

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



**CATEGORIA 2**

**CONCEPÇÕES DE INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS COMO CONTRIBUIÇÃO NA**  
**SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NO METRÔ-SP**

**AUTORES**

*Ana Flávia da Silva Hoepfner*

*Fernando José Fedato*

**INTRODUÇÃO**

A importância de ações que promovam sustentabilidade ambiental tem se tornado cada vez mais evidente. Neste contexto, um tema de bastante relevância é a disponibilidade de água doce para uso, em todo o cenário mundial. Em 2015, as Nações Unidas publicaram a agenda 2030, que apresenta 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (17 SDG – Sustainable Development Goals), muitos dos quais envolvem recursos hídricos e saneamento. Sua finalidade principal é garantir qualidade de vida para a população atual e futura.

No Brasil, o cenário de crise hídrica é configurado de maneira marcante em 2014, com a grave seca que se instalou nas regiões Centro-Oeste e Sudeste. Tal crise afetou

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



seriamente o abastecimento urbano em três estados-chave da economia brasileira: Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (SANTOS et al., 2019).

Após a crise hídrica, a necessidade de incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais, que é uma das alternativas de substituição da água potável, foram incluídos nos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

No Metrô de São Paulo, em 2014, foi publicada uma norma interna com diretrizes e indicações de fontes alternativas de água para fins não potáveis. Por volta deste mesmo período, foram publicadas também normas brasileiras e legislações para incentivar o uso racional da água e a aplicação de fontes alternativas à água potável.

Em 2015, estas diretrizes tiveram sua primeira aplicação na concepção de um projeto. Trata-se da estação Ponte Grande, da Linha 2 - Verde, que adotou o aproveitamento de água de chuva para uso em bacias sanitárias e lavagem de pisos, bem como previu a instalação de aparelhos redutores de consumo, tais como torneiras com arejador e bacias sanitárias de duplo acionamento (3/6L).

É importante observar que as estações de Metrô são edificações que consomem considerável quantidade de água e a maior parte deste consumo é de água não potável. Assim, o uso da água pluvial como fonte para abastecimento, associado à adoção de aparelhos redutores de consumo, aumenta a disponibilidade de água potável para a população.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Ao longo do desenvolvimento dos projetos seguintes, foram aplicadas outras melhorias, já envolvendo maior interdisciplinaridade, dentre as quais se destacam o telhado verde nas estações Jardim Colonial, Boa Esperança e Jacu-Pêssego e no pátio Ragueb Chohfi – todos na Linha 15 – Prata, bem como o sistema de gotejamento para jardins no projeto de ampliação da estação Vila Prudente (Linha 2 – verde). Atualmente, os projetos básicos da Linha 19 têm adotado, sempre que aplicáveis, todas estas ações que, por meio da redução no consumo de água, promovem melhoria da sustentabilidade ambiental e geram benefícios econômicos.

Adicionalmente, têm sido adotadas estratégias para auxílio no controle de enchentes, como a construção de reservatórios de retardo, previsto em legislações. Além disso, o uso de telhado verde também contribui para a retenção de água de chuva, pois gera uma redução nos volumes encaminhados às redes públicas e, deste modo, ajuda a evitar a ocorrência de enchentes.

Outra questão que se tem abordado é a economia de energia elétrica. No que se refere aos reservatórios, têm sido priorizadas soluções que gerem menor consumo de energia com equipamentos (como bombas e pressurizadores), na medida em que se busca posicionar os reservatórios de modo a fazer a distribuição de água por gravidade, tanto quanto possível.

Diante do contexto apresentado, este artigo pretende contribuir com os estudos voltados à redução do consumo de água em estações de Metrô, através da apresentação de algumas soluções de projeto para sistema de aproveitamento de água de chuva como

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



fonte de água não potável, utilização de aparelhos redutores de consumo de água e utilização de soluções sustentáveis, como telhado verde e sistema de gotejamento para irrigação de jardim.

Pretende-se apresentar a viabilidade do sistema de aproveitamento de água de chuva, assim como os benefícios financeiros e eficiências adquiridas ao se adotar as soluções de redução de consumo de água.

Outra finalidade é apresentar o custo/benefício e verificar qual é a estratégia mais sustentável (ambientalmente e economicamente) ao comparar as diferentes disposições dos reservatórios e os equipamentos correspondentes, tais como (1) uso de reservatório inferior, com pressurizador; (2) uso de reservatório superior e inferior, com bombas. Serão comparados os custos de implantação dos reservatórios e o custo da energia elétrica utilizada pelos equipamentos.

## **OBJETIVOS**

Um dos objetivos desse artigo é apresentar o resultado dos estudos para a implantação do aproveitamento de água de chuva, em sete estações subterrâneas e uma estação de monotrilho, a saber: Anália Franco (Linha 2), Ipiranga (L15 - Monotrilho), Catumbi (Linha 19), Jardim Brasil (Linha 19), Silva Teles (Linha 19), Vila Augusta (Linha 19), Vila Maria (Linha 19) e Pari (Linha 19). Para tanto, pretende-se:

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



- 1) Calcular o tempo de retorno do investimento para a implantação do aproveitamento de água de chuva, a eficiência alcançada e os volumes dos reservatórios adotados, visando apresentar a viabilidade da sua implantação;
- 2) Estimar os benefícios econômico-financeiros ao utilizar aproveitamento de água de chuva e aparelhos redutores de consumo;
- 3) Estimar o volume economizado de água potável que ficará disponível à população.

Outro objetivo é apresentar estratégias relacionadas à composição de reservatórios e o respectivo custo de energia elétrica do equipamento correspondente. Para tanto, pretende-se:

- 1) Comparar os custos de implantação de reservatórios enterrados com pressurizadores em relação ao custo da composição de reservatórios enterrados e superiores com bombas;
- 2) Calcular o custo da energia elétrica utilizada ao adotar bombas e pressurizadores.

E, por fim, pretende-se apresentar estratégias ambientalmente sustentáveis, utilizadas em estações do Metrô de São Paulo, como:

- 1) Implantação de telhado verde;
- 2) Implantação de sistema de gotejamento para irrigação dos jardins;

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



## **DIAGNÓSTICO**

Em virtude do movimento mundial em torno da sustentabilidade ambiental, a fim de se promover melhor qualidade de vida das gerações atuais e futuras, têm surgido diversas legislações e programas para promover a aplicação de estratégias de redução dos impactos ambientais gerados pelo ser humano.

No âmbito mundial, a agenda 2030 de desenvolvimento sustentável propôs 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável (17 SDGs – Sustainable Development Goals), com estratégias para melhorar qualidade de vida da população mundial (UNITED NATIONS, 2015).

Alguns destes objetivos englobam água e saneamento, como, o SGD 6 (Sustainable Development Goals 6) e o SDG 11 (Sustainable Development Goals 11), sendo que, este último envolve também energia sustentável e tem como tema principal cidades sustentáveis e comunidades.

É importante ressaltar que o SGD 6 estabelece que o mundo necessita transformar a maneira de gerenciar suas fontes de água e fornecer água e serviços de saneamento para bilhões de pessoas. E informa que é necessária ação urgente para superar essa crise global, que está afetando todas as cidades em torno do mundo, social, econômica e ambientalmente (UNITED NATIONS, 2015).

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Diante deste contexto mundial, pode-se dizer que os projetos de estações do Metrô de São Paulo estão abrangendo tópicos que favorecem o desenvolvimento sustentável, tais como:

- 1) Aproveitamento de água de chuva como água não potável, em substituição ao uso de água potável, para usos menos nobres. Importância: devido ao alto consumo de água das estações, essa estratégia auxilia na maior disponibilidade de água potável para a população.
- 2) Utilização de equipamentos sanitários com redutores de consumo, que visam à economia de água, seja potável ou não potável. Os equipamentos mencionados são: torneiras, válvulas de mictórios e chuveiros. A importância é semelhante ao tópico 1.
- 3) Utilização de bacias sanitárias ecológicas, com acionamento 3/6L. A importância é semelhante ao tópico 1.
- 4) Utilização do sistema de gotejamento para irrigação dos jardins, com a finalidade de otimizar a quantidade de água destinada à rega de jardim. A importância é semelhante ao tópico 1.
- 5) Utilização de telhado verde, como estratégia de aproveitamento de água de chuva e diminuição do encaminhamento de águas pluviais para a rede pública, o que pode auxiliar na redução das enchentes.
- 6) Utilização de reservatórios superiores e inferiores em vez de apenas inferiores, com a finalidade de economia de energia elétrica.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



## APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

No Metrô de São Paulo, o sistema de aproveitamento, adotado desde 2015, é composto por gradeamento, first flush, filtração, cloração e armazenamento, sendo que a água coletada é somente a das coberturas sem acesso de pessoas.

