



Estudo da viabilidade técnica e econômica do uso da água da chuva em edifício público na zona urbana de Recife – PE

Study of the technical and economic feasibility of using rainwater in a public building in the urban zone of Recife – PE

Estudio de viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de agua de lluvia en un edificio público en la zona urbana de Recife – PE

SOUZA, Amanda Marcelle Pinto de¹

CÂMARA, Isabelle Rodrigues de Mendonça²

GAVAZZA, Sávia³

LIMA, Júlio Cesar Azevedo Luz de⁴

¹ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), Departamento de Engenharia Civil (DECivil). Recife, PE, Brasil.
amandamarcellepinto@gmail.com
ORCID: 0009-0002-6724-6403

² Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC). Recife, PE, Brasil.
isabelle.camara@ufpe.br
ORCID: 0000-0002-1976-6132

³ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), Departamento de Engenharia Civil (DECivil). Recife, PE, Brasil.
savia@ufpe.br
ORCID: 0000-0002-4433-7735

⁴ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC). Recife, PE, Brasil.
julio.luz@ufpe.br
ORCID: 0009-0009-4930-6514

Recebido em 11/03/2023 Aceito em 08/09/2023



Resumo

O provimento de água para consumo humano tem se tornado cada dia mais um desafio em todo o mundo, uma vez que a pressão sobre os recursos hídricos está criando uma verdadeira corrida em busca de alternativas que supram tal necessidade. Assim, no presente trabalho realizou-se um estudo de viabilidade sobre a implantação de um sistema de água de chuva em uma edificação pública localizada em ambiente urbano na cidade do Recife – PE. Para a realização dos objetivos propostos, foi desenvolvido um sistema piloto de coleta e limpeza de águas pluviais, por meio de um dispositivo de descarte das primeiras águas, denominado DesviUFPE. Foi realizado um estudo de viabilidade técnica e econômica da expansão do sistema, de forma a suprir a demanda por água de toda a edificação. Do ponto de vista técnico, o sistema proposto se mostrou altamente exequível, com potencial de atender à 100% da demanda em metade dos meses do ano, e até 51% no período de escassez. Os ganhos financeiros também são expressivos, com uma economia de até 80% nos custos de tarifa anual de água, além de um tempo de retorno do investimento de quatro anos e meio.

Palavras-Chave: Águas Pluviais, Qualidade Da Água, Sustentabilidade, Potável, Inovação, Zona Urbana.

Abstract

The provision of water for human consumption has increasingly become a challenge worldwide, as the pressure on water resources creates a true race to find alternatives that can supply this demand. Therefore, the present work conducted a feasibility study on the implementation of a rainwater harvesting system in a public building located in an urban environment in the city of Recife, Pernambuco, Brazil. To achieve the proposed objectives, a pilot system for the collection and cleaning of rainwater was developed using a first flush device called DesviUFPE. A technical and economic feasibility study of expanding the system was conducted to meet the water demand of the entire building. From a technical standpoint, the proposed system proved to be highly feasible, with the potential to meet 100% of the demand for half of the months of the year and up to 51% during periods of scarcity. Financial gains are also significant, with savings of up to 80% in annual water fees, along with a four and a half years payback time.

Key-Words: Rainwater, Water quality, Sustainability, Potable, Innovation, Urban Zone

Resumen

La provisión de agua para el consumo humano se ha convertido cada vez más en un desafío a nivel mundial, ya que la presión sobre los recursos hídricos genera una verdadera carrera en busca de alternativas que puedan satisfacer esta demanda. Por lo tanto, el presente trabajo llevó a cabo un estudio de viabilidad sobre la implementación de un sistema de recolección de agua de lluvia en un edificio público ubicado en un entorno urbano en la ciudad de Recife, Pernambuco, Brasil. Para alcanzar los objetivos propuestos, se desarrolló un sistema piloto para la recolección y limpieza de agua de lluvia utilizando un dispositivo de descarga llamado DesviUFPE. Se llevó a cabo un estudio de viabilidad técnica y económica de la expansión del sistema para satisfacer la demanda de agua de todo el edificio. Desde un punto de vista técnico, el sistema propuesto demostró ser altamente viable, con el potencial de satisfacer el 100% de la demanda durante la mitad de los meses del año y hasta el 51% durante períodos de escasez. Los beneficios financieros también son significativos, con ahorros de hasta el 80% en las tarifas anuales de agua, junto con un tiempo de recuperación de la inversión de cuatro años y medio.

