avaliar a sazonalidade e a variabilidade intra-anual do regime de chuvas na localidade estudada.

Tabela 2 - Valores mínimos, máximos e médios para cada mês, entre os anos 1996-2016

VALORES DIÁRIOS												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
MÉDIA	7,44	6,97	4,28	3,56	4,79	4,73	3,28	2,86	4,81	6,51	5,70	5,79
MÍNIMA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MÁXIMA	153,80	104,70	120,40	100,80	115,90	167,60	111,00	118,80	87,70	178,70	135,10	85,90
D. PAD.	16,16	14,37	12,08	12,28	14,20	14,43	10,88	9,82	12,68	16,92	14,95	12,81

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados da estação “Rio da Varge/Mourão”, 2025.

Com base na Tabela 2, verifica-se que os meses de janeiro, junho e agosto apresentaram registros de precipitação diária superiores a 150 mm, caracterizando eventos extremos. Ainda segundo os dados históricos, os meses de janeiro, fevereiro, outubro, novembro e dezembro possuem médias diárias de precipitação superiores a 5 mm, indicando maior recorrência de chuvas nesses períodos.

O mês de agosto, por sua vez, destaca-se como o menos chuvoso do ano, com média diária correspondente a aproximadamente 40% da taxa observada em janeiro, o que evidencia significativa sazonalidade no regime pluviométrico da região.

A partir do conhecimento da área de cobertura do telhado utilizada como superfície de captação, bem como dos índices pluviométricos históricos da localidade, procedeu-se ao cálculo da capacidade de aproveitamento de água da chuva. Para isso, adotou-se a Equação (1), apresentada a seguir.

$$V(m^3) = \frac{A(m^2) \times P(mm) \times C}{1000} \quad (1)$$

Sendo:

$V(m^3)$ = Volume da chuva em metros cúbicos;

$A(m^2)$ = Área do telhado em metros quadrados;

$P(mm)$ = Precipitação pluviométrica em milímetros;

C = Coeficiente de *Runoff*, de acordo com Tomaz (2011), para telhas metálicas, considerar a faixa entre 0,8 e 0,9. Para nossa simulação, optamos pelo valor médio, ou seja, 0,85.

Na sequência, procedeu-se ao dimensionamento do reservatório de acumulação, à definição do nível de confiabilidade do sistema e à estimativa da eficiência de atendimento da demanda hídrica por meio da captação pluvial. Como base metodológica, foi adotada a abordagem de simulação hidrológica, conforme estabelecido na norma NBR 15.527 – Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas: Requisitos (ABNT, 2007).

A metodologia de simulação consiste em estipular um volume inicial de reservatório e monitorar, ao longo de uma série histórica de precipitação, as variações no volume armazenado, bem como os *deficits* que exigem suplementação com água proveniente de outras fontes (por exemplo. rede pública).

Com o intuito de analisar o desempenho do sistema sob diferentes condições de armazenamento, foram realizadas simulações para três capacidades distintas de reservatórios: 50 m³, 100 m³ e 150 m³. Essa abordagem permite avaliar o comportamento hidrodinâmico de cada configuração, considerando a sazonalidade das chuvas e a regularidade das demandas.

O dimensionamento por simulação foi desenvolvido com base nas Equações (2) e (3), conforme apresentado na próxima seção, respeitando os critérios técnicos definidos pela referida norma.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (2)$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva (t)} \times \text{área de captação} \quad (3)$$

Sendo que: $0 \leq S_{(t)} \leq V$

Sendo:

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo t;

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

$Q_{(t)}$ = volume de chuva aproveitável no tempo t;

$D_{(t)}$ = demanda ou consumo no tempo t;

V = volume do reservatório fixado;

C = coeficiente de escoamento superficial;

É fundamental que a capacidade volumétrica do reservatório seja dimensionada de modo a suprir a demanda hídrica em grande parte do tempo, minimizando a necessidade de complementação com fontes externas. Para avaliar essa adequação, adota-se o índice de confiabilidade do sistema, calculado por meio das Equações (4) e (5), as quais expressam a frequência com que o reservatório consegue atender integralmente à demanda ao longo do período analisado.

Segundo Tomaz (2007), considera-se que um sistema de aproveitamento de águas pluviais apresenta alto grau de confiabilidade quando esse índice se situa entre 90% e 99%, garantindo, portanto, sua viabilidade operacional sob condições climáticas típicas da localidade.

$$\text{Confiância} = (1 - P_{(r)}) \times 100 \quad (4)$$

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (5)$$

Sendo:

P_r = falha

N_r = Vezes que o reservatório não atendeu a demanda;

N = Período estudado

A eficiência de um reservatório de águas pluviais é definida como a razão entre o volume de água precipitada efetivamente utilizada e o volume total demandado no mesmo período. Trata-se de um indicador de desempenho essencial para avaliar o aproveitamento do recurso hídrico disponível.

À medida que essa razão se aproxima de 100%, maior é o aproveitamento da água captada em relação às necessidades do sistema, o que reflete em uma menor dependência de fontes externas de abastecimento.

De acordo com Tomaz (2011), essa eficiência pode ser quantificada por meio da Equação (6), a qual permite estimar o percentual de atendimento da demanda com base na precipitação registrada e na capacidade de armazenamento adotada.

$$R_v = 100 \times \frac{V_s}{V_d} \quad (6)$$

Sendo:

R_v = Eficiência

V_s = volume da água de chuva

V_d = volume da demanda

A depender da finalidade de uso e do padrão de qualidade exigido para a água de reuso, torna-se necessário considerar a presença de impurezas acumuladas nas superfícies de captação, especialmente em telhados. Elementos como poeira, folhas, excrementos de aves e outros detritos sólidos tendem a ser arrastados pelas primeiras precipitações, fenômeno conhecido como First Flush.

