

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RICARDO DE OLIVEIRA GONÇALVES

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA SANITÁRIOS EM ESCOLA
PÚBLICA: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE JANIÓPOLIS - PR**

CAMPO MOURÃO

2026

RICARDO DE OLIVEIRA GONÇALVES

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA SANITÁRIOS EM ESCOLA
PÚBLICA: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE JANIÓPOLIS - PR**

**Rainwater Harvesting for Toilets in a Public School: A Case Study in the
Municipality of Janiópolis - PR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2026



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

RICARDO DE OLIVEIRA GONÇALVES

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA SANITÁRIOS EM ESCOLA
PÚBLICA: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE JANIÓPOLIS - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 10 de junho de 2026

Prof^a. Dr^a. Vera Lucia Barradas Moreira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Helton Rogerio Mazzer
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2026

Aos meus filhos, luzes do meu presente e promessas do amanhã. Que este trabalho, focado no cuidado com os nossos recursos, seja o meu reflexo do desejo de um mundo melhor, mais sustentável e próspero para o futuro de vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha querida esposa, pelo companheirismo diário e por compreender a minha ausência nos momentos de dedicação a este curso.

Aos meus pais e irmãs, que me deram a estrutura de vida, os valores e o incentivo necessário para vencer cada etapa.

Ao corpo docente, pela paciência, exigência e maestria no ensino da engenharia civil, despertando em mim o orgulho desta profissão, em destaque a minha Orientadora Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza.

Aos meus colegas, com quem compartilhei momentos de tensão, mas também uma intensa experiência de aprendizagem, trocas de conhecimento e crescimento mútuo que levarei para toda a minha vida profissional.

Concluo esta etapa com o coração cheio de entusiasmo e imensa gratidão por ter cada um de vocês ao meu lado.

“A grandeza não consiste em receber honras,
mas em merecê-las através do serviço ao bem
comum.”
(ARISTÓTELES).

RESUMO

O crescente estresse hídrico urbano e a necessidade de otimização dos recursos públicos impulsionam a adoção de fontes alternativas de abastecimento em edificações educacionais. O presente trabalho elaborou o projeto executivo de um Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC) destinado ao atendimento das bacias sanitárias do Bloco 1 da Escola Estadual Dom Pedro II, localizada no município de Janiópolis - PR, instituição que opera em regime de ensino integral. A metodologia baseou-se no levantamento do perfil pluviométrico histórico regional junto ao SIMEPAR e ao Instituto Água e Terra (IAT), no mapeamento geométrico da área de contribuição do telhado, na modelagem da demanda hídrica ajustada ao regime de tempo integral (170 alunos, jornada das 08h00 às 16h50) e no dimensionamento dos componentes do SAAC em conformidade com a ABNT NBR 15527:2019. A viabilidade econômica foi avaliada mediante orçamentação analítica balizada no SINAPI-PR e pelo cálculo do payback simples. A área de captação real foi fixada em 400 m², com precipitação média anual de 1.692 mm, resultando em uma oferta pluvial que supre entre 24,23% e 62,00% da demanda mensal nos meses letivos completos. O sistema projetado compreende cisterna de fibra de vidro de 15.000 L ao nível do solo, reservatório superior de 1.000 L, sistema de descarte de primeira chuva de 400 L (manifold de colunas de 200 mm), moto-bomba centrífuga de 0,5 cv e mecanismo de alimentação complementar por by-pass. O custo total de implantação foi estimado em R\$ 17.182,80, com economia hídrica anual de R\$ 2.316,20, resultando em payback simples de 7,4 anos frente a uma vida útil técnica superior a 20 anos. Além das dimensões técnicas e econômicas, o trabalho propôs diretrizes conceituais para ações educativas e sinalização didática, transformando o SAAC em laboratório hidro-ambiental ativo para a comunidade escolar. Os resultados confirmam a plena viabilidade técnica e econômica da solução proposta, reforçando o papel estratégico da engenharia civil sustentável na gestão eficiente dos recursos públicos.

Palavras-chave: água pluvial; aproveitamento de água da chuva; escola pública; ensino integral; viabilidade econômica; SAAC; conservação hídrica.

ABSTRACT

The growing urban water stress and the need to optimize public resources drive the adoption of alternative supply sources in educational buildings. This work elaborated the executive project of a Rainwater Harvesting System (RWHS) intended to supply the sanitary fixtures of Block 1 at the Dom Pedro II State School, located in the municipality of Janiópolis, Paraná State, Brazil – an institution operating under a full-time teaching regime. The methodology was based on the historical regional pluviometric survey using data from SIMEPAR and the Instituto Água e Terra (IAT), geometric mapping of the roof catchment area, hydrological demand modeling adjusted to the full-time regime (170 students, 08:00 a.m. to 4:50 p.m. daily), and hydraulic component sizing in accordance with ABNT NBR 15527:2019. Economic feasibility was assessed through analytical cost estimation using the SINAPI-PR reference tables and simple payback calculation. The effective catchment area was set at 400 m², with an average annual rainfall of 1,692 mm, yielding a rainwater supply capable of meeting between 24.23% and 62.00% of the monthly demand during full school months. The designed system comprises a 15,000 L fiberglass cistern at ground level, a 1,000 L upper distribution reservoir, a 400 L first-flush diverter (200 mm parallel column manifold), a 0.5 hp centrifugal pump, and a by-pass complementary feed mechanism. Total implementation cost was estimated at BRL 17,182.80, with annual water savings of BRL 2,316.20, resulting in a simple payback of 7.4 years against a technical service life exceeding 20 years. Beyond the technical and economic dimensions, the work proposed conceptual guidelines for educational actions and didactic signage, transforming the RWHS into an active hydro-environmental laboratory for the school community. The results confirm the full technical and economic feasibility of the proposed solution, reinforcing the strategic role of sustainable civil engineering in the efficient management of public resources.

Keywords: rainwater harvesting; rainwater collection system; public school; full-time teaching; economic feasibility; RWHS; water conservation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Contextualização e Problemática	10
1.2	Delimitação do Tema	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	JUSTIFICATIVA	14
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
4.1	Cenário dos Recursos Hídricos e a Problemática da Escassez	16
4.2	O Aproveitamento de Águas Pluviais em Edificações	17
4.2.1	Especificidades do Consumo Hídrico Escolar em Regime Integral	18
4.3	Diretrizes Normativas e Legais do Uso Hídrico Alternativo	20
4.4	Componentes Físicos do Sistema de Aproveitamento (SAAC)	20
4.5	Aspectos de Qualidade da Água Pluvial e Dispositivo de Descarte	21
4.6	Infraestrutura Ecoeficiente e a Conscientização Socioambiental	22
5	METODOLOGIA	24
5.1	Caracterização da Área de Estudo	24
5.2	Coleta de Dados Pluviométricos e Intensidade da Chuva	25
5.2.1	Série Histórica Mensal	25
5.2.2	Equação de Chuva (IDF)	26
5.3	Mapeamento da Área de Contribuição e Sistema de Captação	27
5.4	Modelagem da Demanda Hídrica sob Regime de Tempo Integral	28
5.5	Métodos de Dimensionamento dos Componentes do SAAC	28
5.6	Metodologia de Avaliação da Viabilidade Econômico-Financeira	29
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6.1	Precipitação Local	30
6.2	Demanda de Água para Fins Não Potáveis	31
6.3	Oferta de Água Pluvial Captável	32
6.4	Qualidade da Água de Chuva	33
6.5	Balanço Hídrico Mensal e Simulação de Atendimento do Sistema	34
6.6	Dimensionamento do Reservatório de Armazenamento	35
6.7	Dimensionamento do Sistema Hidráulico	36
6.8	Orçamento e custos do Sistema	37

6.8.1	Custos de Operação e Manutenção	38
6.9	Análise de Viabilidade Econômica	39
6.10	Considerações sobre a Implantação e Operação do Sistema	40
7	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A - Projeto: Calhas e cobertura	48
	APÊNDICE B - Projeto: Sistema de descarte e Reservatório	50
	ANEXO A - Levantamento Fotográfico do Bloco 1	52
	ANEXO B - Croqui dos espaços da escola	56
	ANEXO C - Alturas mensais de precipitação 1996-2025	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Problemática

A crescente preocupação com a escassez de recursos hídricos frente ao adensamento urbano e às mudanças climáticas globais impulsiona a engenharia civil e o saneamento ambiental na busca por soluções inovadoras, eficientes e sustentáveis. A pressão sobre os mananciais convencionais de abastecimento público tem demonstrado que os modelos tradicionais de gestão da água demandam reformulações urgentes. Conforme adverte Carlão (2018, p. 38), “a escassez de água no mundo não é mais uma hipótese ou teoria, galgou o tempo das previsões catastróficas para irromper concreta diante de nossa geração”.

Neste cenário de vulnerabilidade hídrica, a diversificação da matriz de abastecimento predial por meio de fontes alternativas assume um papel estratégico. O aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis configura-se como uma das soluções de maior viabilidade técnica e impacto positivo em escala urbana. Segundo Marinoski e Ghisi (2008), os sistemas de captação de água pluvial são capazes de reduzir significativamente o consumo de água potável comercial, mitigar problemas crônicos de intermitência no fornecimento público e atuar diretamente na preservação dos ecossistemas hídricos, postergando a necessidade de investimentos públicos em macrocaptações.

Essa abordagem encontra forte respaldo no arcabouço jurídico brasileiro. A Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece de forma clara entre as diretrizes e objetivos para a gestão sustentável o incentivo e a promoção da captação, da preservação e do aproveitamento de águas pluviais (BRASIL, 1997). A partir dessa premissa regulatória, a inserção de fontes alternativas alinha-se às metas nacionais de conservação, promovendo a utilização racional da água e mitigando a pressão sobre os mananciais superficiais. Complementarmente, sob a ótica da engenharia predial, May (2004, p. 28) reforça que “faz-se necessário ampliar nossos conhecimentos referentes à conservação de água [...] [e] uma forma de conservar água é aproveitar água de chuva para consumo não potável em edificações”, evidenciando a importância da engenharia aplicada na redução da dependência de redes de abastecimento convencionais.

Quando transposto para a infraestrutura de edifícios educacionais, o potencial de conservação hídrica torna-se ainda mais expressivo. Conforme apontado por Scherer (2003), os estabelecimentos de ensino reúnem duas características ideais para essa tipologia de projeto: possuem elevadas áreas horizontais de cobertura (telhados) propícias para a captação e concentram demandas volumosas e previsíveis de usos não nobres, como a descarga de bacias sanitárias e a irrigação de áreas verdes. Adicionalmente, além do benefício puramente técnico-hidráulico, a implementação dessas estruturas no ambiente escolar atua como um potente instrumento prático de educação ambiental, materializando os conceitos de sustentabilidade para a comunidade acadêmica.

1.2 Delimitação do Tema

Este trabalho delimita-se ao desenvolvimento do projeto executivo e à análise de viabilidade técnica e econômica de um Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC) projetado especificamente para atender à demanda hídrica não potável do Bloco 1 da Escola Estadual Dom Pedro II, uma instituição de ensino público que opera em regime de tempo integral no município de Janiópolis, localizado na região centro-ocidental do estado do Paraná.

A pesquisa restringe-se formalmente à captação da precipitação atmosférica incidente sobre a projeção horizontal do telhado de duas águas do referido bloco, cuja área real foi mapeada em 200 m² a partir do projeto arquitetônico. O volume recuperado será direcionado exclusivamente para a alimentação hidráulica das 6 bacias sanitárias distribuídas nos sanitários estudantis masculino e feminino anexos ao bloco.