Palabras-clave: Agua de lluvia, Calidad del agua, Sostenibilidad, Potable, Innovación, Zona Urbana

1. Introdução

O crescimento urbano e populacional tem ocasionado uma escassez cada vez maior de diversos recursos naturais, impactando diretamente na qualidade de vida das pessoas. A água é notavelmente um dos recursos naturais de maior importância para a manutenção da vida na terra. No entanto, segundo a OMS/UNICEF (2019), cerca de um terço da população mundial não tem acesso à água tratada e 297 mil crianças morrem todos os anos por doenças associadas ao consumo de água não tratada, mostrando que a confiabilidade em relação à qualidade é de grande importância para a segurança em seu consumo. A depender do meio da captação e distribuição, é provável que a água proveniente de mananciais entre em contato com contaminantes que comprometem o potencial de seu uso, por meio do esgoto, poluentes agrícolas ou até resíduos químicos (DWIVEDI, 2017).

Diante desta situação, as questões relacionadas à sustentabilidade também têm tomado um local de destaque nos debates acerca de políticas de crescimento. No Brasil, políticas de incentivo à sustentabilidade vêm sendo debatidas e propostas, como o Projeto de Lei Nº 792/2007, que prevê a transferência de recursos às entidades que promovam a conservação dos serviços ambientais (BRASIL, 2014), bem como o Projeto de Lei Nº 252/2014, que propõe o incentivo ao uso de soluções sustentáveis em edificações (BRASIL, 2014).

Uma das questões que tem sido um desafio na promoção do crescimento sustentável é o uso consciente da água, uma vez que este recurso tem se tornado cada vez mais escasso e disputado entre as nações. Segundo a Organização das Nações Unidas (2015), há a previsão de um aumento da demanda sobre o seu consumo em cerca de 20% a 30% até o ano de 2050. Diante desta situação, o acesso à água de boa qualidade tem se tornado um desafio para os governantes e sido alvo frequente de estudos e debates acerca de meios de disponibilização com menores impactos ambientais e econômicos. A fim de reverter este cenário, a captação e uso de águas pluviais tem sido apontada como uma alternativa viável aos sistemas tradicionais de abastecimento.

O abastecimento por meio de águas pluviais tem sido uma solução cada vez mais utilizada. Em Singapura, os reservatórios destinados a armazenar água de chuva já eram empregados em cerca de metade de todo o território no ano de 2017 (CAMPISANO et al., 2017). Já na Polônia, o interesse sobre a qualidade da água de chuva é tamanho que esta é monitorada em escala nacional visando mapear a distribuição de poluentes introduzidos na água (ZDEB et al., 2020).

A água pluvial possui um alto grau de pureza antes da precipitação, porém sua passagem pela atmosfera faz com que esta carregue consigo os poluentes que nela estejam presentes. Além disso, a superfície de captação e o armazenamento comumente agregam impurezas que alteram a sua qualidade (THOMAS e KOUAME, 2019; ALVES et al., 2014). Resíduos como fezes de pássaro, folhas e outros presentes na superfície de captação, bem como poluição contida na atmosfera, podem levar a contaminação da água de chuva.

Um dos processos mais simples e econômicos de limpeza da água de chuva é o de descarte das primeiras águas, com o objetivo de remover as impurezas associadas a estas quando a precipitação lava a atmosfera e as superfícies de captação (ALVES et al., 2014). Um modelo de dispositivo de descarte, desenvolvido por pesquisadores da UFPE, denominado DesviUFPE, foi empregado como barreira sanitária utilizando o método de desvio das águas provenientes da primeira incidência de precipitação, com o uso de tubulação em PVC. O equipamento possui uma configuração que visa simplificar a instalação e a manutenção do sistema. A tecnologia foi amplamente utilizada em sistemas de aproveitamento de água de chuva em meio rural, apresentando resultados consistentes com a remoção total do índice de E. Coli nas amostras analisadas e redução de coliformes e melhora de parâmetros físico-químicos (ALVES et al., 2014; CARVALHO, 2018; LIMA, 2012).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica do abastecimento, exclusivamente por água de chuva, de uma edificação pública localizada em ambiente urbano na cidade do Recife-PE, utilizando um sistema de captação e tratamento de água da chuva cujo dispositivo de descarte das primeiras águas, DesviUFPE, é utilizado como barreira sanitária.

2. Metodologia

2.1. Área de Estudo

Com o objetivo de se obter dados o mais próximo possível de uma situação real, foi escolhido como ambiente de estudo uma edificação pública, utilizada como laboratório experimental. A área em questão é o Instituto Ageu Magalhães/Fiocruz – PE (IAM), um laboratório de pesquisa e análises clínicas localizado na Cidade Universitária, inserido no *campus* de Recife da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

O IAM opera com um sistema de reservatórios descentralizado, em que um reservatório central é abastecido pela concessionária responsável pelo abastecimento na região. A partir desse reservatório central, a água é distribuída para reservatórios menores localizados nos blocos do edifício, destinados ao consumo local.