A adoção de dispositivos para descarte da primeira água captada é recomendada quando há exigência de maior controle sanitário, como destaca Vieira *et al.* (2013, p. 1), “[...] pesquisas feitas mostram que o *first flush* varia de 0,4 L/m² de telhado a 8 L/m² de telhado, conforme o local.”

A decisão quanto à incorporação ou não desse mecanismo depende do critério do projetista, sendo diretamente relacionada ao nível de qualidade requerido para o uso final da água. No presente estudo, optou-se por não considerar o volume de *first flush*, tendo em vista que os usos propostos não exigem elevados padrões de potabilidade, conforme o escopo definido nesta pesquisa.

Cabe destacar que este estudo não contempla aspectos de qualidade da água, tratamento ou potabilidade, uma vez que o foco da pesquisa está no uso não potável da água da chuva. A qualidade da água captada, quando destinada a usos urbanos, deve seguir recomendações da ABNT NBR 15.527, incluindo dispositivos de filtragem, descarte da primeira chuva e manutenção periódica (ABNT, 2007).

Além disso, os volumes de demanda foram estimados com base em literatura técnica e dados empíricos, podendo sofrer variações de acordo com as condições reais de uso e operação dos sistemas públicos de manutenção urbana.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos objetivos propostos e na metodologia adotada, esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da simulação do desempenho de três reservatórios com capacidades distintas (50 m³, 100 m³ e 150 m³).

A definição dos volumes de 50 m³, 100 m³ e 150 m³ para o reservatório fundamenta-se em pesquisas consolidadas de dimensionamento de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, que recomendam a análise comparativa de diferentes cenários volumétricos de armazenamento para avaliar eficiência, confiabilidade e custo-benefício. Estudos apontam que a variação da capacidade de reservação permite identificar o ponto de equilíbrio entre atendimento da demanda e viabilidade econômica (Santos; Taveira-Pinto, 2013).

Nesse sentido, a adoção de três faixas progressivas de capacidade possibilita avaliar desde soluções de menor escala, como o reservatório de 50 m³, de implantação mais simples e baixo custo, até alternativas de maior eficiência operacional, como o reservatório de 150 m³. O volume intermediário de 100 m³, por sua vez, pode representar um cenário de compromisso entre custo e desempenho. Além disso, a própria NBR 15.527 recomenda o uso de simulações com diferentes cenários de precipitação, área de captação e demanda para o correto dimensionamento de reservatórios, reforçando a pertinência da escolha metodológica adotada (ABNT, 2007).

As Tabelas 3, 4 e 5 sistematizam os principais parâmetros analisados para cada configuração, incluindo:

- a) Índice de confiabilidade do sistema (% de dias com atendimento integral da demanda);
- b) Eficiência de aproveitamento hídrico;
- c) Volume excedente (*overflow*);
- d) Volume suplementar necessário por fontes externas;
- e) Número de dias em que a demanda foi plenamente atendida.

Importante destacar que o período analisado corresponde a uma série histórica diária ao longo de 20 anos, totalizando mais de 7.300 registros, optou-se pela supressão das tabelas 3, 4 e 5. A inclusão integral dessas informações tornaria extensa e difícil a leitura, sem acrescentar ganhos significativos à análise, no entanto, todo resultado aqui apresentado leva em consideração a tabela integral, na qual sua linha final retrata o valor final para o período considerado.

Esses indicadores permitem avaliar comparativamente o desempenho hidráulico de cada alternativa de armazenamento frente às demandas definidas, fornecendo subsídios técnicos para a escolha do sistema mais adequado sob os critérios de sustentabilidade, eficiência e viabilidade econômica.

Tabela 3 - Planilha de dimensionamento do reservatório com capacidade para 50 m³

DATA	P (mm)	Dem. (m³/dia)	área do telhado (m²)	Vol. Prec. 0,85 (m³)	Eficiência (%)		RV	30,88		
					Confiança (%)		RF	63,97		
					SIMULADO RESERVATÓRIO 01					
					Capacidade (m³)			50,00		
					Vol. Acum. no reserv. (m³)	Overflow (m³)	Sup. de água externa (m³)	Dias com neces. de água externa.	Dias Overflow	Dias que supriu a Dem.
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10	Coluna 11
01/01/1996	19,30	5,52	1408,64	23,109	23,109	0,000	0,000	0	0	1
02/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	17,589	0,000	0,000	0	0	1
03/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	12,069	0,000	0,000	0	0	1
04/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	6,549	0,000	0,000	0	0	1
05/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	1,029	0,000	0,000	0	0	0
06/01/1996	10,00	5,52	1408,64	11,973	7,482	0,000	0,000	0	0	1
07/01/1996	0,90	5,52	1408,64	1,078	3,040	0,000	0,000	0	0	0
08/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	0,000	0,000	2,480	1	0	0
09/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	0,000	0,000	5,520	1	0	0
10/01/1996	16,70	5,52	1408,64	19,996	14,476	0,000	0,000	0	0	1
11/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	8,956	0,000	0,000	0	0	1
12/01/1996	5,60	5,52	1408,64	6,705	10,141	0,000	0,000	0	0	1
13/01/1996	49,40	5,52	1408,64	59,149	50,000	13,770	0,000	0	1	1
14/01/1996	11,30	5,52	1408,64	13,530	50,000	8,010	0,000	0	1	1
15/01/1996	5,00	5,52	1408,64	5,987	50,000	0,467	0,000	0	1	1
16/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	44,480	0,000	0,000	0	0	1
17/01/1996	23,40	5,52	1408,64	28,018	50,000	16,978	0,000	0	1	1
18/01/1996	70,90	5,52	1408,64	84,892	50,000	79,372	0,000	0	1	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
26/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	19,348	0,000	0,000	0	0	1
27/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	13,828	0,000	0,000	0	0	1
28/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	8,308	0,000	0,000	0	0	1
29/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	2,788	0,000	0,000	0	0	0
30/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	0,000	0,000	2,732	1	0	0
31/12/2016	4,20	5,52	1408,64	5,029	0,000	0,000	5,520	1	0	0
	38.824,20	42.349,44		46.485,92	141.400,76	17.916,12	14.213,28	2.764,00	719,00	4.540,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Tabela 4 - Planilha de dimensionamento do reservatório com capacidade para 100 m³