O dimensionamento dos componentes do sistema (calhas, condutores, dispositivos de descarte de primeira chuva, reservatório de armazenamento e sistema de recalque) adota como critérios normativos rigorosos as diretrizes técnicas da ABNT NBR 15527 (Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis) e os índices pluviométricos históricos regionalizados fornecidos pelo SIMEPAR e pelo Instituto Água e Terra (IAT). As estimativas de consumo e frequência de uso foram ajustadas e balizadas de acordo com as especificidades do regime escolar de tempo integral (jornada diária das 08h00 às

16h50), conferindo precisão ao balanço hídrico simulado para as condições operacionais do colégio.

2 OBJETIVOS

Este capítulo apresenta as diretrizes que norteiam o desenvolvimento deste trabalho. Nele, estabelece-se o propósito central do estudo por meio do objetivo geral, seguido pelo encadeamento das metas específicas necessárias para a viabilização técnica, hidráulica e econômica do projeto proposto.

2.1 Objetivo Geral

Elaborar o projeto de engenharia de um Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC) destinado à alimentação das bacias sanitárias do Bloco 1 da Escola Estadual Dom Pedro II, localizada no município de Janiópolis - PR, avaliando sua viabilidade técnica e econômica sob o regime de ensino integral.

2.2 Objetivos Específicos

- Levantar o histórico pluviométrico da região de Janiópolis - PR para a determinação do potencial de oferta hídrica;
- Mapear a área real de contribuição da cobertura do Bloco 1 a partir do projeto arquitetônico da instituição;
- Quantificar a demanda hídrica mensal das bacias sanitárias estudantis, ajustando os parâmetros de consumo per capita e frequência de uso às especificidades do regime de tempo integral;
- Dimensionar os componentes hidráulicos do sistema (calhas, condutores, dispositivo de descarte de primeira chuva, volume útil do reservatório de armazenamento e sistema de recalque) em conformidade com as diretrizes da ABNT NBR 15527;

- Estimar os custos de implementação da infraestrutura proposta por meio de orçamento balizado nas tabelas de referência SINAPI-PR;
- Avaliar a viabilidade econômica do projeto através do cálculo do tempo de retorno do investimento (payback simples);

3 JUSTIFICATIVA

A relevância deste estudo fundamenta-se na urgente necessidade de transição da engenharia predial pública para modelos de infraestrutura sustentável e de baixo impacto ambiental. Edifícios de ensino público, pelas suas características arquitetônicas e funcionais intrínsecas, apresentam-se como cenários altamente estratégicos para a implantação de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC). Geralmente compostas por grandes áreas impermeabilizadas de cobertura (telhados), essas edificações concentram elevados índices de consumo hídrico concentrados em atividades de fins não potáveis, tais como a lavagem de pisos, rega de áreas verdes e, majoritariamente, o acionamento de bacias sanitárias.

Ao introduzir um sistema de captação e distribuição predial pluvial na Escola Estadual Dom Pedro II, em Janiópolis - PR, atua-se diretamente na mitigação da demanda sobre as redes tradicionais de abastecimento da concessionária local (SANEPAR). Essa intervenção predial de engenharia civil alivia a pressão mecânica e exploratória sobre os mananciais regionais e contribui para o amortecimento do escoamento superficial urbano, minimizando os picos de vazão hídrica direcionados às redes de drenagem pluvial do município.

A justificativa técnica ganha ainda maior notoriedade ao analisar o regime de tempo integral adotado pela instituição objeto deste estudo. A permanência estendida da população escolar (alunos, docentes e colaboradores) das 08h00 às 16h50 altera drasticamente a curva de consumo predial, elevando a frequência de uso dos sanitários e, por consequência, o volume diário de água potável descarregado diretamente nas redes de esgoto. O desenvolvimento de um projeto hidráulico otimizado para o Bloco 1 prova que a engenharia pode responder de maneira localizada a esse aumento de consumo, reduzindo o desperdício de água tratada padrão potável em bacias de evacuação biológica.

Sob a vertente macroeconômica e da administração pública, o projeto justifica-se pelo ganho de eficiência orçamentária. As despesas hídricas figuram entre os custos fixos mais onerosos para a manutenção de escolas desse porte. A substituição parcial da água tratada pela água pluvial nas descargas estudantis gera uma economia financeira contínua e mensurável, reduzindo os custos de custeio hídrico da instituição junto ao erário público estadual. A validação econômica por meio de orçamentação fundamentada no SINAPI-PR e o cálculo do tempo de

retorno do investimento (payback) trazem ao estudo o rigor analítico necessário para demonstrar a viabilidade e o retorno do capital aplicado.

Finalmente, a execução deste trabalho consolida-se por sua capacidade de indissociabilidade entre a engenharia estrutural e o impacto psicossocial comunitário. A infraestrutura hidráulica pluvial proposta deixa de ser apenas um sistema passivo de tubulações, calhas e reservatório para se converter em um recurso pedagógico ativo e tridimensional. Ao visualizar o funcionamento prático do reaproveitamento da água no próprio bloco em que estudam, os alunos assimilam conceitos de sustentabilidade hídrica, ecoeficiência e gestão de escassez hídrica. Fortalece-se, desse modo, o papel transformador da instituição de ensino na formação de cidadãos e futuros profissionais tecnicamente responsáveis e conscientes da conservação dos recursos naturais.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada uma reflexão sobre a dinâmica dos recursos hídricos em escala global e nacional, sua relevância ecológica e socioeconômica, e as percepções contemporâneas sobre a conservação hídrica. Ademais, abordam-se os fundamentos teóricos que norteiam os Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC) como vetores de mitigação do consumo de água potável comercial. Apresenta-se o panorama normativo vigente e os requisitos de engenharia que regem a especificação de componentes de captação, culminando na análise da importância das instituições de ensino como pólos difusores de conscientização ambiental e ecoeficiência predial.

4.1 Cenário dos Recursos Hídricos e a Problemática da Escassez

A distribuição da água no planeta Terra revela uma aparente abundância que contrasta com a real limitação de sua disponibilidade para o consumo humano imediato. A restrição no acesso aos mananciais potáveis decorre das características físico-químicas e geográficas dos reservatórios naturais. Menezes (2023, p. 21) quantifica essa distribuição da seguinte forma:

[...] de toda água existente no planeta Terra, a maior parte 97,5% corresponde à água salgada e somente 2,5% consiste em água doce. Dessa pequena parcela de água doce, 68,9% estão nas calotas polares e geleiras; 29,9% nos lençóis subterrâneos; 0,9% em outros reservatórios e apenas 0,3% se encontram acessíveis nos rios e lagos.

Ampliando essa restrição analítica, Oliveira e Pereira (2023) corroboram que a maior parte da fração de água doce superficial não possui fácil acesso, encontrando-se dispersa na biomassa e retida na atmosfera em forma de vapor. Estima-se, por conseguinte, que apenas 0,007% do volume total de água doce do planeta esteja localizado em corpos hídricos de captação facilitada.

Essa massa de água não permanece estática, integrando a dinâmica contínua do ciclo hidrológico. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a precipitação atmosférica atua como o principal mecanismo alimentador deste ciclo. Ao ocorrer o evento pluviométrico, o volume de água

cinde-se em parcelas de escoamento superficial direcionadas aos corpos receptores, parcelas de infiltração subsuperficial nos aquíferos e frações retidas pela evapotranspiração da cobertura vegetal (BRASIL, 2020). Durante esse caminho hídrico, o recurso é consumido pelas atividades antrópicas até atingir as bacias oceânicas, onde a evaporação reinicia o ciclo termodinâmico.

Sob a ótica geopolítica e de engenharia hídrica, o território brasileiro concentra um potencial hídrico privilegiado, detendo cerca de 12% da reserva de água doce superficial do mundo, resultando em uma oferta per capita expressiva frente à média global (TOMAZ, 2001). Essa vazão ultrapassa os 35 mil metros cúbicos por habitante ao ano, respondendo por aproximadamente 53% da vazão total do continente sul-americano (OLIVEIRA; PEREIRA, 2023).

No entanto, essa expressiva disponibilidade bruta é marcadamente assimétrica em sua distribuição geográfica ao longo da extensão territorial nacional. Enquanto a bacia Amazônica concentra a maior fatia do volume hídrico sob baixa densidade demográfica, os grandes centros urbanos e regiões industriais sofrem com estresse hídrico severo e degradação de mananciais. Para Nascimento, Fernandes e Yoshino (2016), a expansão demográfica desordenada, associada à poluição ambiental difusa e ao uso ineficiente da infraestrutura hidráulica, compromete de forma acelerada a qualidade e a disponibilidade dos recursos em escala global.

4.2 O Aproveitamento de Águas Pluviais em Edificações

O manejo e a retenção de águas de chuva constituem práticas milenares de engenharia que evoluíram do suprimento de subsistência para sistemas prediais integrados de alta eficiência tecnológica. A busca por métodos de captação economicamente viáveis e predialmente seguros tem impulsionado a pesquisa aplicada na área de saneamento. Mankad e Tapsuwan (2011, p. 380) contextualizam que:

O aproveitamento da água da chuva é milenar e vem sendo utilizada nos dias atuais para diversas finalidades. Inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas buscando determinar se os sistemas alternativos de abastecimento de água são tecnologicamente viáveis, economicamente viáveis, bem como socialmente aceitáveis.

Martini e Moruzzi (2013) complementam que o desenvolvimento dessas tecnologias acompanha a transição das civilizações, consolidando a precipitação atmosférica como uma fonte alternativa descentralizada de alto potencial para o atendimento de demandas não potáveis, especialmente em regiões metropolitanas densas e áreas suscetíveis à intermitência de abastecimento.

Os benefícios intrínsecos à implementação de um Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC) perpassam esferas econômicas e socioambientais. Segundo May (2004), tais estruturas atuam na conservação de energia e custos operacionais das Estações de Tratamento de Água (ETA), reduzem as despesas tarifárias dos consumidores e minimizam o desperdício qualificado de água potável em fins de menor exigência sanitária.

Dentre as demandas não potáveis prediais, o acionamento de bacias sanitárias destaca-se como o uso de maior compatibilidade técnica e estabilidade volumétrica, haja vista que a água pluvial requer apenas tratamentos físicos elementares (filtragem e desinfecção opcional) para essa finalidade, elevando os índices de viabilidade do projeto (OLIVEIRA; ILHA; GONÇALVES, 2007). Substitui-se, desse modo, água potável de custo elevado por um recurso alternativo em usos menos nobres, aliviando a pressão sobre as redes de distribuição pública.

4.2.1 Especificidades do Consumo Hídrico Escolar em Regime Integral

O dimensionamento de sistemas hidráulicos em estabelecimentos de ensino requer análises detalhadas das variáveis populacionais e arquitetônicas. Fasola et al. (2011) ressaltam que o consumo hídrico escolar é diretamente influenciado pela tipologia dos aparelhos sanitários instalados, rotinas de manutenção e a presença de áreas periféricas de consumo, tais como lanchonetes, laboratórios, cozinhas industriais e complexos poliesportivos.

Ademais, Oliveira e Pereira (2023) ponderam que a potabilização da água fornecida pelas concessionárias exige processos químicos gradativamente mais robustos e onerosos devido à deterioração dos corpos d'água brutos. Esse incremento de custo é repassado às tarifas públicas, exigindo dos gestores escolares o estabelecimento de prioridades rígidas de conservação hídrica.