Ressalta-se que o item principal na sua implantação é a escolha do tamanho do reservatório, pois envolve maior custo, e por isso não pode ser superdimensionado, que o torna mais caro, nem subdimensionado, que o torna menos eficiente. A metodologia utilizada para o cálculo do reservatório no Metrô de São Paulo é a descrita por Cecin (2012).

A simulação proposta por Cecin (2012) envolve o balanço hídrico diário/ mensal. Segundo Leite et al (2022), o balanço hídrico diário é o método que tem sido mais utilizado nos cálculos. Assim, para as estações apresentadas nesse artigo, adotamos a variação diária de precipitação.

O resultado deste método de simulação são gráficos que contêm a eficiência do consumo de água não potável em função dos volumes dos reservatórios. É importante ressaltar que parte do consumo de água não potável é suprido pela água de chuva e parte pela água potável, melhorando, assim, a viabilidade do sistema. A escolha da eficiência e volume de reservatório a serem adotados é influenciada pelo tempo de retorno do investimento (pay back).



**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



O tempo de retorno do investimento envolve custos e benefícios. Os custos de implantação adotados são: construção do reservatório, tubulação para distribuição da água não potável, bomba hidráulica e dosador de cloro em tablets; e de manutenção do sistema: cloro em tablets, energia elétrica, ensaios de qualidade da água, limpeza do reservatório. Quanto ao benefício, está relacionado à economia de água potável, substituída pela água de chuva, e à tarifa de água da concessionária.

Segundo Leite et al (2022), o tempo do retorno do investimento é impactado pelos dados de precipitação, que variam de acordo com a localização. Ele ressalta que, por isso, o mesmo sistema pode resultar em tempos de retorno financeiro diferentes, dependendo do local de sua implantação.

Martins et al (2021) explica que a tarifa de água é uma variável muito importante e difere para cada município. Caso seja muito baixa, pode tornar inviável a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva. Em São Paulo, a tarifa variou muito nos últimos tempos, o que impactou drasticamente no estudo de viabilidade do aproveitamento de água de chuva nos projetos do Metrô de São Paulo. Quando o estudo em estações de Metrô de São Paulo foi publicado pela primeira vez por Hoepfner e Fedato (2022), a viabilidade do sistema se dava por volta de 10 anos. Atualmente, com o aumento na tarifa, o tempo necessário para que o sistema alcance viabilidade diminuiu consideravelmente.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



## APARELHOS REDUTORES DE CONSUMO DE ÁGUA

Os aparelhos redutores de consumo também têm grande importância na economia de água. Eles possuem baixo custo relativo, comparando-se com o custo total das instalações hidráulicas, e alta eficiência na redução do consumo de água. O primeiro projeto a adotar os aparelhos redutores de consumo de água foi o Projeto Básico da Estação Ponte Grande, em 2015. Na época, os aparelhos adotados eram diferentes dos mais atuais (Tabela 1, primeira coluna), já que a eficiência dos equipamentos em geral melhorou com o passar do tempo. A exceção foi a bacia sanitária, que é a mesma utilizada desde 2015, pois ainda é a mais eficiente do mercado, sendo que a característica principal é o acionamento 3/6 L.

## SISTEMA DE GOTEJAMENTO

O sistema de gotejamento é utilizado com a função de otimizar o consumo de água na irrigação dos jardins, pois tem como objetivo fornecer apenas a quantidade necessária de água, ou seja, sem excessos. Ele pode ser automatizado e atingir uma economia de água de até 70 % (Dr. irrigação, 2023).

O sistema de gotejamento, utilizado nas estações e pátios, consiste em mangueiras perfuradas enterradas que proporcionam irrigação uniforme e mais eficiente dos jardins (Figura 1). As primeiras aplicações deste sistema ocorreram em 2019 e 2020 nos projetos básicos das estações Vila Prudente (Linha 2 - Verde), Boa Esperança e Jacu-

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Pêssego (Linha 15 - Prata) e do pátio Ragueb Chohfi (Linha 15 – Prata). A partir de então, os projetos básicos de estações e pátios (em sua maioria, da Linha 19) contêm o sistema de gotejamento para irrigação dos jardins, sempre que aplicável.

**Tabela 1: Consumo dos aparelhos redutores de consumo, adotados nos projetos do Metrô de São Paulo, em três épocas distintas.**

	<b>Primeiros projetos</b>	<b>2022*</b>	<b>2023</b>	<b>Fator de economia</b>
<b>Vaso sanitário</b>	<b>3 a 6 L</b>	<b>3 a 6 L</b>	<b>3 a 6 L</b>	<b>-</b>
<b>Mictório</b>	<b>8 lpm</b>	<b>6 lpm</b>	<b>6 lpm</b>	<b>25 %</b>
<b>Torneira de lavatório</b>	<b>8 lpm</b>	<b>1,8 lpm</b>	<b>1,3 lpm</b>	<b>83,8 %</b>
<b>Torneira de cozinha</b>	<b>8 lpm</b>	<b>5 lpm</b>	<b>5 lpm</b>	<b>37,5 %</b>
<b>Chuveiro</b>	<b>11 lpm</b>	<b>6 lpm</b>	<b>6 lpm</b>	<b>45,5 %</b>
<b>Torneira de uso geral</b>	<b>8 lpm</b>	<b>6 lpm</b>	<b>6 lpm</b>	<b>25 %</b>

\* Hoepfner e Fedato (2022) e adotado nos projetos da época.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



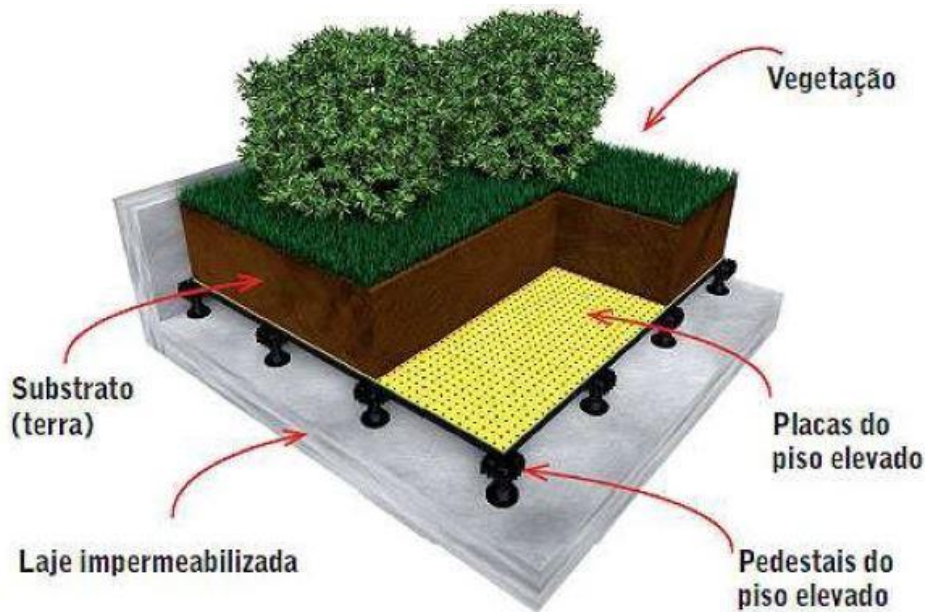
**Figura 1 – Exemplo de instalação de mangueiras perfuradas, para sistema de gotejamento.**

## TELHADO VERDE

Segundo Franco (2020), o telhado verde vem sendo utilizado no mundo inteiro e é capaz de minimizar os impactos gerados pela grande urbanização das cidades. O eco telhado, como também é conhecido, é considerado uma técnica inovadora de grande resultado sustentável para a construção civil e para a sociedade, pois, além de contribuir para a diminuição da poluição, diminui também o risco das enchentes dos meios urbanos.

A primeira estação a adotar o telhado verde na concepção do Projeto Básico foi Jardim Colonial, da Linha 15 – Prata, em 2016. O telhado verde é composto por camadas de vegetação, substrato, drenagem e impermeabilização, localizado na cobertura do edifício (Figura 2).

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



**Figura 2 – Exemplo de elementos que compõe o telhado verde.**

Os principais pontos de atenção no projeto do telhado verde são: (1) a estrutura debaixo do telhado, cuja carga varia conforme o tipo de telhado verde; (2) a impermeabilização. Para a irrigação do telhado verde, colocam-se suportes debaixo do substrato com objetivo de reter água de chuva que é mantida até uma determinada altura de lâmina de água. Assim, simula-se um pequeno reservatório de água abaixo da área verde, onde a água de chuva é retida para auto irrigar a vegetação e apenas o excesso de água é extravasado.