DATA	P (mm)	Dem. (m³/dia)	área do telhado (m²)	Vol. Prec. 0,85 (m³)	Eficiência (%)	RV	52,08			
					Confiança (%)	RF	76,54			
					SIMULADO RESERVATÓRIO 02					
					Capacidade (m³)			100,00		
					Vol. Acum. no reserv. (m³)	Overflow (m³)	Sup. de água externa (m³)	Dias com neces. de água externa.	Dias Overflow	Dias que supriu a Dem.
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10	Coluna 11
01/01/1996	19,30	5,52	1408,64	23,109	23,109	0,000	0,000	0,000	0	1
02/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	17,589	0,000	0,000	0,000	0	1
03/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	12,069	0,000	0,000	0,000	0	1
04/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	6,549	0,000	0,000	0,000	0	1
05/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	1,029	0,000	0,000	0,000	0	0
06/01/1996	10,00	5,52	1408,64	11,973	7,482	0,000	0,000	0,000	0	1
07/01/1996	0,90	5,52	1408,64	1,078	3,040	0,000	0,000	0,000	0	0
08/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	0,000	0,000	2,480	1,000	0	0
09/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	0,000	0,000	5,520	1,000	0	0
10/01/1996	16,70	5,52	1408,64	19,996	14,476	0,000	0,000	0,000	0	1
11/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	8,956	0,000	0,000	0,000	0	1
12/01/1996	5,60	5,52	1408,64	6,705	10,141	0,000	0,000	0,000	0	1
13/01/1996	49,40	5,52	1408,64	59,149	63,770	0,000	0,000	0,000	0	1

Eficiência hídrica em espaços públicos

DATA	P (mm)	Dem. (m³/dia)	área do telhado (m²)	Vol. Prec. 0,85 (m³)	Eficiência (%)	RV	52,08					
					Confiança (%)	RF	76,54					
					SIMULADO RESERVATÓRIO 02							
					Capacidade (m³)			100,00				
					Vol. Acum. no reserv. (m³)	Overflow (m³)	Sup. de água externa (m³)	Dias com neces. de água externa.	Dias Overflow	Dias que supriu a Dem.		
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10	Coluna 11		
14/01/1996	11,30	5,52	1408,64	13,530	71,780	0,000	0,000	0,000	0	1		
15/01/1996	5,00	5,52	1408,64	5,987	72,246	0,000	0,000	0,000	0	1		
16/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	66,726	0,000	0,000	0,000	0	1		
17/01/1996	23,40	5,52	1408,64	28,018	89,224	0,000	0,000	0,000	0	1		
18/01/1996	70,90	5,52	1408,64	84,892	100,000	68,596	0,000	0,000	1	1		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
26/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	64,974	0,000	0,000	0,000	0	1		
27/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	59,454	0,000	0,000	0,000	0	1		
28/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	53,934	0,000	0,000	0,000	0	1		
29/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	48,414	0,000	0,000	0,000	0	1		
30/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	42,894	0,000	0,000	0,000	0	1		
31/12/2016	4,20	5,52	1408,64	5,029	42,403	0,000	0,000	0,000	0	1		
	38.824,20	42.349,44		46.485,92	335.492,46	13.058,14	9.217,30	1.800,00	511,00	5.664,00		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Tabela 5 - Planilha de dimensionamento do reservatório com capacidade para 150 m³

DATA	P (mm)	Dem. (m³/dia)	área do telhado (m²)	Vol. Prec. 0,85 (m³)	Eficiência (%)	RV		61,94			
					Confiança (%)	RF		82,44			
					SIMULADO RESERVATÓRIO 03						
					Capacidade (m3)			150,00			
					Vol. Acum. no reserv. (m³)	Overflow (m³)	Sup. de água externa (m³)	Dias com neces. de água externa.	Dias Overflow	Dias que supriu a Dem.	
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10	Coluna 11	
01/01/1996	19,30	5,52	1408,64	23,109	23,109	0,000	0,000	0,000	0	1	
02/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	17,589	0,000	0,000	0,000	0	1	
03/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	12,069	0,000	0,000	0,000	0	1	
04/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	6,549	0,000	0,000	0,000	0	1	
05/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	1,029	0,000	0,000	0,000	0	0	
06/01/1996	10,00	5,52	1408,64	11,973	7,482	0,000	0,000	0,000	0	1	
07/01/1996	0,90	5,52	1408,64	1,078	3,040	0,000	0,000	0,000	0	0	
08/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	0,000	0,000	2,480	1,000	0	0	
09/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	0,000	0,000	5,520	1,000	0	0	
10/01/1996	16,70	5,52	1408,64	19,996	14,476	0,000	0,000	0,000	0	1	
11/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	8,956	0,000	0,000	0,000	0	1	
12/01/1996	5,60	5,52	1408,64	6,705	10,141	0,000	0,000	0,000	0	1	
13/01/1996	49,40	5,52	1408,64	59,149	63,770	0,000	0,000	0,000	0	1	
14/01/1996	11,30	5,52	1408,64	13,530	71,780	0,000	0,000	0,000	0	1	
15/01/1996	5,00	5,52	1408,64	5,987	72,246	0,000	0,000	0,000	0	1	
16/01/1996	0,00	5,52	1408,64	0,000	66,726	0,000	0,000	0,000	0	1	
17/01/1996	23,40	5,52	1408,64	28,018	89,224	0,000	0,000	0,000	0	1	
18/01/1996	70,90	5,52	1408,64	84,892	150,000	18,596	0,000	0,000	1	1	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
26/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	77,392	0,000	0,000	0,000	0	1	
27/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	71,872	0,000	0,000	0,000	0	1	
28/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	66,352	0,000	0,000	0,000	0	1	
29/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	60,832	0,000	0,000	0,000	0	1	
30/12/2016	0,00	5,52	1408,64	0,000	55,312	0,000	0,000	0,000	0	1	
31/12/2016	4,20	5,52	1408,64	5,029	54,821	0,000	0,000	0,000	0	1	
	38.824,20	42.349,44		46.485,92	548.369,82	10.789,31	6.904,40	1.347,00	426,00	6.182,00	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A análise comparativa dos dados apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5 revela uma correlação direta entre a capacidade volumétrica do reservatório e os níveis de eficiência e confiabilidade do sistema de aproveitamento de águas pluviais. Observa-se que, à medida que o volume de armazenamento é ampliado, há um desempenho superior do sistema em múltiplos indicadores operacionais: redução significativa do volume excedente (*overflow*), menor dependência de suplementação por fontes externas e aumento do número de dias com atendimento pleno da demanda hídrica (Valor total apresentado na linha final de cada tabela.).