A transição das instituições de ensino público para o regime de tempo integral altera radicalmente a modelagem de demanda hidráulica predial. A permanência estendida dos discentes (jornadas diárias de cerca de 9 horas) eleva a frequência de uso dos aparelhos sanitários devido aos períodos de intervalos e higiene pós-refeições. De acordo com Scherer (2003) e as diretrizes consolidadas pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) coordenado por Gonçalves (2006), o indicador de frequência sanitária salta de 1,2 usos/aluno.dia (regime de turno único) para faixas situadas entre 2,5 e 3,0 usos/aluno.dia. Essa variação volumétrica exige projetos executivos customizados para evitar o colapso por subdimensionamento das instalações.

A viabilidade técnica de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC) em ambientes escolares é amplamente documentada na literatura hídrica nacional. Souza (2023, p. 23) infere que:

[...] a utilização de coleta de água de chuva na escola pode se tornar viável desde que se faça uma investigação de forma precisa trazendo uma conscientização ambiental para todos os envolvidos, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos.

Pesquisas correlatas como a de Veras et al. (2023, p. 24) validam que os volumes captados em coberturas escolares apresentam capacidade de suprir integralmente ou mitigar significativamente o consumo dos blocos de vasos sanitários e atividades de higienização de pátios. Trindade, Alvarado e Santana (2017, p. 4) ratificam esse comportamento técnico-econômico ao concluir que:

A implantação desse sistema implicará na redução das tarifas [...] e a sua viabilidade técnica e econômica é confirmada pelo excelente tempo de retorno [...]. Para alcançar um maior impacto na sociedade, a utilização de fontes alternativas de abastecimento de água necessita do incentivo do poder público através da criação de programas de conservação de água que estimule e popularize o uso dessas técnicas.

Por fim, Ouriques et al. (2005) recomendam que os projetos executivos prevejam a expansão modular das áreas de captação e das estruturas de armazenamento, visto que a dinâmica pluviométrica frequentemente resulta em potenciais de captação superiores à capacidade nominal de cisternas comerciais convencionais.

4.3 Diretrizes Normativas e Legais do Uso Hídrico Alternativo

A racionalização do uso da água potável expandiu-se da esfera puramente ética para consolidar-se em mecanismos de controle e ordenamento jurídico-normativo nas instâncias federal, estadual e municipal. Ruver, Arnold e Zardin (2021) apontam que estratégias como a medição individualizada e o aproveitamento de matrizes alternativas não potáveis encontram amparo em legislações voltadas à sustentabilidade urbana e resiliência das cidades.

No âmbito normativo da engenharia civil brasileira, o balizamento técnico é regido pela norma ABNT NBR 15527:2019 (Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos). Este documento técnico fixa as exigências de projeto e operação, determinando a obrigatoriedade de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) junto ao CREA e a utilização mandatória de séries históricas pluviométricas consistentes para o dimensionamento dos reservatórios (ABNT, 2019).

Diferente de omissões históricas passadas, a engenharia predial moderna preconiza o emprego sistemático de dispositivos de interceptação física de detritos primários e descarte da primeira fração de chuva, técnica denominada first flush. Esse procedimento, referendado pela literatura técnica, promove a lavagem inicial da atmosfera e da superfície da cobertura, retraindo frações significativas de material particulado, fuligem e coliformes antes do ingresso do fluxo purificado na cisterna. Conforme orientações da ABNT NBR 15527:2019, a água pluvial tratada por decantação e filtração física restringe-se estritamente a fins não potáveis, compreendendo descargas em bacias sanitárias, lavagem de pavimentos e veículos, e irrigação de vegetação ornamental.

4.4 Componentes Físicos do Sistema de Aproveitamento (SAAC)

Os sistemas de engenharia voltados à captação pluvial operam de forma integrada, onde a falha de um componente compromete a eficiência global de armazenamento e distribuição. Conforme formulado por Abdulla e Al-Shareef (2009 apud SOUZA, 2023, p. 12), tais estruturas fornecem soluções descentralizadas

escalonáveis capazes de atender com flexibilidade demandas de diferentes magnitudes edilícias ao longo de sua vida útil técnica.

A infraestrutura básica estrutura-se a partir da área de captação, condutores (calhas e tubulações), sistema de descarte primário, reservatório de armazenamento (cisterna), sistema de recalque (moto-bomba) e rede de distribuição interna segregada. Para a estocagem volumétrica, destaca-se o uso de cisternas impermeáveis modulares instaladas de forma enterrada ou ao nível do solo (EMBRAPA, 2015).

A área de contribuição horizontal (cobertura) e o índice de precipitação local atuam como os fatores limitantes da vazão máxima afluyente do sistema. Minikowski e Maia (2009) observam que o balanço entre a oferta de projeto e a demanda predial quantificada deve ser avaliado com precisão matemática para evitar o superdimensionamento do reservatório, otimizando o custo de capital implantado. Tomaz (2005) ressalta a versatilidade física de captação a partir de coberturas comerciais de variadas naturezas materiais:

Um aspecto físico do sistema de armazenamento de água, além do próprio reservatório ou simplesmente cisterna, é a área de captação, que são normalmente os telhados das casas ou indústrias. Vários materiais podem compor a área de captação, são exemplos: telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento, telhas de zinco, telhas de ferro galvanizado, telhas de concreto armado, telhas de plástico, telhado plano revestido com asfalto, além de outros.

A seleção do material da cobertura influencia diretamente o coeficiente de escoamento superficial (C ou runoff), parâmetro que mensura a perda por absorção ou evaporação imediata na telha. Pesquisas de viabilidade econômica validadas por Pizzo et al. (2021) demonstram que investimentos aplicados no desenvolvimento de malhas hidráulicas pluviais prediais no cenário brasileiro geram amortizações financeiras rápidas, consolidando-se como investimentos de engenharia de alta atratividade e baixo risco ambiental.

4.5 Aspectos de Qualidade da Água Pluvial e Dispositivo de Descarte

A qualidade da água de chuva captada em coberturas é influenciada por fatores atmosféricos, pela composição do material do telhado e pela presença de

partículas acumuladas entre eventos de precipitação. Em geral, a primeira fração da chuva — conhecida como "primeira chuva" — arrasta consigo a maior parte dos contaminantes depositados na superfície da cobertura, incluindo poeira, folhas, excrementos de pássaros e compostos orgânicos, tornando-se a fração de menor qualidade.

Scherer (2003) classifica a água de chuva captada em telhados como sendo, em sua origem, de boa qualidade microbiológica, desde que o sistema disponha de dispositivo de descarte da primeira chuva dimensionado adequadamente, em consonância com as recomendações normativas vigentes, como a ABNT NBR 15527.

Gonçalves (2006), no âmbito do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), sistematizou dados de qualidade de água pluvial captada em diferentes regiões brasileiras e apontou que, após o descarte da primeira chuva, os parâmetros de turbidez, coliformes totais e coliformes termotolerantes apresentam redução expressiva, aproximando-se dos padrões exigidos pela NBR 15527:2019 para usos não potáveis.

Fasola et al. (2011) avaliaram a qualidade microbiológica da água de chuva captada em escolas de Florianópolis — SC e verificaram que, mesmo após o descarte da primeira chuva, a presença de coliformes termotolerantes ainda pode ser detectada em alguns eventos, especialmente após longos períodos de estiagem. Os autores recomendam, além do dispositivo de descarte, a instalação de filtro grosseiro e a desinfecção por hipocloração como tratamentos complementares antes da distribuição para uso nos sanitários. Souza (2023), em revisão sistemática sobre sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações públicas brasileiras, reforça que o atendimento aos parâmetros de qualidade estabelecidos na NBR 15527:2019 é condição indispensável para a operação segura do SAAC, independentemente da aparente clareza da água captada.

4.6 Infraestrutura Ecoeficiente e a Conscientização Socioambiental

A engenharia civil contemporânea assume uma responsabilidade que transcende a estabilidade estrutural das obras, abrangendo o impacto psicossocial e educacional de suas intervenções construídas. A conscientização, conforme definida

por Pizzo et al. (2021, p. 753), "consiste em compreender o meio em que se vive, refletir sobre as responsabilidades que se adquire com relação às próprias ações, as quais, com o tempo, podem causar impactos positivos e/ou negativos".

A legislação de recursos hídricos (Lei n.º 9.433/97) chancela a indispensabilidade de assegurar a perenidade dos mananciais e a disponibilidade de água em padrões qualitativos adequados para as gerações contemporâneas e futuras (BRASIL, 1997). Todavia, a consolidação prática desses conceitos demanda processos contínuos de educação ambiental aplicada e engajamento das comunidades. Para Andrade Neto (2013):

A educação é obtida de forma mais permanente através da participação comunitária, quando o conhecimento não é apenas repassado, mas também adequado, renovado e assimilado. Portanto, são fundamentais a discussão e o envolvimento dos cidadãos e das comunidades para a segurança sanitária das águas de cisternas.

A utilização da infraestrutura de edifícios escolares públicos como plataformas físicas de conscientização ambiental representa uma estratégia de elevado retorno social. Ao transformar sistemas hidráulicos passivos em laboratórios práticos visíveis, as instituições de ensino materializam conceitos abstratos de hidrologia e sustentabilidade hídrica para o corpo discente. A vivência com um projeto de engenharia de reúso pluvial mitiga o desperdício e consolida hábitos sustentáveis permanentes. Gomes e Gomes (2018) sintetizam que:

A escola é um dos lugares mais pertinentes para poder trabalhar à relação homem-ambiente-sociedade, pois é um espaço favorável para a formação de cidadãos, os professores devem pôr em prática a sensibilização e conscientização para que aos alunos vejam a má distribuição no acesso aos recursos naturais e envolvam os mesmos em ações ambientalmente corretas.

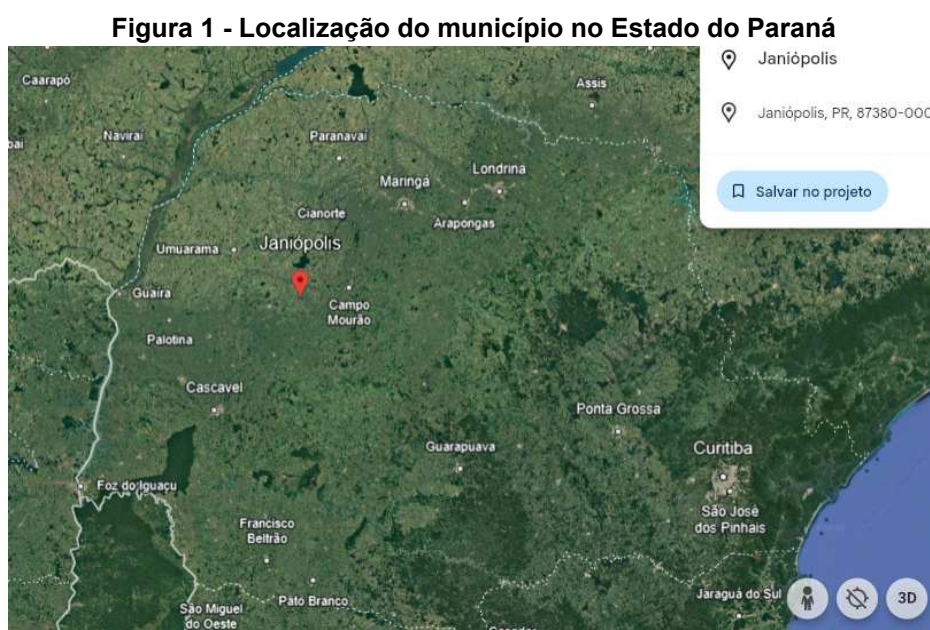
As externalidades positivas dessa abordagem propagam-se para além dos limites físicos dos campi educacionais. Os estudantes atuam como agentes replicadores do conhecimento técnico e dos hábitos ecológicos adquiridos, transferindo os conceitos de gestão integrada da água para os seus núcleos familiares e comunitários, desencadeando um ciclo virtuoso de conservação dos recursos hídricos regionais.