Como panorama geral, segundo Franco (2020), o telhado verde contribui muito para o conforto térmico do ambiente interno, diminuindo o uso de aparelhos condicionantes de ar, e aumenta também a umidade do ar externo em todo seu entorno, melhorando a qualidade de vida coletiva. Assim, pode-se dizer que, ao se diminuir o uso de aparelhos

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



para a climatização do ambiente, aumenta-se a eficiência energética, muito importante para a sustentabilidade.

Um aspecto interessante apontado por Franco (2020) é que o telhado verde funciona também como um filtro, proporcionando uma melhor qualidade da água que pode ser aproveitada como fonte não potável. Ele explica que pode ser colocada uma camada drenante/ filtrante com a função de drenar a água da chuva, dando vazão ao excesso de água e resultando em uma água com melhor qualidade, devido a essas camadas atuarem como filtro, separando os poluentes.

Assim, uma sugestão para projetos futuros no Metrô de São Paulo é utilizar o telhado verde como filtro e armazenar o excesso de água (água extravasada), em um reservatório de água não potável, por exemplo.

## **METODOLOGIA**

Neste tópico, é apresentada a metodologia de cálculo para avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva e cálculo de redução de água ao se adotar aparelhos redutores de consumo somado ao aproveitamento de água de chuva.

Além disso, é apresentado o cálculo comparativo de custo-benefício de implantação de diferentes arranjos de reservatórios e seus equipamentos, assim como a comparação entre o custo de energia elétrica utilizada pelos equipamentos de cada arranjo.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



## APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

Conforme já informado, o método de simulação utilizado para o cálculo dos reservatórios de aproveitamento de água de chuva, no Metrô de São Paulo, é o Cecin (2012). Os dados de entrada para as simulações são: área de cobertura das estações e demanda por água não potável, sendo que ambos diferem para cada estação.

Os dados de demanda refletem os usos finais das estações, que variam com o número de passageiros, número de funcionários, área de jardim e lavagem da estação. Os usos finais considerados nas estações de Metrô são: bacias sanitárias, torneiras de lavagem de piso, mictórios, irrigação e reserva técnica de combate a incêndio.

Para as simulações, foram utilizados dados de precipitação diários, que, conforme Leite et al (2022), são os dados mais utilizados. O período de precipitações considerado esteve entre 2010 e 2021. Os dados climatológicos de São Paulo foram obtidos através dados históricos do índice pluviométrico, fornecidos por INMET (2022).

Os volumes de reservatórios utilizados nas simulações foram: 10 m<sup>3</sup>, 15 m<sup>3</sup>, 20 m<sup>3</sup>, 25 m<sup>3</sup>, 30 m<sup>3</sup>, 35 m<sup>3</sup>, 40 m<sup>3</sup>, 45 m<sup>3</sup>, 50 m<sup>3</sup>, 55 m<sup>3</sup>, 60m<sup>3</sup>, 70 m<sup>3</sup>, 80 m<sup>3</sup>, 90 m<sup>3</sup> e 95 m<sup>3</sup>.

Os resultados obtidos pela simulação, foram: volumes de reservatórios adotados em função das eficiências adquiridas para as estações: Anália Franco (L2), Ipiranga (L15), Catumbi (L19), Jardim Brasil (L19), Silva Teles (L19), Vila Augusta (L19), Vila Maria (L19) e Pari (L19).

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Também, foi apresentado o benefício financeiro anual estimado (R\$/ano) por estação e total, e o volume anual estimado de economia de água (m<sup>3</sup>/ano), ao utilizar aproveitamento de água de chuva.

### CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES

As Tabelas 2 e 3 contém as características de cada estação, como: área do lote (m<sup>2</sup>), área de cobertura (m<sup>2</sup>), área de jardim (m<sup>2</sup>), número de funcionários, número de passageiros e número de funcionários a tomar banho. As estações estão situadas no município de São Paulo, exceto a estação Vila Augusta (L19), que está localizada em Guarulhos-SP.

### TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Para o cálculo do tempo de retorno do investimento (pay back), considerou-se o custo de implantação (custo do reservatório e instalações hidráulicas) e o custo de manutenção e operação (limpeza, análise da água, cloração e energia elétrica). A data base utilizada para o cálculo dos custos foi a de 2023. Esses custos utilizados para a simulação foram considerados fixos para cada volume de reservatório.

Para o cálculo do benefício, adotou-se o volume economizado (AAC – Aproveitamento de Água de Chuva) e a tarifa de R\$ 17,50.



**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



**Tabela 2: Características das Estações, como área do lote (m<sup>2</sup>), cobertura (m<sup>2</sup>) e jardim (m<sup>2</sup>).**

<b>Estações de Metrô</b>	<b>Lote (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cobertura (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Jardim (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Anália Franco (L2)</b>	<b>12.174,00</b>	<b>1280</b>	<b>6000</b>
<b>Ipiranga (L15)</b>	<b>11.346,27</b>	<b>4540</b>	<b>4500</b>
<b>Catumbi (L19)</b>	<b>11.942,00</b>	<b>2953</b>	<b>6362</b>
<b>Jardim Brasil (L19)</b>	<b>6.985,78</b>	<b>1826</b>	<b>3942</b>
<b>Silva Teles (L19)</b>	<b>9.163,41</b>	<b>2633</b>	<b>5517</b>
<b>Vila Augusta (L19)</b>	<b>6.524,56</b>	<b>2122</b>	<b>3339</b>
<b>Vila Maria (L19)</b>	<b>11.151,70</b>	<b>3028</b>	<b>5045</b>
<b>Pari (L19)</b>	<b>15.626,00</b>	<b>4577</b>	<b>5040</b>

### APARELHOS REDUTORES DE CONSUMO

Para o cálculo da redução de consumo ao adotar aparelhos redutores de consumo, aplicou-se o fator redutor de consumo, apresentado na Tabela 1, que é a razão entre o consumo mais atual e o consumo nos primeiros projetos.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



**Tabela 3: Características das Estações, como número de funcionários, número de passageiros e número de pessoas a tomarem banho.**

<b>Estações de Metrô</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Passageiros</b>	<b>Funcionários para banho</b>
<b>Anália Franco (L2)</b>	<b>260</b>	<b>18.070</b>	<b>66</b>
<b>Ipiranga (L15)</b>	<b>98</b>	<b>24.000</b>	<b>60</b>
<b>Catumbi (L19)</b>	<b>80</b>	<b>15.480</b>	<b>51</b>
<b>Jardim Brasil (L19)</b>	<b>67</b>	<b>26.470</b>	<b>39</b>
<b>Silva Teles (L19)</b>	<b>74</b>	<b>27.680</b>	<b>46</b>
<b>Vila Augusta (L19)</b>	<b>67</b>	<b>5.180</b>	<b>39</b>
<b>Vila Maria (L19)</b>	<b>67</b>	<b>35.200</b>	<b>39</b>
<b>Pari (L19)</b>	<b>91</b>	<b>107.510</b>	<b>53</b>

Aplicou-se os fatores redutores às vazões de cada aparelho sanitário (Botelho e Ribeiro, 2010) e, assim, obteve-se as novas vazões.

1. Consideração: para os funcionários, adotou-se 50 L/pessoa/dia, na consideração sem os aparelhos redutores;
2. Após o cálculo dos fatores redutores, aplicou-os no volume de 50 L/pessoa por dia, obtendo-se um novo volume por pessoa por dia. Assim obteve-se um novo volume para os funcionários;

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



3. Para o banho, o volume inicial foi 30 L/pessoa/dia;
4. Após o cálculo do fator redutor, aplicou-os no volume de 30 L/pessoa por dia, obtendo-se um novo volume por banho por dia. Assim obteve-se um novo volume para os banhos;
5. Para os sanitários públicos, estimou-se como valores iniciais: 1L por pessoa para lavatório e 4L para bacias sanitárias. O número estimado de pessoas que utilizam os sanitários públicos foi de 2.000, podendo variar de estação para estação dependendo do movimento diário de pessoas em cada uma delas.
6. Após o cálculo do fator redutor para as torneiras dos lavatórios (exceto bacias sanitárias, cujo consumos se mantiveram iguais), aplicou-os no volume proposto no item 5, obtendo-se um novo volume para sanitários públicos por dia;
7. Para uso de água não potável, subtraiu-se o uso de água de chuva (cálculo do Cecin, apresentado acima). Este volume foi o mesmo para a coluna de consumos iniciais e para a coluna com resultados finais, após os fatores redutores, pois o seu cálculo depende apenas da precipitação e não de algum aparelho redutor de consumo.