O reservatório de 150 m³, apesar de apresentar o melhor desempenho entre as três alternativas simuladas, não alcançou o patamar mínimo de confiabilidade entre 90% e 99%, conforme preconizado por Tomaz (2007), isso indica que, mesmo com maior capacidade, o sistema ainda apresenta limitações para suprir continuamente a demanda nos períodos críticos de baixa pluviosidade.

Esse resultado evidencia que a simples ampliação volumétrica, embora benéfica, não garante por si só um alto índice de confiabilidade, sendo necessária uma abordagem integrada que considere, além da capacidade de armazenamento, estratégias complementares, como o escalonamento da demanda, o uso de espécies vegetais de baixo consumo hídrico e a possível combinação com outras fontes alternativas de água.

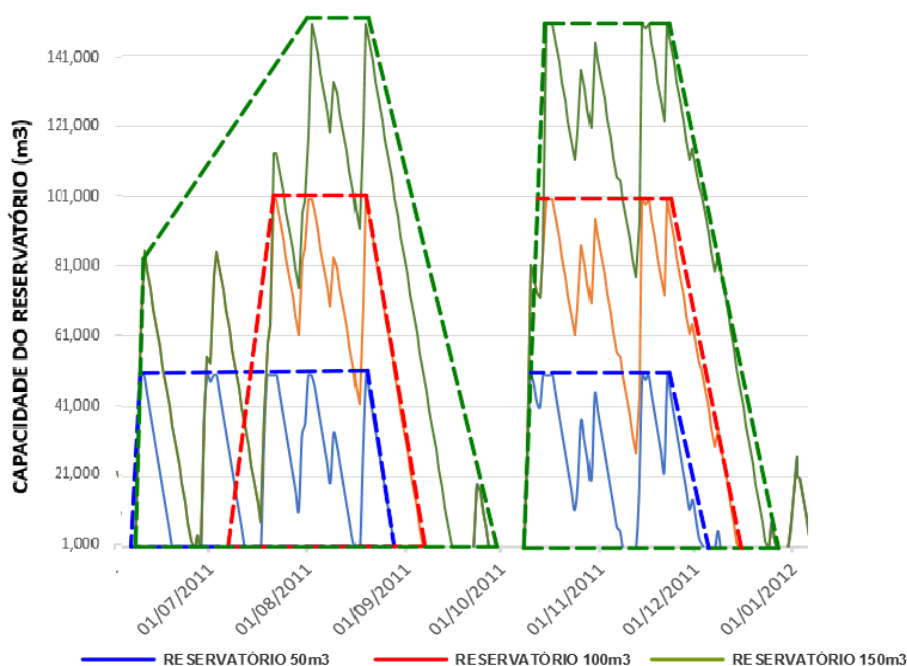
Destaca-se que as três volumetrias analisadas — 50 m³, 100 m³ e 150 m³ — apresentaram comportamentos distintos quanto à capacidade de armazenamento e atendimento à demanda hídrica, conforme ilustrado na Figuras 05. Essas representações gráficas possibilitam visualizar a dinâmica de acúmulo e escoamento ao longo do tempo, permitindo a identificação de períodos de excedente (*overflow*), *déficits* hídricos e a variação no desempenho de cada configuração frente às variações pluviométricas da série histórica analisada.

Dessa forma, evidencia-se um comportamento hidrodinâmico distinto entre os reservatórios simulados. Observa-se que, com o aumento da capacidade volumétrica, ocorre uma redução na frequência dos picos de transbordamento (*overflow*) e uma ampliação da base das curvas de volume armazenado, indicando maior estabilidade no atendimento da demanda ao longo do tempo.

No caso do reservatório com capacidade de 50 m³, verifica-se uma maior recorrência de picos — ou seja, sua capacidade máxima é atingida com maior frequência, resultando em perdas por extravasamento. Em contrapartida, o reservatório de 150 m³, embora atinja sua capacidade máxima

com menor frequência, apresenta períodos mais prolongados de fornecimento contínuo, refletidos na largura ampliada da base da curva. Esse comportamento demonstra a maior autonomia operacional do sistema de maior volume, especialmente em períodos de estiagem ou precipitação reduzida.

A Figura 4, por sua vez, reforça essa relação entre a altura (picos) e a largura (base) das curvas, evidenciando de forma gráfica a superioridade funcional dos reservatórios com maior capacidade no contexto de atendimento contínuo à demanda hídrica urbana.



Conforme os resultados apresentados, as diferentes capacidades volumétricas dos reservatórios exercem influência direta tanto sobre os volumes de extravasamento (*overflow*) quanto sobre a necessidade de suplementação com água proveniente de fontes externas. Essa relação é representada de forma clara na Figura 5, a qual ilustra o comportamento comparativo entre os três cenários simulados.