5 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste estudo caracterizou-se como uma pesquisa aplicada com abordagem quantitativa, estruturada sob a forma de um estudo de caso focado no dimensionamento de engenharia e análise de viabilidade de um Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC). O procedimento metodológico dividiu-se em etapas cronológicas integradas: levantamento de dados climatológicos regionais, mapeamento arquitetônico da área de contribuição, modelagem probabilística da demanda hídrica escolar em regime integral, dimensionamento físico-hidráulico dos componentes condutores e reservatórios, e, por fim, a análise orçamentária de custo-benefício.

5.1 Caracterização da Área de Estudo

O objeto de estudo delimitado para a aplicação prática do projeto foi o Bloco 1 da Escola Estadual Dom Pedro II, instituição pública de ensino localizada no município de Janiópolis, situado na região centro-ocidental do estado do Paraná (Figura 1). A instituição opera em regime de tempo integral, prestando atendimento a uma população de 170 alunos matriculados nas séries finais do Ensino Fundamental (faixa etária entre 11 e 16 anos), além do corpo docente e administrativo.



Fonte: Imagem do Google Earth (Acesso em 22 de ago. de 2024)

A infraestrutura predial avaliada possui 4 complexos sanitários, sendo 2 destinados exclusivamente aos funcionários e 2 direcionados ao uso discente. Por critérios de viabilidade técnica, econômica e logística de fluxo, o escopo deste projeto restringiu-se aos 2 sanitários dos estudantes (masculino e feminino). Estes estão dispostos de forma adjacente (lado a lado, divididos por alvenaria comum) no interior do Bloco 1, concentrando um total de 6 bacias sanitárias com caixas acopladas. Os demais sanitários foram excluídos devido ao baixo fator de utilização diária e ao traçado excessivamente longo de tubulações que sua inclusão exigiria, o que oneraria o orçamento inicial.

5.2 Coleta de Dados Pluviométricos e Intensidade da Chuva

Para a avaliação do potencial de oferta e dimensionamento das calhas e condutores, utilizaram-se duas abordagens complementares de dados meteorológicos regionais, Série Histórica Mensal e Equação da chuva.

5.2.1 Série Histórica Mensal

Para o cálculo do balanço hídrico mensal de oferta do sistema, realizou-se o levantamento dos dados históricos de precipitação média mensal (P) junto a estação meteorológica oficial do Instituto Água e Terra (IAT) para Janiópolis - PR. A delimitação da série temporal de dados pluviométricos adotada neste projeto buscou o equilíbrio entre as diretrizes da Organização Meteorológica Mundial (OMM) — que preconiza o uso de séries de 30 anos para o estabelecimento de normais climatológicas — e os critérios práticos de consistência estatística. Optou-se pela utilização de uma série histórica contínua de 30 anos, compreendida entre os anos de 1996 e 2025. Esse intervalo atende com ampla margem ao limite mínimo de 10 anos consagrado pela literatura técnica especializada de engenharia hídrica e pelas recomendações de simulação, garantindo a representatividade das oscilações sazonais da mesorregião e evitando distorções decorrentes de anos com falhas ou ausência de leituras no banco de dados oficial.

5.2.2 Equação de Chuva (IDF)

Para o dimensionamento hidráulico de vazão máxima instantânea das calhas e condutores verticais, os parâmetros de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para a localidade de Janiópolis - PR foram obtidos por meio do software Plúvio 2.1. Adotou-se um Tempo de Retorno (Tr) de 20 anos e um tempo de concentração de 5 minutos ($td = 5 \text{ min}$), conforme recomendações da ABNT NBR 10844 para coberturas escolares. A partir das coordenadas e do banco de dados do aplicativo, obteve-se uma intensidade crítica de projeto, 197 mm/h, utilizada como parâmetro de segurança contra transbordamentos por meio da equação (1) que segue:

$$I_{mm} = \frac{K \cdot Tr^a}{(td+b)^{0,872}} = \frac{2258,787 \cdot Tr^{0,146}}{(td+22,144)^{0,872}} = 197 \text{ mm/h} \quad (1)$$

Os parâmetros locais utilizados foram:

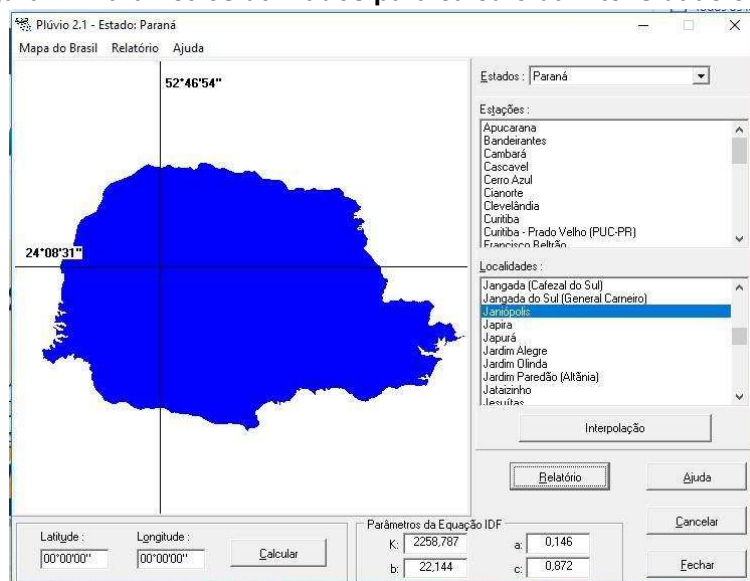
$$K = 2258,787;$$

$$a = 0,146;$$

$$b = 22,144;$$

$$c = 0,872$$

Figura 2 - Parâmetros utilizados para cálculo da intensidade crítica



Fonte: Software Pluvio 2.1 (acesso em 21 de maio de 2026)

5.3 Mapeamento da Área de Contribuição e Sistema de Captação

A caracterização física do sistema iniciou-se pelo levantamento geométrico da área de contribuição a partir do projeto arquitetônico do Bloco 1, cuja cobertura estrutura-se em formato de duas águas com telhas de aço galvanizado (zinco)¹.

Figura 3 - Vista superior e localização dos sanitários na edificação



Fonte: Imagem do Google Earth com adaptações do autor (Acesso 22 de ago. de 2024)

A projeção horizontal do bloco incorporando-se a área periférica dos beirais de proteção consideraram-se as dimensões externas de captação de 22,30m de comprimento por 8,97m de largura. A área de projeção horizontal real (A), calculada e utilizada na pesquisa foi de 200m².

A forma da determinação do volume mensal de água pluvial captável será tratado no item 6.3.

¹ Na Figura 1 o telhado existente era composto por telha cerâmica, feito reforma e substituição por telha de aço galvanizado.

5.4 Modelagem da Demanda Hídrica sob Regime de Tempo Integral

Para obter a demanda volumétrica real do sistema sanitário estudantil, os critérios de dimensionamento foram adaptados às rotinas operacionais da instituição. Devido ao regime de ensino integral (permanência obrigatória dos 170 alunos das 08h00 às 16h50), os parâmetros convencionais de turno parcial foram desconsiderados.

A modelagem de consumo fundamentou-se nos critérios analíticos de Scherer (2003) e do PROSAB (GONÇALVES, 2006) para jornadas estendidas, fixando-se uma frequência média de utilização de 2,5 usos/aluno.dia. O cálculo da Demanda Diária ($D_{diária}$), equação (2), utilizou bacias sanitárias eficientes com caixas acopladas de 6,0 L/descarga:

$$D_{diária} = 170 \text{ alunos} \cdot 2,5 \text{ usos/aluno.dia} \cdot 6,0 \text{ L/descarga} = 2550 \text{ L/dia} \quad (2)$$

A demanda mensal (D_{mensal}) foi projetada multiplicando-se o consumo diário pela constante de 22 dias letivos de funcionamento efetivo por mês, totalizando uma necessidade interna de 56.100 litros/mês ($56,10 \text{ m}^3$) para o bloco de sanitários dos alunos.

5.5 Métodos de Dimensionamento dos Componentes do SAAC

O dimensionamento mecânico e volumétrico dos elementos componentes do SAAC obedeceu aos seguintes critérios técnicos de engenharia predial:

- a) Reservatório de Armazenamento (Cisterna): O cálculo do volume útil do reservatório baseou-se originalmente no Método Prático Alemão, confrontando as séries de oferta e demanda mensais perante cenários de estiagem. Fixou-se uma autonomia de segurança para 15 dias letivos de inverno sem precipitação. O volume comercial final selecionado ponderou as restrições de espaço físico no pátio do Bloco 1 e a otimização dos custos de instalação civil.
- b) Calhas de Beiral e Condutores: O dimensionamento das calhas e condutores verticais seguiu as premissas da ABNT NBR 10844 (Instalações prediais de

águas pluviais), empregando a fórmula de Manning-Strickler para condutos livres, associada à vazão de projeto gerada pela intensidade crítica calculada no item 5.2.

- c) Dispositivo de Descarte (First Flush): Projetou-se um sistema mecânico de interceptação de dois primeiros milímetros (2,0 mm) de chuva direcionada à lavagem da superfície do telhado. O cálculo do volume do reservatório de descarte automático obedeceu à relação, apresentado na equação (3):

$$Volume\ de\ descarte(L) = 2,0\ mm \cdot Área\ de\ captação\ (200\ m^2) = 400\ L \quad (3)$$

5.6 Metodologia de Avaliação da Viabilidade Econômico-Financeira

A validação da sustentabilidade financeira da implantação do sistema pluvial desenvolveu-se em duas etapas analíticas:

- a) Orçamentação Analítica: Elaborou-se uma planilha de custos englobando materiais hidráulicos, reservatório, conexões, componentes de automação de recalque e estimativa de mão de obra civil. Os custos de insumos e serviços foram balizados estritamente pelas tabelas de referência do SINAPI-PR (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), vigentes para o estado do Paraná.
- b) Tempo de Retorno do Capital (Payback Simples): O potencial de economia anual foi calculado multiplicando-se o volume total de água pluvial efetivamente consumido nos sanitários (respeitando as limitações de oferta e os períodos de recessos escolares) pela tarifa comercial pública praticada pela concessionária local (SANEPAR) para órgãos estaduais (R\$12,90/m³, referente a junho/2026). O tempo de amortização do investimento expressou-se pela razão simples na equação (4) a seguir:

$$Payback = \frac{Custo\ Total\ de\ Implantação\ (R\$)}{Economia\ Hídrica\ anual\ Gerada\ (R\$/ano)} \quad (4)$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos a partir das modelagens matemáticas, hidráulicas e econômicas aplicadas ao objeto de estudo. As análises iniciam-se pela caracterização do regime de chuvas local, que serve como base quantitativa e de segurança para todo o dimensionamento do sistema.

6.1 Precipitação Local

A análise dos dados pluviométricos históricos do município de Janiópolis — PR, obtidos junto ao Instituto das Águas do Paraná, permitiu caracterizar o regime de chuvas da região ao longo de doze meses. Os valores de precipitação média mensal², considerando período de 30 anos (1996 - 2025) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Precipitação média mensal	
Mês	Precipitação média Mensal (P) (mm)
Janeiro	185,1
Fevereiro	169,0
Março	138,1
Abril	108,3
Maio	131,0
Junho	121,2
Julho	75,6
Agosto	83,9
Setembro	126,7
Outubro	214,7
Novembro	150,9
Dezembro	188,1
Total acumulado	1.692,6 mm

Fonte: Instituto das Águas do Paraná (2026).