Após os cálculos dos volumes de água ao adotar os fatores redutores, comparou-se o volume inicial necessário de água potável e o economizado. Considerou-se também o volume de água economizado ao utilizar água de chuva (item 7), somando-se ambos resultados.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



## COMPARAÇÃO DE ARRANJOS DE RESERVATÓRIOS

Para a análise da melhor composição entre reservatórios, em função do custo-benefício e dos ganhos ambientais, elaborou-se os seguintes cálculos:

- 1) Custo do reservatório, quando todo o volume estiver no reservatório enterrado, somado ao custo do pressurizador;
- 2) Custo dos reservatórios, quando um terço do volume estiver no reservatório superior e o restante no reservatório enterrado, somado ao custo das bombas;
- 3) Custo da energia elétrica utilizada para o pressurizador;
- 4) Custo da energia elétrica para a bomba;

A suposição utilizada foi que o pressurizador opere o dia todo para atender ao funcionamento da estação, e a noite, para limpeza da estação; enquanto a bomba opere 4 horas por dia, ao bombear água do reservatório inferior para o superior e então, seguir por gravidade.

Dados:

- Suposição para o pressurizador = 6h a carga total (horas de pico) + 12 h a 50% de carga + 6 h a 25% da carga =  $6 + 12 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,25 = 13,5$  h.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



- Suposição para a bomba = 4 horas de uso.
- Preço na energia elétrica = R\$ 0,594 por KWh (ENEL, 2022).

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste tópico, estão apresentados os resultados da viabilidade econômico-financeira ao utilizar aproveitamento de água de chuva, a eficiência no consumo de água não potável, e o volume do reservatório resultante.

Na sequência, foram apresentados os resultados de tempo de retorno do investimento, o benefício financeiro (R\$/ano) estimado e o volume (m<sup>3</sup>/ano) estimado de economia de água. Também foi explicado o critério mais adequado para determinação do volume de reservatório, para as estações apresentadas.

A seguir, foram apresentados os resultados associados à adoção de aparelhos redutores de consumo somados ao volume de água economizado por meio do aproveitamento de água de chuva. Calculou-se o benefício econômico (R\$/ano) e o volume (m<sup>3</sup>/ano) de água economizado.

Por último, foi apresentada uma comparação envolvendo o custo de diferentes disposições dos reservatórios e a energia elétrica utilizada para cada equipamento correspondente.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

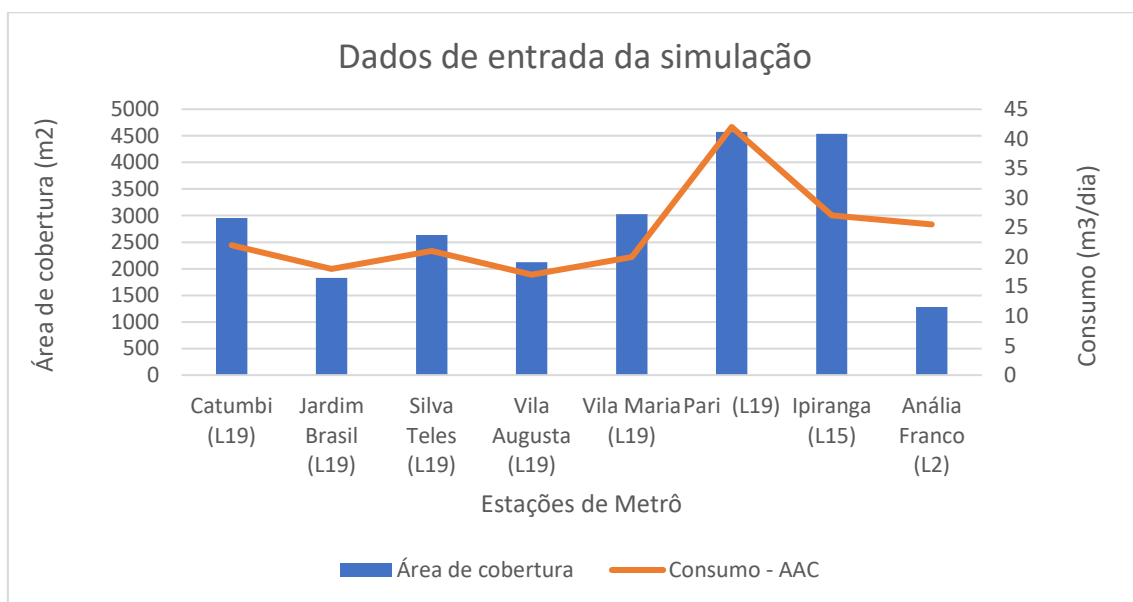


## APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

### DADOS DE ENTRADA

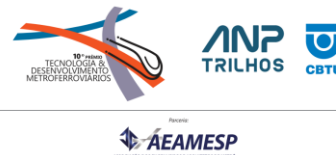
Para simular a eficiência e o tamanho do reservatório, adotou-se como dados de entrada: área de cobertura da estação (m<sup>2</sup>) e consumo de água não potável (m<sup>3</sup>/dia), que constam na Figura 3. Esses dados foram considerados fixos para cada estação.

A precipitação na cidade de São Paulo foi considerada fixa para todas as estações. Os períodos adotados foram de 2010 a 2021 (Figura 4). Na simulação, foi adotada a variação diária de precipitação.

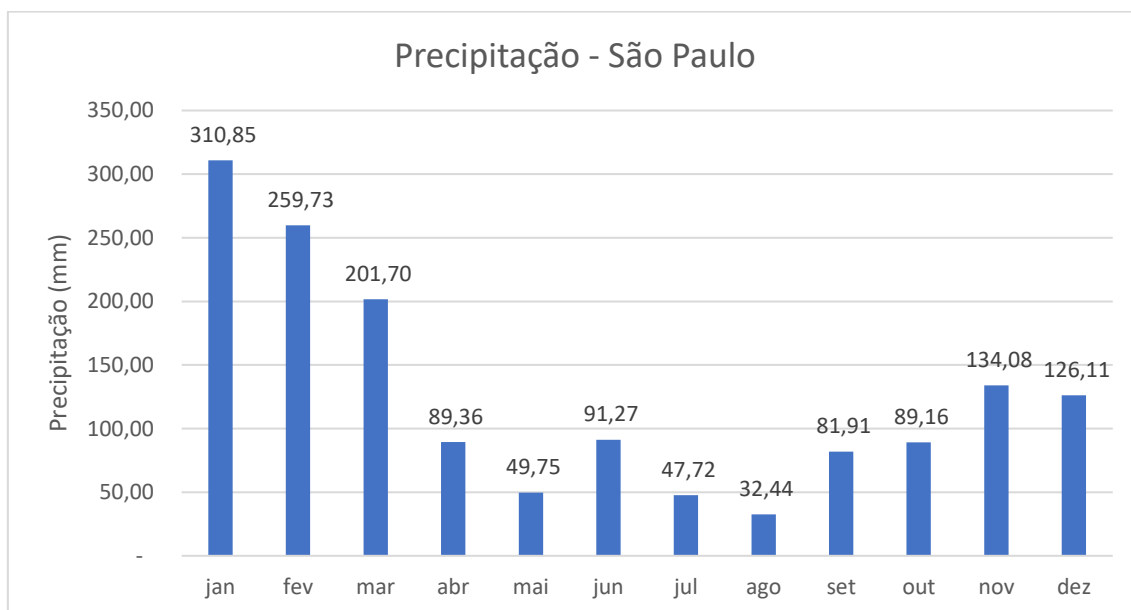


**Figura 3 – Dados de entrada para a simulação (Cecin, 2012): área de cobertura de cada estação (m<sup>2</sup>), consumo de água não potável (AAC – aproveitamento de água de chuva) (m<sup>3</sup>/dia), para cada estação estudada.**

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Nota-se, na Figura 3, que a área de cobertura da estação de Metrô variou entre 1280 m<sup>2</sup> (estação Anália Franco – L2) e 4577 m<sup>2</sup> (estação Pari – L19). O consumo diário de água não potável variou entre 17 m<sup>3</sup> (estação Vila Augusta – L19) e 42 m<sup>3</sup> (estação Pari – L19).