Observa-se que os reservatórios de menor capacidade, embora operem com elevada frequência de enchimento total, apresentam maiores volumes de descarte por extravasamento, resultando em perdas significativas de água potencialmente utilizável. Em contrapartida, os reservatórios de maior capacidade, como o de 150 m³, mostram-se mais eficazes na retenção e utilização do volume precipitado, reduzindo a dependência de abastecimento externo e promovendo maior eficiência operacional ao sistema de reuso.

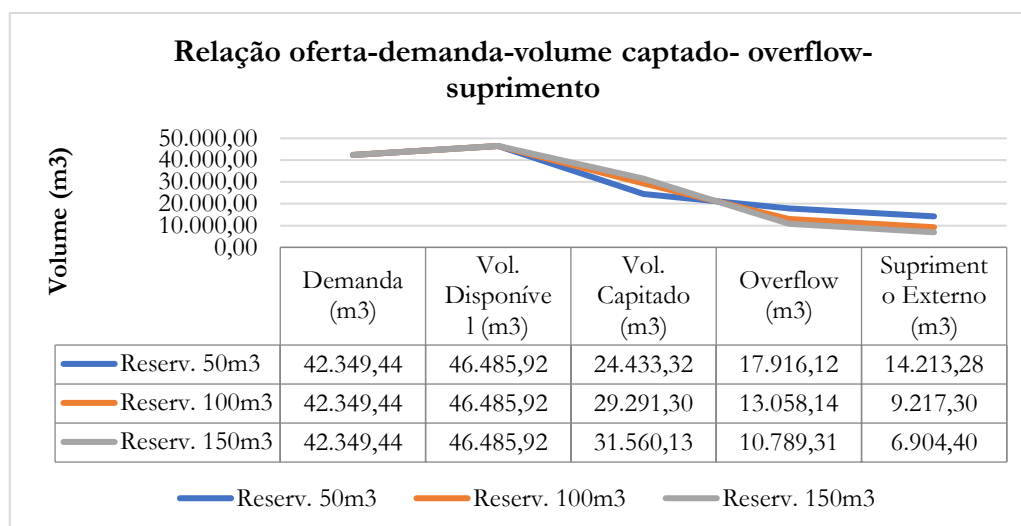


Figura 5 - Comparativo entre reservatórios (volume captado, *overflow* e suprimento externo), entre 1996 e 2016
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A Figura 5 evidencia que, ao longo do período analisado (1996 – 2016), o volume total de água disponível para captação é de 46.485,92m³, valor levemente superior à demanda total estimada de 42.349,44m³. No entanto, nenhum dos reservatórios simulados apresentou capacidade de armazenamento suficiente para reter integralmente esse volume, isso resultou em perdas recorrentes por extravasamento (*overflow*).

Os dados demonstram com clareza a relação inversamente proporcional entre a capacidade volumétrica do reservatório e os volumes de *overflow* e de abastecimento externo. À medida que a capacidade de armazenamento aumenta, há uma redução significativa tanto no volume de água descartada quanto na necessidade de suplementação por fontes externas. Esse comportamento confirma o princípio de que reservatórios maiores proporcionam maior eficiência operacional e autonomia hídrica.

É importante destacar o quase paralelismo entre os volumes de *overflow* e os volumes de reabastecimento externo observados nas três simulações. Tal comportamento reforça que a água desperdiçada por extravasamento poderia, em tese, suprir parte significativa das necessidades que exigiram complementação externa, caso houvesse maior capacidade de retenção.

A Figura 6 ilustra, de forma sintética e comparativa, a distribuição dos dias com atendimento pleno da demanda, dias com necessidade de suplementação hídrica e dias com ocorrência de *overflow*, ao longo dos vinte anos simulados. Essa representação gráfica reforça a tendência observada e fornece subsídios para a tomada de decisão quanto ao dimensionamento ideal do sistema de armazenamento para espaços públicos urbanos.

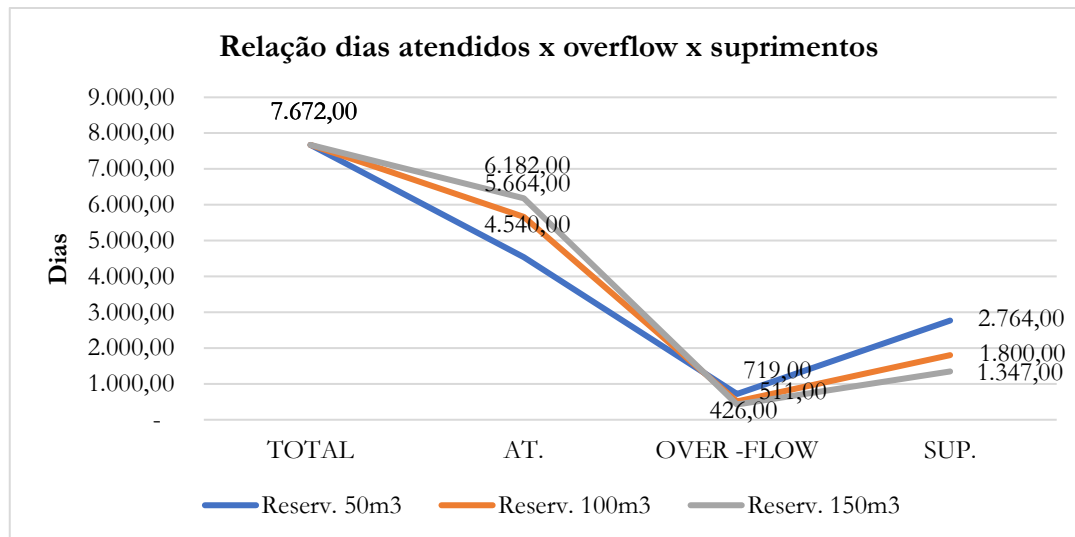


Figura 6 - Comparativo entre dias atendidos (*overflow* e suprimento externo), de 1996 a 2016
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Ainda conforme a Figura 6 permite verificar, o reservatório com maior capacidade (150 m³) apresentou o melhor desempenho entre os cenários simulados, sendo capaz de atender plenamente a demanda hídrica em 6.182 dos 7.672 dias analisados. Tal desempenho reforça a relação inversamente proporcional entre os dias com atendimento, os dias com necessidade de reabastecimento externo e os episódios de *overflow*.