Os meses de julho e agosto compreendidos no período de inverno registraram os menores índices pluviométricos, configurando as janelas críticas para o abastecimento pluvial. O mês de julho apresentou o menor índice histórico (75 mm), enquanto outubro consolidou-se como o período de maior intensidade pluviométrica acumulada (214 mm).

Para o dimensionamento hidráulico de fluxo instantâneo, a modelagem estatística das relações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) regionalizada, obtida por meio do software Plúvio 2.1 (adotando o tempo de retorno de 20 anos e

² Constam no anexo C, os valores de precipitação (alturas) de todos os meses compreendidos entre 1996 e 2025, obtidos junto ao Instituto Água e Terra.

tempo de concentração de 5 minutos), resultou em uma intensidade crítica de projeto de 197 mm/h. Este parâmetro foi adotado como o limite superior de segurança regulamentar para o cálculo da vazão de pico na rede de condutores de drenagem da cobertura do Bloco 1.

6.2 Demanda de Água para Fins Não Potáveis

A estimativa de consumo de água para uso nos sanitários da Escola Estadual Dom Pedro II considerou a população usuária diária e os índices de consumo per capita adotados conforme a ABNT NBR 15527:2019. A unidade escolar atende, em regime de ensino integral (08h00 às 16h50), aproximadamente 170 estudantes, além do corpo de professores e funcionários.

De acordo com a norma técnica vigente, o consumo per capita estimado para estabelecimentos de ensino em período integral é de 15 litros por pessoa por dia, destinados exclusivamente ao uso dos vasos sanitários. Assim, utilizou-se a equação (5) para determinar o consumo diário total:

$$\text{Consumo diário} = 170 \text{ pessoas} \times 15 \text{ L/pessoa/dia} = 2.550 \text{ L/dia} \quad (5)$$

Considerando a média de 22 dias letivos por mês, a demanda mensal para uso não potável totaliza 56.100 litros ($2.550 \text{ L/dia} \times 22 \text{ dias/mês}$). Esse valor representa exclusivamente a parcela da demanda hídrica passível de ser suprida pelo aproveitamento de água pluvial, sem comprometer a qualidade necessária para os usos potáveis.

Tomaz (2005) recomenda que, para fins de dimensionamento de SAAC em edificações de uso coletivo, a demanda a ser considerada no balanço hídrico corresponda apenas ao consumo de usos não nobres — como descarga de sanitários, irrigação e limpeza —, evitando superdimensionamento do sistema e reduzindo os riscos sanitários associados. Essa abordagem foi adotada no presente trabalho, restringindo a demanda ao volume necessário para o acionamento das seis bacias sanitárias da escola.

6.3 Oferta de Água Pluvial Captável

O volume de água pluvial captável mensalmente foi estimado a partir da equação paramétrica estabelecida pela ABNT NBR 15527:2019, equação (6), que relaciona a precipitação, a área de captação e os coeficientes de aproveitamento do sistema:

$$V = P \cdot A \cdot C \cdot \eta \quad (6)$$

Onde:

- V = Volume de água captável (m^3);
- P = Precipitação média mensal histórica (m);
- A = Área de projeção horizontal do telhado (m^2);
- C = Coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) do material da cobertura;
- η = Coeficiente de eficiência global do sistema de captação e filtragem física.

Para o Bloco 1 da escola, foi adotada a área de captação $A = 200 m^2$, correspondente à projeção horizontal da cobertura de telha metálica. O coeficiente de escoamento superficial adotado foi $C = 0,90$, valor recomendado pela NBR 15527:2019 para superfícies metálicas e de fibrocimento. O coeficiente de eficiência global do sistema de captação e filtragem física foi estabelecida em $\eta = 0,90$ resultando em um produto $C \times \eta \times A = 162 m^2$. Dessa forma, o volume mensal captável é obtido multiplicando-se a precipitação mensal (em metros) por $162 m^2$.

Os volumes mensais de oferta calculados constam da Tabela 2 e variam de 12.247 L em julho a 34.781 L em outubro, acompanhando o comportamento pluviométrico descrito na seção anterior.

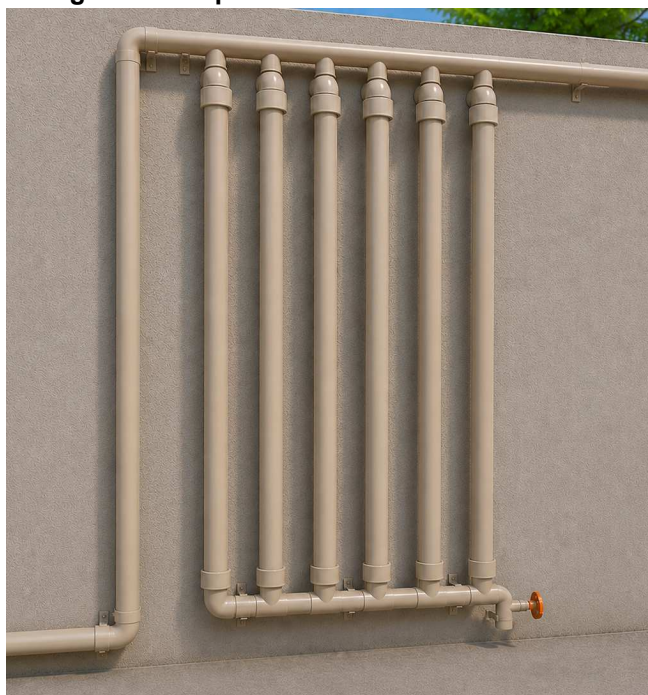
Marinoski e Ghisi (2008), em estudo sobre o potencial de conservação de água em habitações de interesse social em Santa Catarina, demonstraram que a oferta de água pluvial captável está diretamente condicionada à qualidade e à extensão da área de captação, sendo que coberturas com maior coeficiente de escoamento contribuem significativamente para aumentar o potencial de substituição da água tratada. Corroborando essa premissa, May (2004) ressalta que a adoção de coeficientes de runoff adequados ao material da cobertura é determinante para a

precisão do dimensionamento do reservatório, evitando tanto o subdimensionamento quanto o superdimensionamento do sistema.

6.4 Qualidade da Água de Chuva

No presente trabalho, como estratégia para mitigar os riscos microbiológicos e físicos apontados pela literatura técnica (conforme discutido na Seção 4.5), foi adotado para o Bloco 1 um dispositivo de descarte de primeira chuva (first flush) dimensionado com base no critério restritivo de descarte de 2 mm/m² de área de captação. Considerando a área de contribuição de 200 m² da cobertura do Bloco 1, o volume de descarte necessário para o sistema é de 40 L por evento de precipitação. Para viabilizar esse armazenamento de forma compacta e totalmente sobre o solo, projetou-se um banco de colunas paralelas (manifold) composto por 5 tubos verticais de PVC com diâmetro nominal de 200 mm e 2,55 m de altura cada, totalizando uma capacidade real de armazenamento de 400,5 L.

Figura 4 - Dispositivo de sistema de descarte



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Esse dimensionamento atende com ampla margem de segurança aos parâmetros da ABNT NBR 15527:2019 para fins não potáveis em ambientes escolares, garantindo que a carga poluidora inicial (poeira, fuligem e detritos

acumulados no beiral) seja totalmente isolada por gravidade antes que a fração de água limpa seja direcionada à cisterna.

Dessa forma, no sistema proposto para a Escola Estadual Dom Pedro II, a água captada seguirá o percurso físico sequencial por gravidade e recalque: captação no telhado → calhas horizontais (tubo semicircular de 150 mm de diâmetro) → condutores verticais (75mm de diâmetro) → tubulação de coleta horizontal → banco de colunas de descarte da primeira chuva (5 colunas de 200 mm x 2,55m) → cisterna de armazenamento sobre o solo (15.000L) → sistema de recalque (motobomba) → reservatório superior (1.000L) → rede de distribuição para as bacias sanitárias. Essa configuração, aliada à desinfecção por cloração e à manutenção periódica das calhas, atende rigorosamente às exigências da norma técnica e às recomendações da literatura especializada quanto à segurança sanitária da água destinada a usos não potáveis.

6.5 Balanço Hídrico Mensal e Simulação de Atendimento do Sistema

O balanço hídrico mensal foi realizado comparando-se os volumes de oferta de água pluvial captável com a demanda mensal para uso nos sanitários. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Precipitação média mensal

Mês	Precipitação (mm)	Volume Captado (L)	Demanda Escolar (L)	Balanço Hídrico	Atendimento Real (%)
Janeiro	185,1	29.986	0 (Férias)	+29.986	-
Fevereiro	169,0	27.378	56.100	-28.722	48,80%
Março	138,1	22.372	56.100	-33.728	39,88%
Abril	108,3	17.544	56.100	-38.556	31,27%
Maio	131,0	21.222	56.100	-34.878	37,83%
Junho	121,2	19.634	56.100	-36.466	35,00%
Julho	75,6	12.247	25.500	-13.253	48,03%
Agosto	83,9	13.591	56.100	-42.509	24,23%
Setembro	126,7	20.525	56.100	-35.575	36,59%
Outubro	214,7	34.781	56.100	-21.319	62,00%
Novembro	150,9	24.445	56.100	-31.655	43,57%
Dezembro	188,1	30.472	25.500	+4.972	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em dados de precipitação do Instituto de Águas do Paraná / Sistema de Informações Hidrológicas - SIH.

A análise do balanço hídrico evidencia que, em nenhum dos meses avaliados, a oferta pluvial captável supera integralmente a demanda mensal de 56.100 litros (exceto para o mês de janeiro, em que não há demanda devido às férias escolares).

O percentual de atendimento mensal varia de 24,23% em agosto a 62,00% em Outubro³, com média anual de 46,11%. Ao longo do ano letivo, o sistema proporcionará a substituição de aproximadamente 239,24 m³ de água tratada, representando uma economia estimada em R\$ 3.086,20⁴ por ano, calculada com base na tarifa da SANEPAR de R\$ 12,90/m³.

Veras et al. (2023), em estudo de SAAC em escola pública no semiárido nordestino, obtiveram percentuais de atendimento entre 15% e 45% em função da elevada irregularidade pluviométrica regional, destacando que mesmo taxas reduzidas de substituição já representam ganhos econômicos e ambientais relevantes no contexto escolar. Trindade et al. (2017), avaliando sistemas similares em municípios do Paraná com índices pluviométricos comparáveis ao de Janiópolis, verificaram taxas médias de atendimento entre 30% e 55%, corroborando os resultados obtidos no presente trabalho. Marinoski e Ghisi (2008), por sua vez, apontam que em edificações com grande área de captação relativa ao número de usuários — como é o caso de escolas — o fator limitante do atendimento é frequentemente a variabilidade sazonal da precipitação, e não a capacidade de armazenamento do reservatório, o que justifica a adoção de um reservatório compatível com a média dos meses mais secos.

Esses resultados confirmam que o SAAC proposto é tecnicamente viável para a realidade da escola estudada, contribuindo de forma expressiva para a redução do consumo de água tratada, mesmo nos meses de menor precipitação.