**Figura 4 – Precipitação média mensal (mm), considerando -se dados de 2010 a 2021, na cidade de São Paulo, obtido pelo INMET (2022).**

### **SIMULAÇÃO: EFICIÊNCIA E RESERVATÓRIO**

A simulação com a metodologia Cecin (2012), resultou em gráficos de eficiência x tamanho do reservatório. O menor volume de reservatório resultante (21 m<sup>3</sup>) ocorreu na Estação Anália Franco, que possui a menor área de cobertura (1280 m<sup>2</sup>). O maior ocorreu nas Estações Ipiranga e Pari (ambos com 73 m<sup>3</sup>), que possuem a maior área de cobertura (aproximadamente 4500 m<sup>2</sup>).

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Observa-se que um dos cálculos para o volume mínimo de reservatório é definido pela lei municipal 16402/2016, que indica:  $V = 16 \times \text{área de cobertura}$ . Por isso, quanto maior a área de cobertura, maior o volume do reservatório. Também, conceitualmente, quanto maior a área de cobertura, maior o volume de água não potável disponível para ser utilizado.

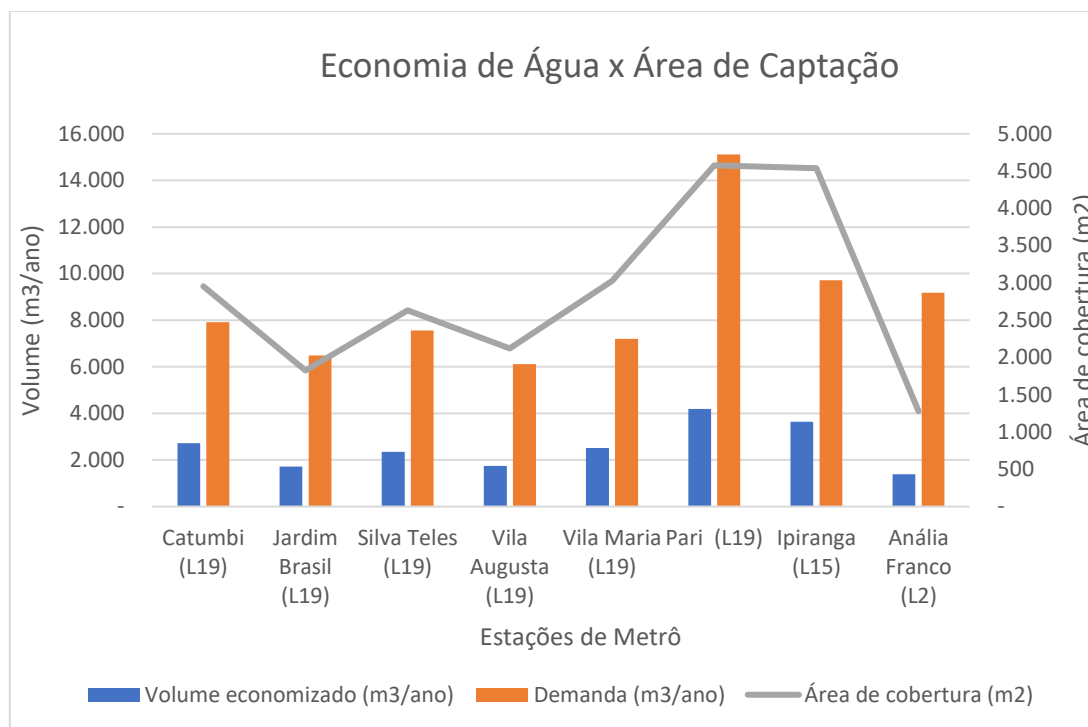
No Metrô de S. Paulo, adota-se como volume mínimo do reservatório de água não potável o maior entre: (1) Lei 16402/2016; (2) um dia de consumo; (3) melhor tempo de retorno do investimento. Abaixo, será demonstrado que a utilização do volume resultante da Lei 16402/2016 foi adequado para as estações apresentadas.

Os resultados obtidos na Figura 5 corroboram com a lógica de que quanto maior a área de cobertura, maior a disponibilidade de água de chuva e maior a economia de água.

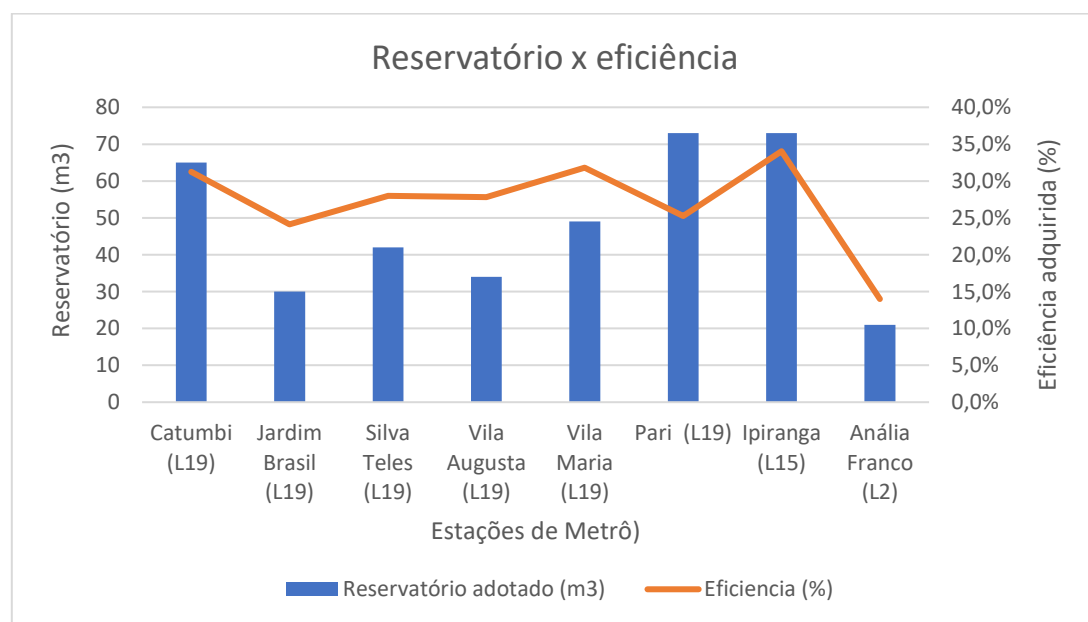
Na Figura 6, observa-se que a eficiência chegou a no máximo 34 % do consumo diário de água não potável (estação do monotrilho Ipiranga – L15). A menor eficiência ocorreu na estação subterrânea Anália Franco (L2), que possui menor área de cobertura (14% de eficiência).

Nota-se que o maior volume anual economizado estimado ocorreu em Pari – L19 (4197 m<sup>3</sup>/ano), que possui a maior disponibilidade de água, por ter a maior área de cobertura (4577 m<sup>2</sup>). O menor (1394 m<sup>3</sup>/ano), ocorreu em Anália Franco, que possui uma a menor disponibilidade de água, por ter a menor área de cobertura (1280 m<sup>2</sup>).





**Figura 5 – Volume de água economizado médio (m3/ano) e a demanda diária (m3/ano), em função da área de cobertura (m2), para cada estação, ao adotar o método de simulação proposto por Cecin (2012).**



**Figura 6 – Reservatórios adotados (m3) e a eficiência adquirida (%), para cada estação de Metrô, com o método de simulação proposto por Cecin (2012).**

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



## TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

De acordo com a Figura 7, observa-se que todas as Estações descritas neste artigo apresentaram viabilidade para a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva, sendo que, em apenas uma delas, o tempo de retorno do investimento foi maior do que 5 anos (6,46 anos, para a estação Anália Franco). A estação com menor pay back foi Pari (2,88 anos), que possui maior demanda e maior área de cobertura.

Observa-se que o benefício econômico-financeiro, gerado pela maior disponibilidade de água, é inversamente proporcional ao pay back (tempo de retorno do investimento), pois quanto maior a economia financeira, em menos tempo se paga o custo de implantação do sistema.

A economia financeira estimada ao se utilizar água de chuva como fonte não potável variou entre R\$ 24.500,00/ ano (estação Anália Franco – L2) e R\$ 73.500,00/ ano (estação Pari – L19), totalizando R\$ 355.000,00/ano, ao considerar todas as estações estudadas.