Contudo, cabe ressaltar que essa proporcionalidade não é linear. Ao comparar os reservatórios de maior e menor capacidade, nota-se que os ganhos em desempenho não acompanham de forma direta o incremento volumétrico, o que pode ser observado pelas Equações 7, 8 e 9, as quais expressam quantitativamente essa relação. Isso indica que embora o aumento da capacidade contribua significativamente para a melhoria da eficiência e confiabilidade do sistema, há limites de retorno marginal que devem ser considerados na tomada de decisão quanto ao dimensionamento mais adequado.

$$\text{Volume} = \frac{V_{(M)}}{V_{(m)}} = 3,00 \quad (7)$$

$$\text{Dias atendidos} = \frac{D-at_{(M)}}{D-at_{(m)}} = 1,69 \quad (8)$$

$$\text{Dias com suprimento externo} = \frac{D-sup_{(M)}}{D-supr_{(m)}} = 2,05 \quad (9)$$

Sendo:

$V_{(M)}$ = Volume maior

$V_{(m)}$ = Volume menor
 $D-at_{(M)}$ = Dias atendidos pelo maior
 $D-at_{(m)}$ = Dias atendidos pelo menor
 $D-sup_{(M)}$ = Dias com suprimento externo pelo maior
 $D-sup_{(m)}$ = Dias com suprimento externo menor

A desproporcionalidade observada entre o aumento da capacidade volumétrica e os respectivos ganhos em desempenho reflete-se diretamente nos índices de confiança e eficiência operacional dos reservatórios, conforme demonstrado na Figura 7. Ainda que o reservatório de maior volume tenha alcançado melhores resultados em termos absolutos, a evolução desses indicadores não ocorre de forma proporcional ao incremento da capacidade, evidenciando a presença de diminuição dos retornos marginais a partir de determinado ponto de dimensionamento.

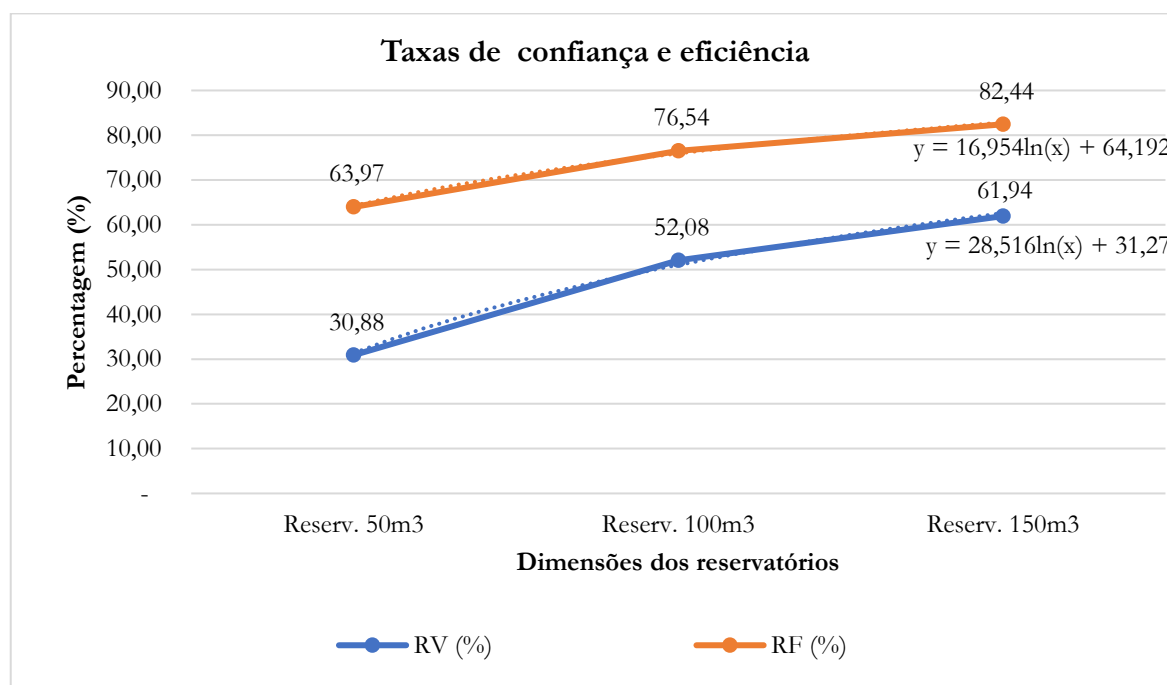


Figura 7 - Índices de confiança (RF) e eficiência (RV) para os diferentes volumes analisados
 Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A análise da Figura 7 evidencia a existência de dois segmentos distintos de comportamento nas curvas de eficiência e confiança. O primeiro intervalo, compreendido entre os reservatórios de 50 m³ e 100 m³, apresenta uma inclinação mais acentuada, indicando ganhos mais expressivos e proporcionais em desempenho com o aumento da capacidade. Já o segundo intervalo, entre os reservatórios de 100 m³ e 150 m³, revela uma inclinação mais suave e quase paralela, sugerindo uma redução dos ganhos marginais a partir de determinado ponto de dimensionamento.