6.6 Dimensionamento do Reservatório de Armazenamento

O volume útil do reservatório de armazenamento (cisterna) foi determinado pelo Método Prático Alemão, conforme critérios também consagrados nas práticas de dimensionamento de sistemas prediais pluviais. O método adota a capacidade ideal equivalente a 6% do valor limitante entre a oferta pluvial anual e a demanda da

³ Embora a análise estatística dos meses letivos registre amplitudes extremas, cumpre salientar que os resultados dos meses de julho e dezembro decorrem de períodos de férias e recessos escolares parciais, os quais reduzem drasticamente a demanda hídrica real no edifício. Quanto ao mês de janeiro, foi parametrizado com demanda nula (zero) devido ao encerramento total das atividades na instituição. Desse modo, para fins de modelagem e compreensão do comportamento padrão e crítico do sistema sob atividade letiva plena, optou-se por destacar o mês de outubro (62,00%) como o indicador real de máxima eficiência operacional.

⁴ Valor sem considerar custos de operação e manutenção, estes serão considerados e devidamente descontados no capítulo Resultados e Discussões.

edificação. A aplicação deste método para os dados reais de captação de Janiópolis resultou em um volume mínimo calculado de 14.652,9 litros.

Diante desse resultado, optou-se pela adoção de uma cisterna comercial de polietileno com capacidade de 15.000 litros, valor imediatamente superior ao mínimo calculado. Essa decisão fundamenta-se na disponibilidade de produtos padronizados no mercado e na recomendação de Ouriques et al. (2005), segundo a qual o volume do reservatório deve ser compatível com o ciclo de recarga esperado, evitando tanto o transbordamento frequente quanto os longos períodos de esvaziamento total.

Minikowski e Maia (2009) ressaltam que, em sistemas de aproveitamento de água pluvial para edificações escolares, a escolha do volume do reservatório deve considerar não apenas o resultado matemático do dimensionamento, mas também a sazonalidade da demanda — uma vez que as escolas operam em regime de recesso nos meses de janeiro e julho —, a disponibilidade de espaço físico para instalação e os custos de aquisição e implantação. No presente caso, a cisterna de 15.000 L representa solução adequada tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, podendo ser instalada em área já existente no entorno do bloco escolar.

6.7 Dimensionamento do Sistema Hidráulico

O dimensionamento dos componentes hidráulicos do sistema — calhas, condutores verticais e dispositivo de descarte da primeira chuva — foi realizado em conformidade com a ABNT NBR 10844:1989, que estabelece os critérios para instalações prediais de águas pluviais.

Para a determinação das intensidades pluviométricas de projeto, utilizou-se o software Plúvio 2.1, com os parâmetros da curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) calibrados para o município de Janiópolis que apresenta dados disponíveis. Adotou-se período de retorno de 20 anos ($Tr = 20 \text{ anos}$) e tempo de concentração de 5 minutos, resultando em uma intensidade de projeto de 197 mm/h.

Com base nessa intensidade e na área de captação de 200 m², utilizou-se a equação (7), que determinou a vazão de projeto:

$$Q = \frac{C \times i \times A}{60} = \frac{0,90 \times 197 \times 200}{60} = 591 \text{ L/min} \quad (7)$$

Para o escoamento dessa vazão, foi adotado calha do tipo semicircular com diâmetro de 150 mm, com caimento de 0,5% e condutor vertical circular de 100 mm de diâmetro. Esses elementos foram dimensionados conforme as tabelas e ábacos normativos, confirmando a adequação das dimensões adotadas para o projeto.

O dispositivo de descarte da primeira chuva foi dimensionado conforme recomendação da ABNT NBR 15527:2019, adotando-se o volume de descarte de 2 mm de precipitação por metro quadrado de área de captação, resultando em um volume descartado de 400 L (2 mm × 200 m²). Esse dispositivo opera de forma automática, acumulando o volume de primeira chuva em câmara separada que esvazia gradualmente por orifício calibrado após o evento de precipitação, assegurando que apenas a água de melhor qualidade seja encaminhada à cisterna.

6.8 Orçamento e custos do Sistema

O levantamento dos custos de implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial foi elaborado com base nos preços unitários do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para o estado do Paraná, referência de março de 2024, complementado por cotações locais para itens não listados na tabela de referência. O orçamento é apresentado na Tabela 3.

O custo total estimado para implantação do sistema é de R\$ 17.182,80. O item de maior representatividade no orçamento é a cisterna de polietileno de 15.000 L, que corresponde a aproximadamente 49,5% do custo total, evidenciando que o reservatório é o componente mais oneroso do SAAC, conforme observado em outros estudos da área.

Tabela 3 - Orçamento estimado para implantação do SAAC

Item	Descrição	Unid.	Valor (R\$)
1	Cisterna polietileno 15.000 L (incluindo instalação)	un	R\$ 8.500,00
2	Reservatório superior 1.000 L (caixa d'água)	un	R\$ 900,00
3	Moto-bomba 1/2 CV com sistema de pressurização	un	R\$ 1.200,00
4	Calha PVC 150 mm (incluindo fixação)	m	R\$ 1.800,00
5	Condutor vertical PVC 100 mm	m	R\$ 850,00
6	Dispositivo descarte primeira chuva	un	R\$ 450,00
7	Tubulação PVC 50 mm (rede de distribuição)	m	R\$ 680,00
8	Conexões, registros e acessórios	vb	R\$ 700,00
9	Mão de obra instalação hidráulica	vb	R\$ 1.502,80
10	Itens complementares e imprevistos (5%)	vb	R\$ 600,00
TOTAL		-	17.182,80

Fonte: Elaborado pelo autor com base no SINAPI-PR (2026)

Ruver, Arnold e Zardin (2021), ao avaliarem o custo de implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em escolas municipais do oeste do Paraná, registraram custos totais entre R\$ 12.000,00 e R\$ 22.000,00 para sistemas de porte similar ao proposto no presente trabalho, com o reservatório respondendo por 40% a 55% do investimento total. Pizzo et al. (2021), em análise de seis projetos de SAAC implantados em edificações públicas do sul do Brasil, identificaram faixa de custo de R\$ 80,00 a R\$ 120,00 por metro cúbico de capacidade instalada de armazenamento, valor compatível com os R\$ 17.182,80 estimados para a cisterna de 15.000 L deste projeto (R\$ 1145,52/m³ de reservatório). Estes resultados situam o presente projeto dentro do intervalo de referência para empreendimentos de mesmo porte e região, atestando a razoabilidade do orçamento elaborado.

6.8.1 Custos de Operação e Manutenção

Para garantir a confiabilidade operacional e a segurança sanitária da água pluvial distribuída para os vasos sanitários da Escola Estadual Dom Pedro II, estruturou-se um plano de custos de Operação e Manutenção. Foram computados os gastos com a contratação anual de serviços especializados de limpeza e desinfecção dos reservatórios (cisterna de solo e caixa d'água superior), aquisição de insumos químicos para cloração e reserva de contingência para manutenção eletromecânica do sistema de recalque. O custo total de Operação e Manutenção estimado para o sistema é de R\$ 770,00 por ano. Este montante foi integrado ao

fluxo de caixa do projeto como uma despesa operacional recorrente, sendo deduzido anualmente do benefício bruto gerado pela economia de água potável obtida perante a Sanepar (estipulado em R\$ 3.086,20). Com esse desconto, o ganho líquido real gerado pelo sistema passa a ser de R\$ 2.316,20 por ano. Essa modelagem garante o realismo financeiro indispensável nas projeções dos indicadores de viabilidade econômica, servindo como a base real de entrada para o cálculo do Payback.

6.9 Análise de Viabilidade Econômica

A viabilidade econômica do sistema foi avaliada por meio do indicador de payback simples (período de retorno do investimento), calculado pela razão entre o investimento total e a economia anual gerada pela substituição de água tratada pela água pluvial captada.

A economia anual estimada é de R\$ 2.316,20⁵. Por meio da equação (8) obtém-se o seguinte payback simples:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Custo Total de Implantação (R\$)}}{\text{Economia Hídrica anual Gerada (R$/ano)}} = \frac{\text{R\$17.182,80}}{\text{R\$2.316,20}} = 7,4 \text{ anos} \quad (8)$$

O período de retorno calculado de 7,4 anos é considerado satisfatório para investimentos em sistemas de uso racional da água em edificações públicas, especialmente quando se considera a vida útil estimada de 20 a 25 anos para os componentes do sistema e os benefícios ambientais associados à redução da demanda por água tratada.

Trindade et al. (2017) verificaram paybacks entre 5 e 8 anos em sistemas de aproveitamento de água pluvial implantados em escolas públicas do Paraná com características semelhantes às da escola estudada, concluindo que o investimento é economicamente justificável quando avaliado no horizonte de vida útil do sistema. Ruver, Arnold e Zardin (2021) obtiveram payback médio de 7,2 anos para os sistemas analisados em escolas municipais do oeste do Paraná, resultado muito próximo ao apurado no presente estudo. Pizzo et al. (2021) destacam, adicionalmente, que a análise de viabilidade deve incorporar a projeção de reajustes

⁵ O valor de economia foi obtida pela multiplicação do volume anual substituído (239,24 m³/ano) pela tarifa de abastecimento da SANEPAR vigente para o município (R\$ 12,90/m³) subtraindo os custos de operação e manutenção (R\$ 770,00/ano).

tarifários — que historicamente superam a inflação geral — e os custos de manutenção do sistema, fatores que tendem a reduzir o payback efetivo e a ampliar a atratividade do investimento ao longo do tempo.

Considerando o contexto de escola pública com recursos orçamentários limitados, a implantação do sistema pode ainda ser viabilizada por meio de linhas de financiamento do Programa Nacional de Apoio ao Transporte do Escolar (PNATE) e de editais de programas federais de eficiência hídrica, o que reduziria ainda mais o horizonte de retorno do investimento.

6.10 Considerações sobre a Implantação e Operação do Sistema

A implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial na Escola Estadual Dom Pedro II requer atenção a aspectos técnicos, operacionais e de segurança sanitária que vão além do dimensionamento hidráulico dos componentes. A operação segura e eficiente do SAAC depende da adoção de um plano de manutenção preventiva e da correta sinalização dos pontos de uso da água não potável, evitando qualquer risco de confusão com a rede de abastecimento de água tratada.

Andrade Neto (2013) recomenda que os reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial sejam inspecionados e limpos periodicamente — com frequência mínima semestral —, incluindo verificação do estado das calhas, condutores, filtros e do dispositivo de descarte da primeira chuva. O autor alerta que a negligência com a manutenção é a principal causa de deterioração da qualidade da água armazenada, podendo inviabilizar o uso do sistema mesmo após poucos anos de operação.

Gomes e Gomes (2018) enfatizam a importância da identificação visual inequívoca das redes de água não potável em edificações escolares, recomendando o uso de tubulações e conexões na cor lilás — conforme padrão da ABNT NBR 15527:2019 — e a afixação de placas alertando sobre a qualidade da água em todos os pontos de uso. Essa medida é especialmente relevante em ambientes escolares, onde o público usuário inclui crianças que podem não reconhecer os riscos associados ao consumo de água não tratada.

No presente projeto, propõe-se ainda a realização de análises laboratoriais periódicas da água armazenada na cisterna, com frequência mínima semestral, contemplando os parâmetros físico-químicos e microbiológicos estabelecidos pela ABNT NBR 15527:2019 para usos não potáveis. Essas análises permitirão monitorar a qualidade da água ao longo do tempo e orientar a adoção de medidas corretivas, caso necessário, garantindo a segurança sanitária dos usuários do sistema.

A adoção dessas práticas, aliada ao correto dimensionamento técnico apresentado nas seções anteriores, confere ao sistema proposto as condições necessárias para operação segura, eficiente e alinhada às melhores práticas recomendadas pela literatura especializada e pela normatização brasileira vigente.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo atingiu o objetivo geral de projetar um Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC) para o Bloco 1 da Escola Estadual Dom Pedro II, em Janiópolis - PR, demonstrando que a engenharia descentralizada constitui vetor estratégico de segurança hídrica e responsabilidade socioambiental quando integra dimensionamento hidráulico, avaliação econômica e propostas de governança pedagógica. Os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento dos objetivos específicos evidenciam a consistência e a robustez técnica do projeto proposto, conforme sintetizado a seguir.