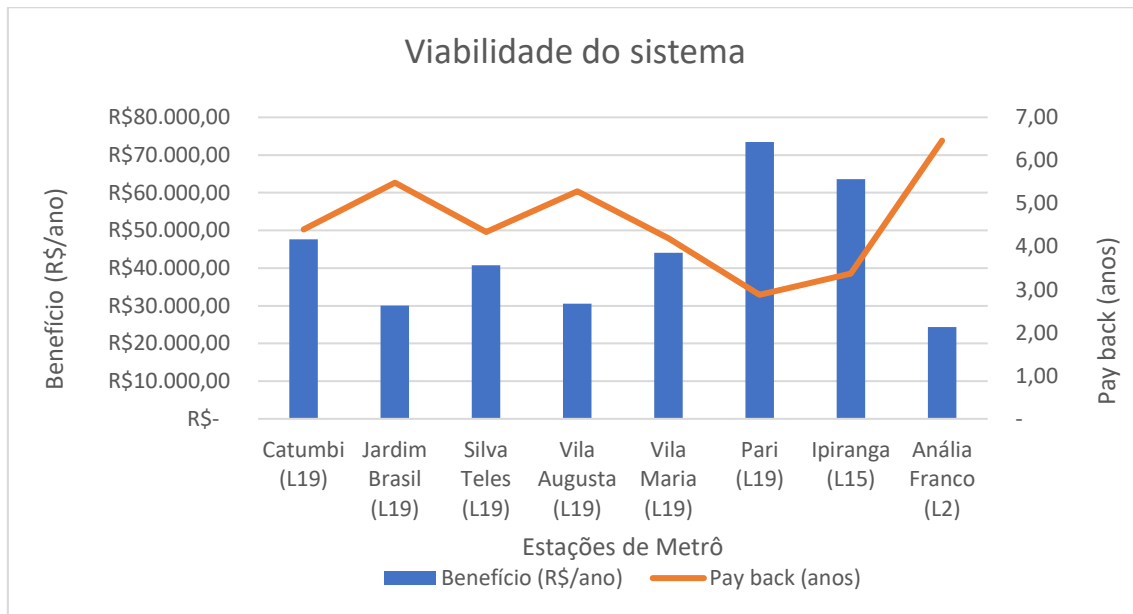
Estima-se economizar, no total, considerando-se todas as estações citadas, por volta de 20.300 m<sup>3</sup> de água/ano, que se tornará disponível à população.

Nota-se que o valor da tarifa influenciou na viabilidade do sistema, o que pôde ser observado ao se comparar os resultados do presente artigo, em que o pay back atingiu no máximo 6 anos, com o primeiro estudo apresentado por Hoepfner e Fedato (2022),

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



no qual o tempo de retorno do investimento ficou em torno de 10 anos, considerando-se a tarifa de R\$ 12,33 e demais custos vigentes em 2022.

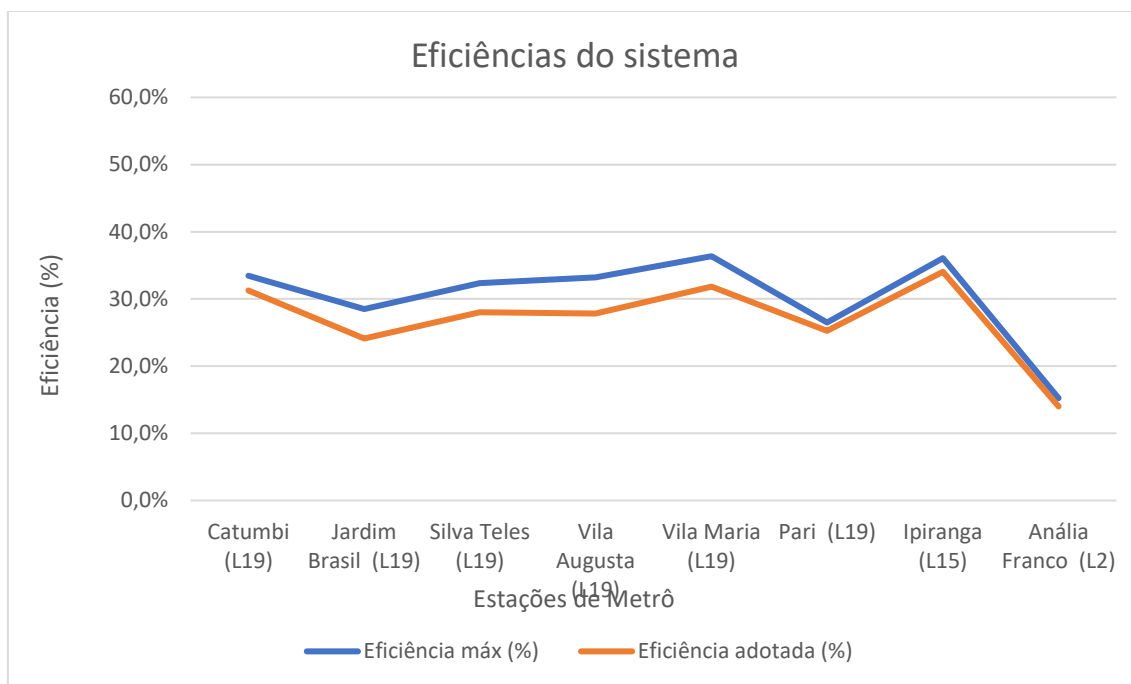


**Figura 7 – Benefício médio obtido (R\$/ano) e pay back (anos), para cada estação estudada.**

**COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA, VOLUME DO RESERVATÓRIO E BENEFÍCIO ECONÔMICO-FINANCEIRO**

Outro resultado interessante ocorreu ao se comparar as eficiências máximas possíveis para as simulações (com volumes entre 10 m<sup>3</sup> e 95 m<sup>3</sup>) e as eficiências adotadas, que foram as correspondentes aos volumes calculados pela Lei 16402/2016. Nota-se que as eficiências adotadas e máxima foram muito próximas (Figura 8).

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

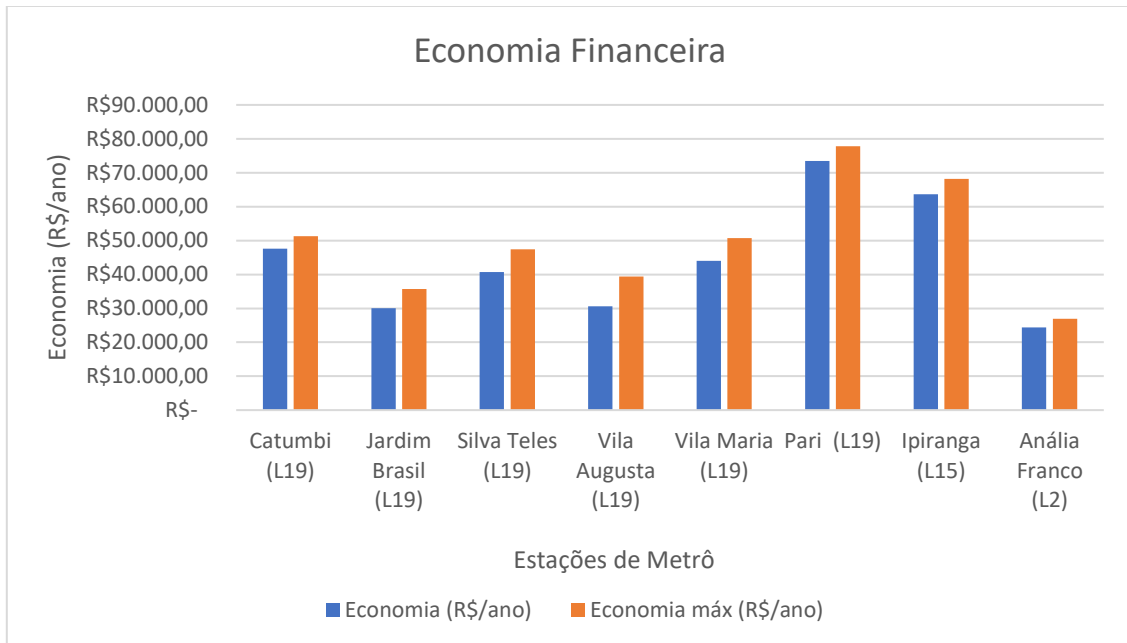


**Figura 8 – Eficiência (%) máxima possível, nas condições de contorno, e adotada, para o volume calculado para a Lei 16402/2016.**

Na Figura 9, consta a comparação do benefício financeiro (R\$/ano) adotado e o máximo. No total, obteve-se uma diferença de 10 % entre o benefício adotado e o máximo possível, com as condições de contorno descritas.

Ao analisar o tempo de retorno financeiro entre a eficiência máxima e a adotada (Figura 10), observa-se que a eficiência correspondente ao volume calculado pela Lei 16402/2016 gerou tempo de retorno do investimento menores quando comparados ao volume máximo resultante da simulação.