De maneira geral, observa-se que o reservatório de 150 m³ apresentou aproximadamente o dobro da eficiência em comparação ao de menor capacidade. No entanto, o índice de confiança, que representa

a proporção de dias com atendimento pleno da demanda, não evoluiu na mesma proporção, permanecendo abaixo dos valores recomendados por Tomaz (2007), situados entre 90% e 99%.

Esse comportamento revela que a relação entre capacidade volumétrica, eficiência e confiabilidade do sistema torna-se menos vantajosa à medida que se incrementa o volume do reservatório. Tal limitação decorre do fato de que o potencial de captação do sistema ($46.485,92\text{m}^3$) encontra-se muito próximo da demanda total anual estimada ($42.349,44\text{m}^3$). Em outras palavras, há uma limitação estrutural imposta pela área de captação disponível (telhado), a qual restringe o volume de água que pode ser coletado anualmente.

Dessa forma, a estratégia mais viável e eficiente não está na ampliação da capacidade de reservação, mas sim na expansão da área de captação, seja por meio da integração de coberturas adicionais, superfícies pavimentadas ou áreas impermeáveis urbanas adjacentes, o que possibilitaria o aumento do volume captado e, conseqüentemente, maior desempenho do sistema de reuso de águas pluviais.

Essa constatação é fundamental para decisões de planejamento, pois indica que a simples ampliação da capacidade de armazenamento não garante aumento equivalente na eficiência ou confiabilidade. Assim, torna-se necessário considerar a relação custo-benefício, aliando critérios técnicos, operacionais e econômicos para a definição do volume ideal de reservação no contexto urbano analisado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A problemática central deste estudo partiu da constatação de que os espaços públicos urbanos, como a Praça Getúlio Vargas em Campo Mourão/PR, consomem volumes significativos de água potável para fins não potáveis, como irrigação, limpeza de pavimentos e abastecimento de chafarizes ornamentais. Em um contexto de crescente escassez hídrica e pressões sobre os recursos naturais, questiona-se a sustentabilidade desse modelo tradicional de abastecimento, especialmente em municípios de médio porte.

Frente a essa realidade, o objetivo geral deste trabalho consistiu em avaliar a viabilidade técnica do aproveitamento de águas pluviais em áreas urbanas públicas, com foco no dimensionamento de reservatórios para usos não potáveis. Os objetivos específicos foram: (i) quantificar a demanda hídrica das atividades de manutenção da praça; (ii) analisar a disponibilidade de precipitação local com base em série histórica de 20 anos; (iii) simular diferentes capacidades de reservatórios (50 m^3 , 100 m^3 e 150 m^3); e (iv) avaliar os índices de eficiência, confiabilidade e perdas por *overflow*.

Os resultados obtidos confirmaram a viabilidade parcial da proposta, uma vez que os volumes de água precipitada se mostraram compatíveis com a demanda total estimada. Contudo, observou-se que nenhum dos três reservatórios simulados foi capaz de suprir 100% da necessidade hídrica, nem mesmo o de 150 m³, cuja confiabilidade permaneceu abaixo da faixa recomendada (90% a 99%) conforme Tomaz (2007). Apesar disso, foi possível identificar uma relação direta entre o aumento da capacidade volumétrica e a redução da necessidade de abastecimento externo, além da ampliação dos dias com atendimento pleno da demanda.

Do ponto de vista do dimensionamento, os resultados demonstraram que o incremento da capacidade de reservação apresenta ganhos marginais decrescentes, o que impõe limites técnicos e econômicos à expansão do volume dos reservatórios. Assim, recomenda-se que futuras intervenções foquem não apenas no aumento da capacidade de armazenamento, mas também na expansão das áreas de captação, incluindo coberturas adicionais e superfícies impermeáveis adjacentes.

Além disso, a adoção de tecnologias complementares, como sistemas de filtragem, recirculação e dispositivos de *first flush*, pode elevar a qualidade e a segurança da água armazenada. Recomenda-se ainda que projetos futuros incorporem análises econômicas e comparativas com outras alternativas de gestão hídrica urbana, de modo a ampliar o embasamento para a tomada de decisão.

Por fim, acredita-se que este trabalho pode servir como referência técnico-metodológica para gestores públicos, pesquisadores e projetistas que buscam soluções sustentáveis, contribuindo para uma política de uso racional da água em áreas urbanas. Do ponto de vista científico, o estudo avança ao aplicar métodos de simulação hidrológica com base em séries históricas de precipitação, associando variáveis como demanda setorial, capacidade de reservação e confiabilidade operacional. Além disso, fundamenta-se em normativas técnicas nacionais (como a NBR 15.527/2007) e evidências empíricas, oferecendo uma base sólida para futuras pesquisas aplicadas em gestão hídrica urbana.

A adoção de sistemas de reuso exige, portanto, planejamento técnico, monitoramento da qualidade da água, definição clara dos usos permitidos e integração com políticas públicas de saneamento e urbanismo sustentável. Diante do cenário atual de escassez hídrica, urbanização acelerada e pressão sobre os sistemas convencionais de abastecimento, o reuso de águas pluviais emerge como uma estratégia fundamental para a sustentabilidade urbana. Ressalta-se, contudo, que a implementação efetiva dessa prática demanda não apenas adequações estruturais, mas também transformações culturais no âmbito da gestão urbana.

REFERÊNCIAS

ANA. **Atlas da irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: ANA, 2020. Disponível em: <https://11nk.dev/Hrm03>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ABNT. **NBR 15527: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

BONELLI, M. Década 2010-2015: Parque Madureira: ambientalmente correto reutiliza água de chuva. **Revista SEAERJ Hoje**, Rio de Janeiro, n. 25, p. 24-25, jul. 2015. Disponível em: <https://bit.ly/2YoueQt>. Acesso em: 18 jun. 2025.