O primeiro objetivo específico, relativo ao levantamento do histórico pluviométrico da região de Janiópolis - PR, foi atendido por meio da análise de séries históricas disponibilizadas pelo Instituto Água e Terra (IAT). Os dados consolidaram uma precipitação média anual acumulada de 1.692 mm, distribuída ao longo de todos os meses do ano sob o regime climático Subtropical Úmido (Cfa). Identificou-se que nos meses de julho e agosto concentra os menores índices pluviométricos, com julho registrando o valor mínimo de 75 mm, enquanto outubro apresenta o pico máximo de 214 mm. Para o dimensionamento hidráulico instantâneo, a modelagem das relações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) por meio do software Plúvio 2.1 resultou na intensidade crítica de projeto de 197 mm/h, adotada como parâmetro regulatório superior para o cálculo das vazões de pico nos condutores de drenagem do Bloco 1.

Correspondente ao mapeamento da área real de contribuição da cobertura do Bloco 1 a partir do projeto arquitetônico da instituição, foi cumprido com o levantamento geométrico da cobertura de duas águas em telhas de aço galvanizado. As dimensões externas da projeção horizontal – 22,30 m de comprimento por 8,97 m de largura, incluindo os beirais de proteção – resultaram em uma área de contribuição real de 200 m². A adoção do coeficiente de escoamento superficial $C = 0,90$, justificada pelas propriedades físicas da superfície metálica lisa, e da eficiência global do sistema $\eta = 0,90$ consolidou o potencial de captação como diretamente proporcional à sazonalidade pluviométrica regional, com volume mensal captável variando de 12.247 L (julho) a 34.781 L (outubro).

Na quantificação da demanda hídrica mensal das bacias sanitárias estudantis ajustada ao regime de tempo integral, revelou o impacto expressivo da permanência estendida dos alunos sobre a infraestrutura predial. A adoção do coeficiente de frequência de 2,5 usos/aluno.dia – fundamentado nos critérios de Scherer (2003) e do PROSAB (GONÇALVES, 2006) para jornadas com duração superior a 8 horas – em substituição ao índice padrão de 1,2 usos/aluno.dia aplicável ao turno parcial, resultou em uma demanda diária de 2.550 litros para os 170 alunos, operando com bacias sanitárias de caixas acopladas de 6,0 L/descarga. Projetada para os 22 dias letivos mensais, a demanda hidráulica regulamentar fixou-se em 56.100 L/mês (um incremento de 108,3% em relação ao consumo de uma escola equivalente de turno único), evidenciando a necessidade crítica de fontes alternativas de abastecimento para atenuar as despesas de custeio hídrico da instituição.

Relativo ao dimensionamento dos componentes hidráulicos do sistema em conformidade com a ABNT NBR 15527:2019, as calhas semicirculares de PVC de 150 mm de diâmetro nominal, com declividade longitudinal mínima de 0,5%, foram especificadas para absorver a vazão de pico de 295,5 L/min por vertente com folga hidráulica adequada. Os condutores verticais e horizontais de PVC rígido de 100 mm demonstraram capacidade suficiente para a vazão total unificada de 591 L/min. O dispositivo de descarte de primeira chuva (first flush) foi dimensionado para interceptar os dois primeiros milímetros de precipitação incidente sobre os 200 m², totalizando 400 L de volume de descarte automático, materializado em manifold de 5 colunas paralelas de PVC de 200 mm com 2,55 m de altura útil e esferas flutuantes de vedação automática. O volume útil do reservatório de armazenamento foi fixado em 15.000 L (cisterna de fibra de vidro ao nível do solo), complementado por reservatório superior de distribuição de 1.000 L, sistema de recalque por moto-bomba centrífuga de 0,5 cv e dispositivo de alimentação complementar por by-pass, garantindo o abastecimento contínuo dos sanitários mesmo em períodos de estiagem prolongada.

A estimativa dos custos de implementação da infraestrutura por meio de orçamento analítico balizado nas tabelas de referência SINAPI-PR, foi realizado com a elaboração de planilha detalhada que apurou o custo total de implantação em R\$ 17.182,80. O maior componente de custo corresponde ao conjunto de reservatórios e sistema de bombeamento (R\$ 11.150,00; 64,89% do total), seguido pela mão de obra estimada (R\$ 2.448,60; 14,25%), pelo sistema de captação e calhas (R\$

1.614,00; 9,39%), pelos condutores e dispositivo first flush (R\$ 1.339,80; 7,80%) e pela rede de distribuição e recalque (R\$ 630,40; 3,67%). A adoção de componentes de alta difusão comercial no mercado paranaense contribuiu para a otimização dos custos de mobilização e para a redução das intervenções estruturais na edificação existente.

A avaliação da viabilidade econômica do projeto pelo cálculo do payback simples, validou a atratividade financeira do investimento. O sistema demonstrou capacidade de substituir 232,65 m³/ano de água fornecida pela concessionária pública, gerando uma economia tarifária anual de R\$ 2.316,20 à tarifa institucional praticada pela SANEPAR (R\$ 12,90/m³). O tempo de retorno do investimento calculado pelo método do Payback Simples resultou em 7,4 anos – equivalente a um terço da vida útil técnica estimada dos componentes instalados (superior a 20 anos). Esse resultado implica que, após a amortização integral do capital investido, o sistema converterá os anos restantes em redução líquida e contínua das despesas de custeio hídrico do erário público estadual, ratificando o ganho de eficiência administrativa e a sustentabilidade financeira do projeto.

Do ponto de vista das limitações da pesquisa, registra-se que o dimensionamento baseou-se em médias históricas e no software Plúvio 2.1, de forma que anomalias climáticas severas poderão gerar desvios entre o comportamento real do sistema e o modelo estatístico projetado. O escopo restringe-se ao uso não potável, sem contemplar análises físico-químicas e bacteriológicas voltadas à ingestão humana, e a caracterização do consumo diário fundamentou-se em parâmetros normativos e estimativas populacionais da literatura técnica, em substituição à medição hidrométrica individualizada. Como desdobramentos recomendados para trabalhos futuros, sugere-se o monitoramento qualitativo em tempo real da eficiência do first flush nas diferentes estações do ano, a automação do sistema via IoT com sensores ultrassônicos de nível e medidores de vazão digital, e a realização de Análise de Ciclo de Vida (ACV) dos materiais empregados para a quantificação da pegada de carbono associada à transição hidráulica da edificação.

REFERÊNCIAS

ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A. W. **Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan**. *Desalination*, v. 243, p. 195-207, 2009

ANDRADE NETO, C. O. Aproveitamento imediato da água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, Salvador, v. 1, n. 1. p. 1-12, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15527**: água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BRASIL. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual/Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2020a. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura-2020>. Acesso em: 21 ago. 2024.

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos**: Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <https://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/outorga/sao-luis-2019/lei-9433-1997-recursos-hidricos.pdf/view>. Acesso em: 21 ago. 2024.

CARLAO, L. F. B. A escassez de água no mundo não é mais uma hipótese ou teoria: é o alerta para a mudança do modelo do desenvolvimento humano. **Leopoldianum**, Santos, ano 44, n. 123, p. 33-46, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unisantos.br/leopoldianum/article/view/819> Acesso em: 20 set. 2024.

EMBRAPA. **Anuário Brasileiro da Agricultura Familiar**. 2015. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1018866> .Acesso em: 21 ago. 2024.

FASOLA, G. B. et al. **Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 65-78, out/dez. 2011.

GOMES, J. C. B.; GOMES, G. S. Relatos de uma experiência construtiva, o projeto “água um bem precioso: da poluição à preservação e utilização consciente.” *In*: Congresso Internacional de Educação Inclusiva & Jornada Chilena Brasileira de Educação Inclusiva e Direitos Humanos, 3. 2018, Campina Grande, **Anais [...]**. Campina Grande: Editora Realize, 2018.

GONÇALVES, R. F. Uso racional da água em edificações. **Projeto PROSAB**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

MANKAD, A.; TAPSUWAN, S.. Review of socio-economic drivers of community acceptance and adoption of decentralised water systems. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 3, p. 380-391, 2011.

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC. **Ambiente Construindo**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 67-84, 2008.

MARTINI, M. V. P.; MORUZZI, R. B. **Tratabilidade de águas pluviais utilizando coagulante natural a base de tanino visando fins não potáveis**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 22, p. 15-23, 2013.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004

MENEZES, H. O. **Utilização de guia didático com protocolo de avaliação rápida no diagnóstico de sistemas hídricos urbanos**. 2023. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais – PROFCIAMB) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2023.

MINIKOWSKI, M.; MAIA, A. G. Sistemas de aproveitamento de água de chuva no município de Irati (Pr). **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 7, n. 2, 2009.

NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L., YOSHINO, G. H. Potencial de aproveitamento de água de chuva na Universidade Federal do Pará – Belém/Pa. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, Santa Maria, v. 15, n.1, p.105-116, 2016.

OLIVEIRA, L. H.; ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M. **Tecnologias para construção mais sustentável: Estado da Arte - Água**. In: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Tecnologias para construção mais sustentável**. São Paulo: IPT/LabEEE, 2007. v. 1, p. 15-38.

OLIVEIRA, P. G. S.; PEREIRA, M. S. Estudo sobre a economia de água por meio de reaproveitamento da água da chuva. 2023. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2. 2023.

OURIQUES, R. Z.; SCHNEIDER, A.; LOPES, M. I. P.; BARROSO, L. B. **Aproveitamento da água de chuva em Escola Municipal de Santa Maria-Rs**. Disc. Scientia Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 6 , n. 1 2005.

PIZZO, H. S.; FERRARI, J. G.; ARBEX, T. B. O. Aproveitamento de água pluvial: captação e utilização para fins não potáveis em uma residência de alto padrão na cidade de Juiz de Fora – Mg. 2021, **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação** - Rease, 2021.

RUVER, C. A.; ARNORLD, N. G.; ZARDIN, G. Análise econômica do aproveitamento de água pluvial em uma escola técnica de rede federal. **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 25, n. 1, 2021.

SCHERER, F. A. **Uso racional de água em escolas públicas: diretrizes para secretarias de educação**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

SOUZA, L. V. **Aproveitamento de água de chuva em edificações**: estudo de caso da escola municipal antonio alves feitoza no município de camalaú - PB. 2023. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Construção de Edifícios) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Monteiro, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/jspui/handle/177683/3353>. Acesso em: 29 mai. 2026.

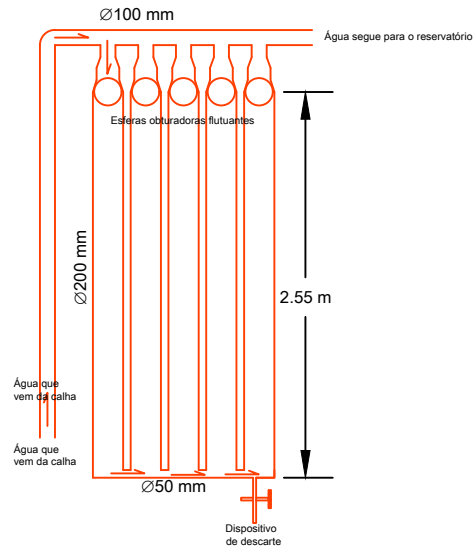
TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências**. Um estudo atualizado sobre o uso racional da água. São Paulo: Navegar, 2001.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2005. 210 p.