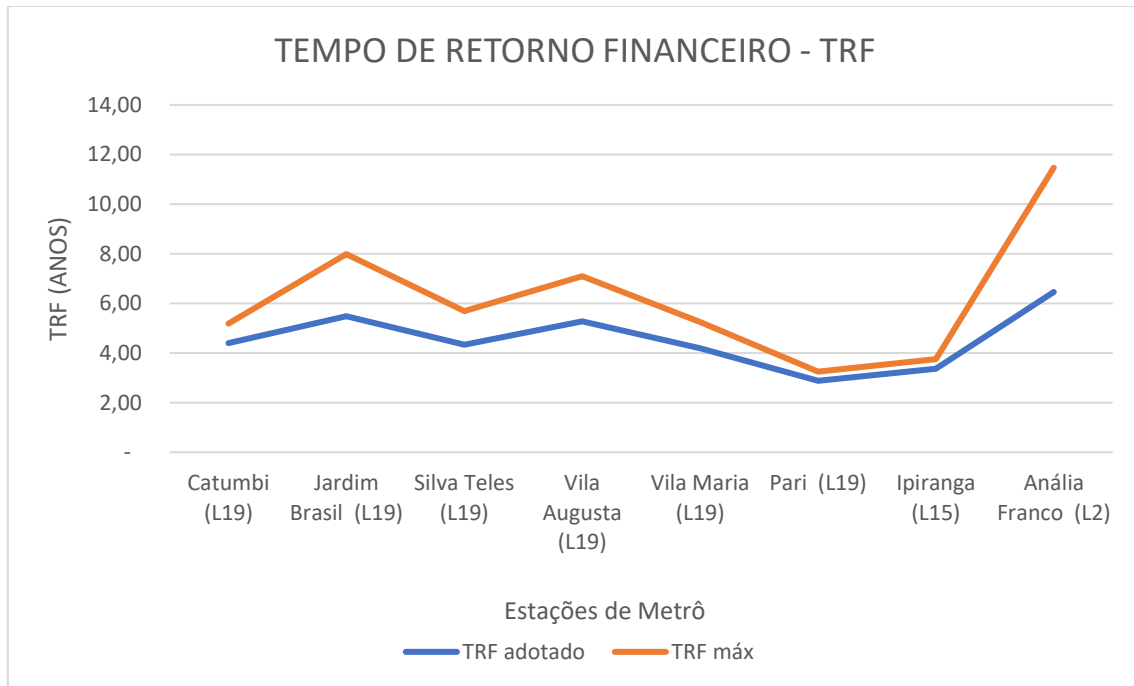
**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



**Figura 9 – Economia financeira (R\$/ano) máxima e adotada, para as condições de contorno.**

Diante destes resultados, nota-se que a adoção do critério de volume do reservatório proposto pela Lei 16402/2016 foi adequado, já que resultou em menores tempo de retorno do investimento.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



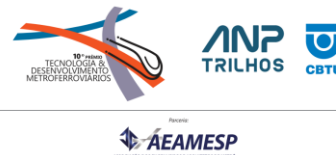
**Figura 10 – Tempo de retorno do investimento (anos), para a volume de reservatório máximo e adotado, para as condições de contorno.**

**EFICIÊNCIA ESTIMADA DE REDUÇÃO DE ÁGUA COM ADOÇÃO DE APARELHOS REDUTORES DE CONSUMO**

Os fatores de redução calculados (Tabela 1 – razão entre os consumos mais atuais e os primeiros) para os aparelhos sanitários, estiveram entre aproximadamente 25 % de economia e 84%, exceto para a bacia sanitária, que continuou com a mesma eficiência desde os primeiros projetos.

A Tabela 4 contém o volume estimado de economia de água ao adotar aproveitamento de água de chuva, por Cecin (2012), apresentado acima e utilizado como

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



complementação para o cálculo do volume total economizado. Os volumes estimados de economia estiveram entre aproximadamente 4.800 L/dia (Jardim Brasil e Vila Augusta – L19) e 11.700 L/dia (Pari – L19).

As estimativas de eficiência (%) de redução no consumo de água, do volume (m<sup>3</sup>/ano) de água economizado que ficará disponível à população e do benefício econômico (R\$/ano) que se obterá foram apresentados na Tabela 5. Observa-se que só foram apresentados os dados para as estações da linha 19, pois, para as demais estações, os resultados foram apresentados em Hoepfner e Fedato (2022). É importante destacar que na época, a tarifa era menor e a data base dos custos eram de 2022, o que impactou no pay back (anos) e no benefício econômico (R\$/ano).

**Tabela 4: Volume estimado de AAC (L/dia), obtido pelo método Cecin (2012), utilizado para estimar a porcentagem total de eficiência de redução de água.**

<b>Estações de Metrô</b>	<b>Volume estimado AAC (L/dia)*</b>
<b>Jardim Brasil (L19)</b>	<b>4.772,20</b>
<b>Catumbi (L19)</b>	<b>7.555,48</b>
<b>Vila Maria (L19)</b>	<b>6.991,31</b>
<b>Silva Teles (L19)</b>	<b>6.465,76</b>
<b>Vila Augusta (L19)</b>	<b>4.853,16</b>
<b>Pari (L19)</b>	<b>11.658,86</b>

\* Cecin (2012).

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



**Tabela 5: Estimativas de eficiência (%) de redução do consumo de água, volume economizado (m3/ano) e benefício econômico (R\$), obtido para cada estação da L19 e no total.**

<b>Estações de Metrô</b>	<b>Eficiência adotada para AAC</b>	<b>Eficiência aparelhos redutores de consumo</b>	<b>Eficiência total</b>	<b>Volume economizado (m3/ano)</b>	<b>Benefício financeiro (R\$)</b>
Jardim Brasil (L19)	24,1 %	10,8 %	34,9 %	2.828	49.489,73
Catumbi (L19)	31,3 %	16,0 %	47,3 %	3.830	67.024,35
Vila Maria (L19)	31,8 %	12,9 %	44,7 %	3.627	63.470,13
Silva Teles (L19)	28,0 %	14,4 %	42,4 %	3.438	60.159,14
Vila Augusta (L19)	27,8 %	7,9 %	35,7 %	2.897	50.690,67
Pari (L19)	25,3 %	19,5 %	44,8 %	7.032	123.059,21
			<b>Total</b>	<b>23.651</b>	<b>413.893,24</b>

Nota-se que a eficiência total, ao utilizar aparelhos redutores de consumo somados ao aproveitamento de água de chuva, esteve entre 35 % e 47,5 %, aproximadamente.



**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



## COMPOSIÇÃO DE RESERVATÓRIOS

Ao utilizar apenas reservatório enterrado, é necessário o uso de pressurizador para fornecer a pressão adequada aos pontos de consumo de água. Por outro lado, ao se utilizar reservatório enterrado somado ao superior, é necessário a adoção de bombas, para transferir a água do reservatório inferior para o superior e assim, seguir por gravidade aos pontos de consumo.

Ao comparar os custos de implantação entre reservatório inferior (Tabela 6) e inferior e superior (Tabelas 7 e 8), observa-se que o custo de implantação de reservatório enterrado, somado à instalação do pressurizador, é maior do que o custo de implantação de reservatório inferior e superior (de mesmo volume no total), somado ao custo de instalação da bomba. No exemplo, o custo de implantação do reservatório enterrado e pressurizador esteve entre 18% e 27% maior do que a composição com reservatório superior e inferior e bombas.

Ao se comparar a solução com pressurizador e reservatório inferior e a solução com bombas e reservatórios inferior e superior (Tabela 9), observa-se que o pressurizador, de mesma potência que a bomba, gastou mais de 3 vezes mais em energia do que as bombas, em função, principalmente, da necessidade de ficar em funcionamento por um período bem maior.