BONETE, C. Após mais de 50 anos, Estação Climatológica é desativada em CM. **Tásabendo**, 21 maio 2018. Disponível em: <https://tasabendo.com.br/geral/apos-mais-de-50-anos-estacao-climatologica-e-desativada-em-cm/>. Acesso em: 15 set. 2025.

BOTARI, J. C.; BOTARI, A.; BERTONHA, A. Aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis em residência unifamiliar popular: Uma proposta para a região Metropolitana de Umuarama–Noroeste do Paraná. In: SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS, 15., 2015, Porto. **Anais [...]**. Porto: [s. n.], 2015. p. 316-321. Disponível em: <https://bit.ly/2LpoDp9>. Acesso em: 23 jun. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2013**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. 181 p. Disponível em: <https://11nk.dev/2SHFV>. Acesso em: 9 set. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico temático serviços de água e esgoto: visão geral**. Ano de referência 2022. Brasília: Ministério das Cidades, dez. 2023. Disponível em: <https://11nk.dev/2SHFV>. Acesso em: 9 set. 2025.

CAMPO MOURÃO. Prefeitura Municipal. **Clima**. Campo Mourão, 2023. Disponível em: <https://bit.ly/2XbzNFj>. Acesso em: 15 jun. 2023.

CARDIM, R. **Paisagismo sustentável para o Brasil: Integrando natureza e humanidade no século XXI**. São Paulo: Editora Olhares, 2022.

COSTA, R. R. K. **Análise de emissários da galeria de águas pluviais contribuintes do Rio do Campo na região central do município de Campo Mourão, Paraná**. 2016. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece critérios gerais para reuso de água potável. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direito não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF: CNHR, 2005.

GUARNIERI, R. **Parque Chico Mendes tem reaproveitamento de água de chuva**. Itu: Prefeitura da Itu, 06 de novembro de 2024. Disponível em: <https://bit.ly/2ZJ9OSm>. Acesso em: 15 jun. 2025.

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

HERRMANN, Thilo; SCHMIDA, Uwe. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 307–316. 2000. Disponível em: <https://encr.pw/IBcCe>. Acesso em: 15 ago. 2025. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00024-8)

HOWARD, Guy; BARTRAM, Jamie; WILLIAMS, Ashley; OVERBO, Alycia; FUENTE, David; GEERE, Jo-Anne. **Domestic water quantity, service level and health**. 2. ed. Geneva: World Health Organization, 2020. Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/67884>. Acesso em: 18 set. 2025.

MARINOSKI, Ana Kelly; GHISI, Enedir. Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 67–84, abr./jun. 2008. Disponível em: <https://11nq.com/hzTbP>. Acesso em: 15 ago. 2025

MORAIS, D. A importância do reuso da água. **Portal Saneamento Básico**, 29 de março de 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2JmrXPt>. Acesso em: 12 jun. 2024.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Até 2030 planeta pode enfrentar déficit de água de até 40%, alerta relatório da ONU**. ONU Brasil, 22 mar. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/68965-at%C3%A9-2030-planeta-pode-enfrentar-d%C3%A9ficit-de-%C3%A1gua-de-at%C3%A9-40-alerta-relat%C3%B3rio-da-onu>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ONU. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Nova Iorque: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 18 set. 2025.

RODRIGUES, A. M.; FORMIGA, K. T. M.; MILOGRANA, J. “Integrated systems for rainwater harvesting and greywater reuse: a systematic review of urban water management strategies.” **Water Supply**, [s. l.], v. 23, n. 10, p. 4112–4125, 2023. DOI: <http://doi.org/10.2166/ws.2023.240>

SANEPAR. **Consumos Potenciais**. Curitiba, 2025. Disponível em: <https://bit.ly/2LaufVD>. Acesso em: 23 jun. 2025.

SANTOS, C.; TAVEIRA-PINTO, F. Analysis of rainwater tank sizing methods suggested by the Brazilian Technical Standard NBR 15527:2007. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 71, p. 1–6, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.11.004>

SOUZA, E. L.; GHISI, E. Potable Water Savings by Using Rainwater for Non-Potable Uses in Houses. **Water**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 607–628, 2012. DOI: <http://doi.org/10.3390/w4030607>.

SOUZA FILHO, J. D. V. de; SILVA, B. E. S. M. E; SOUSA, L. V. A. de; CAVALCANTE, M. E. P.; CARACAS, C. V. G. Reuso de água na construção sustentável. **Engenharia & Ação**, Fortaleza, v. 3, n. 1, p. 1–10. 2025. Disponível em: <https://periodicos.uniateneu.edu.br/index.php/revista-EeA/article/view/794>. Acesso em: 17 nov. 2025.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva de telhados em áreas urbanas para fins não potáveis. Diretrizes básicas para um projeto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DA CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: [s. n.], 2007, p. 1-24.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 4. ed. São Paulo: Navegar Editora, 2011.

TUCCI, Carlos E. M.; HESPANHOL, Ivanildo; CORDEIRO NETTO, Oscar de M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: Unesco, 2001.

UNESCO. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021**: o valor da água; fatos e dados. Paris: UNESCO, 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por. Acesso em: 23 set. 2025.

WWAP; UN-Water. **The United Nations World Water Development Report 2018**: Nature-Based Solutions for Water. Paris, UNESCO.

VALLE, T. R. do. **Como realizar a manutenção e limpeza dos pisos intertravados**. Curitiba, 20 jun. 2015. Disponível em: <https://bit.ly/2KErPHG>. Acesso em: 3 jun. 2025.

VIEIRA, D. L. M.; ALVES; G. M.; ALVES; C. E. S. Estudo da viabilidade do uso da água da chuva em lava rápido. In: Encontro Internacional de Produção Científica CESUMAR, 8., 2013, Maringá. **Anais [...]**. Maringá: [s. n.], 2013, p. 1-9. Disponível em: <https://bit.ly/2FAMSgh>. Acesso em: 2 jun. 2025.