TRINDADE, K. A.; ALVARADO, C. A. A.; SANTANA, N. R. F. Sistema para aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis e sua viabilidade econômica em escola municipal no município de Lagarto/SE. **Scientia Plena**, 13., v. 13, n. 10. 2017.

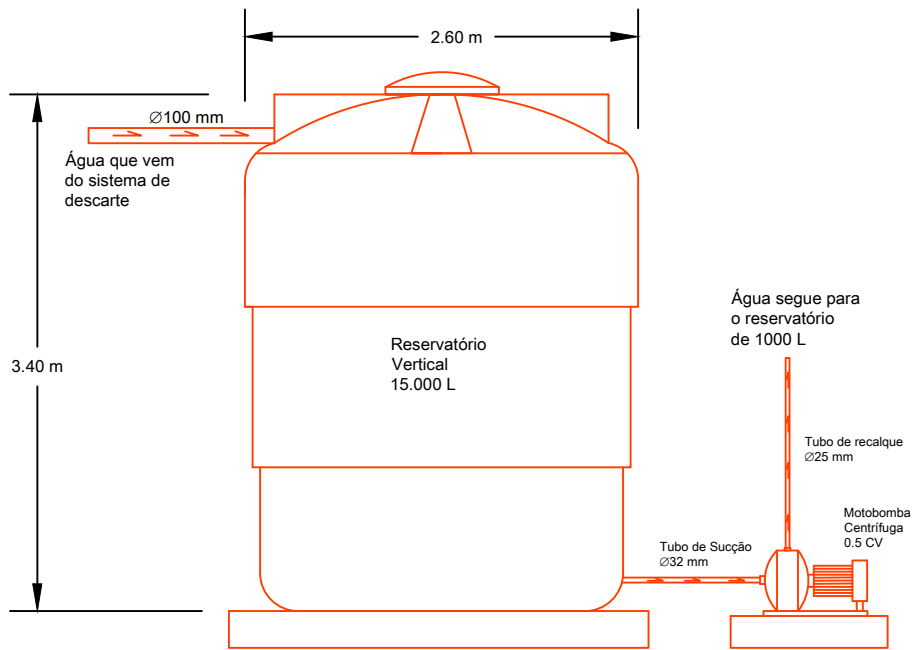
VERAS, A. A. S.; SOUSA, W.; SANTOS, G. P. C.; SALES, A. T. Análise da viabilidade de sistema de aproveitamento de água de chuva em um prédio público. **Revista Brasileira de Tecnologias Sociais**. 2023.

APÊNDICE A - Projeto: Calhas e cobertura



SISTEMA DE DESCARTE

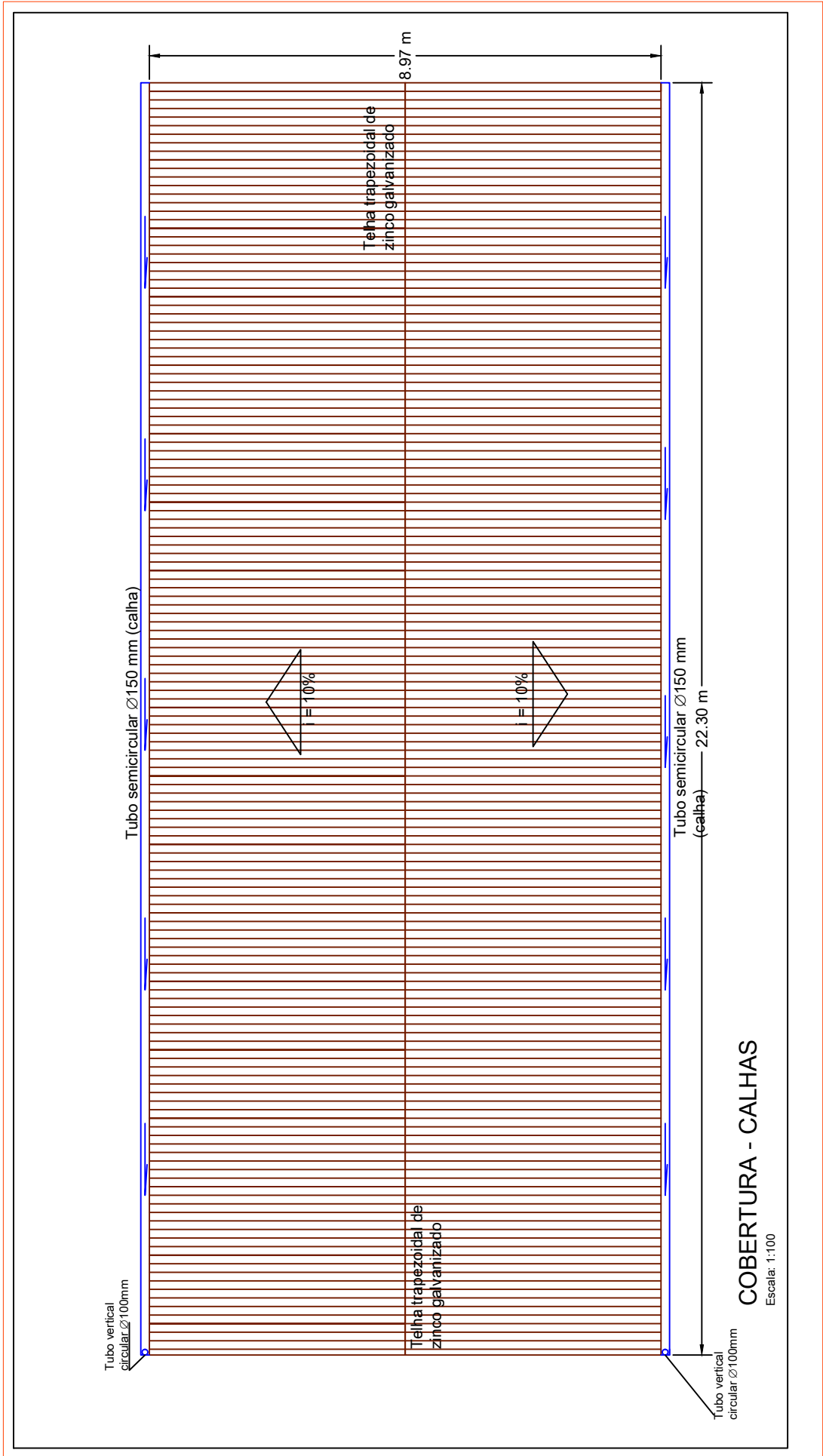
Escala: 1:50



RESERVATÓRIO

Escala: 1:50

APÊNDICE B - Projeto: Sistema de descarte e Reservatório



ANEXO A - Levantamento Fotográfico do Bloco 1







ANEXO B - Croqui dos espaços da escola



ANEXO C - Alturas mensais de precipitação 1996-2025

Alturas mensais de precipitação (mm)

Estação:	JANIOPOLIS	Código:	02452010	Entidade:	AGUASPARANÁ							
Município:	Janiópolis	Instalação:	07/04/1967	Extinção:								
Tipo:	P	Bacia:	Piquiri	Sub-bacia:	3							
Altitude:	350,000 m	Latitude:	24° 07' 59"	Longitude:	52° 46' 00"							
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1996	260,4	206,3	167,0	83,1	44,0	44,2	29,5	37,4	163,4	244,1	81,8	379,4
1997	141,5	274,5	120,0	67,6	96,2	236,0	56,9	74,6	223,6	274,9	224,7	308,4
1998	112,0	243,5	215,1	353,7	120,6	100,8	38,0	191,3	391,8	222,2	43,0	103,9
1999	146,5	232,3	94,2	129,1	198,8	140,9	48,7	0,4	79,5	75,8	50,8	174,1
2000	72,6	331,6	135,0	98,6	62,2	155,5	94,3	216,8	217,6	188,0	135,3	256,6
2001	346,0	205,6	139,3	71,0	99,2	137,9	58,3	68,5	106,7	122,8	161,4	220,1
2002	292,0	82,1	45,0	28,3	479,7	0,0	69,3	101,0	152,8	173,8	373,7	99,5
2003	274,2	197,8	145,1	132,2	75,1	74,9	82,4	42,7	108,8	122,2	205,1	184,8
2004	98,5	84,8	59,1	102,4	374,9	152,9	169,7	5,9	106,1	351,9	241,6	101,6
2005	347,6	12,6	118,0	155,5	88,4	103,2	87,4	50,7	171,7	543,6	69,6	45,9
2006	129,9	135,3	145,8	140,1	26,1	56,1	19,1	64,4	232,0	123,1	242,6	210,9
2007	193,1	240,9	134,0	130,0	79,9	2,7	161,7	21,0	65,0	104,7	261,4	203,5
2008	106,7	142,2	147,9	112,5	97,5	137,4	42,8	344,6	52,1	143,8	160,2	38,0
2009	291,8	110,1	133,3	9,2	244,2	130,8	231,0	115,8	157,8	403,6	172,8	204,1
2010	280,7	156,3	215,9	161,2	96,4	24,7	71,3	16,1	99,5	200,3	162,3	346,4
2011	197,0	305,8	137,0	134,6	16,1	152,4	134,8	183,1	88,9	286,7	135,3	37,4
2012	201,2	107,3	119,6	185,7	92,2	237,5	69,3	3,1	40,2	154,4	66,8	250,1
2013	166,6	402,0	216,5	115,2	163,1	312,3	37,9	5,7	60,6	204,5	119,6	149,8
2014	212,4	60,9	137,7	158,3	204,9	362,9	111,9	36,9	243,5	74,5	152,4	126,2
2015	157,0	137,8	268,3	121,5	225,6	60,5	304,7	21,6	138,3	152,8	350,5	188,3
2016	140,7	214,0	100,4	66,1	257,7	69,4	70,7	217,2	28,2	330,3	46,3	279,9
2017	132,8	158,1	129,7	161,3	199,7	132,5	0,8	104,5	63,3	335,7	120,7	302,3
2018	325,6	150,9	286,7	7,4	27,6	45,0	6,5	125,5	131,8	206,5	144,0	122,5
2019	126,5	218,3	94,1	57,6	137,9	83,4	14,3	0,0	54,9	48,6	101,0	299,4
2020	117,3	95,5	46,7	30,1	84,8	200,6	54,9	159,3	12,5	31,9	51,7	161,2
2021	343,6	56,1	97,3	0,6	49,1	76,0	43,7	14,9	2,6	385,7	66,2	14,6
2022	66,1	60,2	195,7	146,8	100,0	136,3	13,5	138,2	315,4	225,1	78,4	133,2
2023	103,0	277,5	175,5	136,1	51,2	91,8	52,0	92,9	97,9	345,3	177,4	141,5
2024	94,3	66,4	66,8	63,1	51,9	0,0	53,0	8,1	106,4	150,1	103,1	365,1
2025	73,9	102,1	57,7	89,0	85,3	177,2	40,3	55,5	88,8	215,5	227,7	194,4

Valores anuais

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÉDIA	185,1	169,0	138,1	108,3	131,0	121,2	75,6	83,9	126,7	214,7	150,9	188,1
MÍNIMA	66,1	12,6	45,0	0,6	16,1	0,0	0,8	0,0	2,6	31,9	43,0	14,6
MÁXIMA	347,6	402,0	286,7	353,7	479,7	362,9	304,7	344,6	391,8	543,6	373,7	379,4
D. PADRAO	89,0	91,6	59,4	67,6	103,3	85,2	66,0	116,0	87,6	116,0	84,6	97,6

Observações:

- * Valor consistido
- Sem leitura