Assim, o custo de operação de pressurizador foi maior do que a de bombas, comparando-se os custos de energia elétrica, o que torna o uso de bombas mais sustentável e com melhor viabilidade.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



**Tabela 6: Custo de implantação de reservatório inferior, somado à utilização de pressurizadores.**

<b>Estações de Metrô</b>	<b>Volume total no res. Inf. (m3)</b>	<b>Custo est. pressurizador (R\$)</b>	<b>Custo res. (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
<b>Jardim Brasil (L19)</b>	<b>30</b>	<b>70.000,00</b>	<b>78.000,00</b>	<b>148.000,00</b>
<b>Catumbi (L19)</b>	<b>65</b>	<b>70.000,00</b>	<b>152.600,00</b>	<b>222.600,00</b>
<b>Vila Maria (L19)</b>	<b>49</b>	<b>70.000,00</b>	<b>120.500,00</b>	<b>190.500,00</b>
<b>Silva Teles (L19)</b>	<b>42</b>	<b>70.000,00</b>	<b>106.400,00</b>	<b>176.400,00</b>
<b>Vila Augusta (L19)</b>	<b>34</b>	<b>70.000,00</b>	<b>90.300,00</b>	<b>160.300,00</b>

**Tabela 7: Volumes adotados para os reservatórios inferior e superior, para o cálculo dos custos.**

<b>Estações de Metrô</b>	<b>Volume total no reservatório inferior (m3)<sup>(1)</sup></b>	<b>Volume total no reservatório superior (m3)<sup>(2)</sup></b>
<b>Jardim Brasil (L19)</b>	<b>20</b>	<b>10</b>
<b>Catumbi (L19)</b>	<b>43</b>	<b>22</b>
<b>Vila Maria (L19)</b>	<b>33</b>	<b>14</b>
<b>Silva Teles (L19)</b>	<b>28</b>	<b>14</b>
<b>Vila Augusta (L19)</b>	<b>23</b>	<b>11</b>

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



**Tabela 8: Custo de implantação do reservatório inferior e superior, somado à utilização de bombas.**

Estações de Metrô	Custo est. bombas (R\$)	Custo reservatório inf. (R\$)	Custo reservatório sup.(R\$)	Custo total (R\$)
Jardim Brasil (L19)	35.000,00	55.700,00	26.500,00	117.200,00
Catumbi (L19)	35.000,00	80.600,00	66.200,00	181.800,00
Vila Maria (L19)	35.000,00	88.300,00	33.600,00	156.900,00
Silva Teles (L19)	35.000,00	60.500,00	33.600,00	129.100,00
Vila Augusta (L19)	35.000,00	62.300,00	28.700,00	126.000,00

(1) 2/3 do volume total; (2) 1/3 do volume total.

**Tabela 9: Exemplo de equipamentos e as potências correspondentes, adotadas em projeto de estações de Metrô – SP.**

Estações de Metrô	Pressurizador (potência – CV)*	Custo energia elétrica (R\$/ano)	Bomba (potência - CV)**	Custo energia elétrica (R\$/ano)
Ipiranga (L15)	2 – água potável	4.273,00	3 – água não potável	1.899,00
São Joaquim (L1)	-		2 – água potável	1.266,00
São Joaquim (L1)	-		5 – água não potável	3.165,00

Fonte: Projetos do Metrô de S. Paulo. (\*) Tempo de funcionamento: 13,5 h; (\*\*) Tempo de funcionamento: 4 h.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



De acordo com os resultados apresentados, o custo de reservatório enterrado e superior, somados ao uso de bombas, foram menores, sendo, portanto, de melhor custo-benefício, além de mais sustentável.

## **CONCLUSÕES**

Pode-se concluir que:

- 1) As simulações realizadas indicam que o aproveitamento de água de chuva nas estações estudadas (sete subterrâneas e uma de monotrilho) é viável financeiramente, sendo que a economia financeira estimada, por estação, variou entre R\$ 24.500,00/ano (estação Anália Franco) e R\$ 73.500,00/ano (estação Pari).
- 2) A previsão de redução no consumo por estação, gerada pelo aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis, esteve entre 1.394 m<sup>3</sup>/ano (estação Anália Franco) e 4.197 m<sup>3</sup>/ano (estação Pari).
- 3) Os volumes de reservatórios adotados para aproveitamento de água de chuva estiveram entre 21 m<sup>3</sup> (Estação Anália Franco) e 73 m<sup>3</sup> (Estações Ipiranga e Pari).
- 4) Utilizar o volume do reservatório de aproveitamento de água de chuva, calculado pela Lei 16402/2016, mostrou-se adequado, sendo que a eficiência foi muito próxima da máxima possível, nas condições de contorno adotadas, e o tempo de retorno do investimento foi menor.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



- 5) Os estudos para implantação do aproveitamento de água de chuva nas estações estudadas apontam para uma economia financeira total estimada de R\$ 355.000,00/ano e volume total estimado em 20.300 m<sup>3</sup>/ano, que se tornará disponível à população.
- 6) O aproveitamento de água de chuva, somado ao uso de aparelhos redutores de consumo, considerando apenas as estações da Linha 19, resultaram em uma previsão de economia financeira total de R\$ 414.000,00/ano, e volume estimado total em 23.651 m<sup>3</sup>/ano, que se tornará disponível à população.
- 7) A eficiência de redução de consumo de água atingiu, no máximo, 34 % ao se utilizar água de chuva como fonte não potável e, no máximo, 47,5 % ao utilizar água de chuva somada a aparelhos redutores de consumo.
- 8) A tarifa referente à água fornecida pela concessionária e a atualização dos custos para data base de 2023 impactaram na viabilidade da implantação do sistema, ao se comparar com estudos anteriores. O tempo de retorno do investimento atingiu, no máximo, 6 anos.
- 9) As soluções que priorizam o abastecimento por gravidade apresentaram custo menor que o das soluções que priorizam minimizar a quantidade de reservatórios, sendo, portanto, de melhor custo-benefício, além de mais sustentáveis.
- 10) Outras estratégias sustentáveis apresentadas, já utilizadas em projetos de estações do Metrô de São Paulo, foram o sistema de gotejamento, para irrigação, e o telhado verde, nas coberturas, que favorecem a economia de água e a redução das enchentes nas cidades.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Para as novas estações, sugere-se utilizar o telhado verde como filtro da água de chuva para armazenamento como água não potável.

Para trabalhos futuros, sugere-se aprofundar no estudo econômico-financeiro, com cálculos de: taxa mínima de atratividade (TMA), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR).

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT NBR 15527: **Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2019. 14p.

ABNT NBR 16783: **Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2019. 18p.

BOTELHO, M. H, C; RIBEIRO JR, G. A. **Instalações hidráulicas prediais – usando tubos de PVC e PPR**. 3ª ed. São Paulo-SP: Blucher, 2010.

CECIN, J.A. **Aproveitamento de água de chuva em escola municipal de ensino básico – Estudo de Caso**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). São Paulo. 2012. 113p.

DR IRRIGAÇÃO. **Mangueira porosa para irrigação por sistema de gotejamento - 25 metros - 50 metros - 75 metros - 100 metros**. Espírito Santo. Disponível em: <https://www.doutorirrigacao.com.br/paisagismo-e-jardim/mangueira-porosa-para->

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



[irrigacao-para-sistemas-de-irrigacao-por-gotejamento-20-metros.>](#) Acesso em: 27 jul. 2023.

ENEL. **Tarifa de energia elétrica.** [https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Corporativo\\_e\\_Governo/tabela-de-tarifas.html](https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Corporativo_e_Governo/tabela-de-tarifas.html). Acesso em 14 out. 2022.

Lei n. 16.402, de 22 de março de 2016. **Disciplina o parcelamento, o uso e a ocupação do solo no Município de São Paulo**, de acordo com a Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014 - Plano Diretor Estratégico (PDE). Câmara Municipal de São Paulo. São Paulo. 2016. 89p.

LEITE, R. . K. .; LUZ, K. N. da .; PAULA, H. M. de .; REIS, R. P. A. . **Análise da viabilidade econômica do aproveitamento da água de chuva para diferentes cidades de regiões do Brasil.** *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1–12. DOI: 10.46421/entac.v19i1.2173. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2173>. Acesso em: 15 jul. 2023.

FRANCO, B.P.; LACERDA, F. C. R.; MIRANDA, D. C. **Aplicação de métodos sustentáveis na construção civil: um estudo sobre a captação e reaproveitamento de águas das chuvas através da cobertura verde.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade ALFAUNICPAC Teófilo Otoni, Minas Gerais. 2020. 20p.

HOEPPNER, A. F. S.; FEDATO, F. J. **Potencial de redução do consumo de água potável em estações de metrô de São Paulo.** Revista Brasil Engenharia, v. 6, p. 139-142. 2022.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Disponível em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/revista/edicoes-antiores/item/edicao-006>. Acesso em: 15 jul. 2023.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Brasília. Disponível em: <  
<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

MARTINS, B. E. dos S.; MENEZES, L. K. M.; FARTO, C. D.; ATHAYDE JUNIOR, G. B. **Analysis of the economic feasibility of using rainwater for vertical residential type buildings in the City of João Pessoa State of Paraíba**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 8, p. e49010817655, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17655. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17655>. Acesso em: 15 jul. 2023.

SANTOS, S.; SANT'ANA, D.; TOTUGUI, N.; SANTANA, L. **Aproveitamento de água pluvial no Aeroporto Internacional de Brasília: estimando o potencial de redução do consumo de água potável em irrigação e lavagem de pisos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 1., 2019. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019. DOI: 10.46421/sispred.v1i.1594. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sispred/article/view/1594>. Acesso em: 15 jul. 2023.

UNITED NATIONS. **The 17 Goals: Sustainable Development Goals**. Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development. 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals> Acesso em 18 jun. 2023.