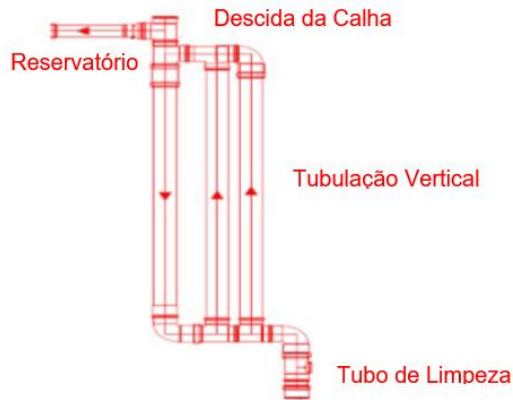
2.2. Sistema de aproveitamento das águas pluviais

Devido à alta demanda por água do Instituto, o abastecimento pela concessionária ocasionava custos onerosos à administração, havendo a necessidade de implementação de um sistema de abastecimento alternativo que possibilitasse mitigar as questões relacionadas às despesas e mantivesse a segurança quanto à operação e qualidade da água fornecida, o que culminou neste estudo.

O sistema piloto de purificação da água de chuva implantado utiliza o método de desvio das primeiras águas, por meio do DesviUFPE (Figura 1). O dispositivo, desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco, direciona o fluxo de água, já livre de impurezas, para o reservatório, após a água que lavou o telhado se acumular em seu interior, separando a água limpa da água com impurezas. O DesviUFPE instalado aproveitou a infraestrutura de drenagem de água de chuva já existente no prédio, visando o máximo de economia no projeto, tendo sido instalado em um dos reservatórios menores, para suprir o consumo de água de um único bloco. Assim, a calha existente serviu para direcionar a água para os tubos verticais do dispositivo.

O projeto piloto foi utilizado para os estudos de qualidade da água e serviu como base para as análises de viabilidade técnica e econômica, sendo uma referência com relação aos quantitativos e custos necessários à futura expansão do sistema para todo o prédio. Visando manter a capacidade de abastecimento atual do prédio sem sobrecarregar o sistema de recalque, foi implantado um reservatório complementar de água, para que as contribuições dos telhados sejam distribuídas de forma proporcional, de acordo com a sua área de captação, entre os reservatórios inferiores. Tal medida visou equilibrar os volumes de armazenamento.

Figura 1: Esquema básico de um dispositivo do DesviUFPE (à esquerda) para descarte das primeiras águas da chuva. As primeiras águas da chuva, carregadas de impurezas, preenchem a tubulação vertical com volume correspondente ao primeiro milímetro de água, enquanto a água excedente segue para o reservatório. À direita, uma fotografia do DesviUFPE instalado no IAM.



2.3. Análise da qualidade da água

No IAM se faz necessário um rigoroso controle sobre a qualidade da água de abastecimento e a purificação da água de chuva em meio urbano requer uma atenção especial. Assim, foram realizadas análises físico-químicas, bacteriológicas e de metais (Al, Pb, Fe, Zn, Mg e Mn), de acordo com o *Standart Methods for Examinations Of The Water and Wastewater* (APHA, 2005) (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros investigados e métodos de análise utilizados

Parâmetro	Método Analítico	Código Standard Methods	Parâmetro	Método Analítico	Código Standard Methods
Cor aparente	Nefelométrico	2120 C	Condutividade elétrica	Conduvímetero	2510 B
Turbidez	Nefelométrico	2123 B	Coliformes totais e E. Coli	Membrana filtrante	9223 B
Dureza total	Titulométrico	2340 C	Cobre	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B
Zinco	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B	Alumínio	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B
Cálcio	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B	Potássio	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B
Magnésio	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B	Manganês	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B
Chumbo	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B	Cádmio	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B

Sódio	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B	Molibênio	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B
Fósforo	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B	Enxofre	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B
Zinco	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B	Ferro	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B

Fonte: APHA (2005)

A água de chuva coletada no primeiro evento de precipitação de cada mês foi selecionada como representativa, visando garantir uma caracterização mais uniforme das amostras ao longo dos ciclos chuvosos. As coletas foram efetuadas em duplicata, mensalmente, ao longo de um período de um ano. Subsequentemente, foram conduzidas análises tanto na água de chuva quanto na água fornecida pelo sistema de abastecimento público, com o objetivo de realizar uma comparação da qualidade hídrica entre ambas as fontes.

2.4. Análise de ganho técnico-econômico

2.4.1. Viabilidade Técnica Preliminar

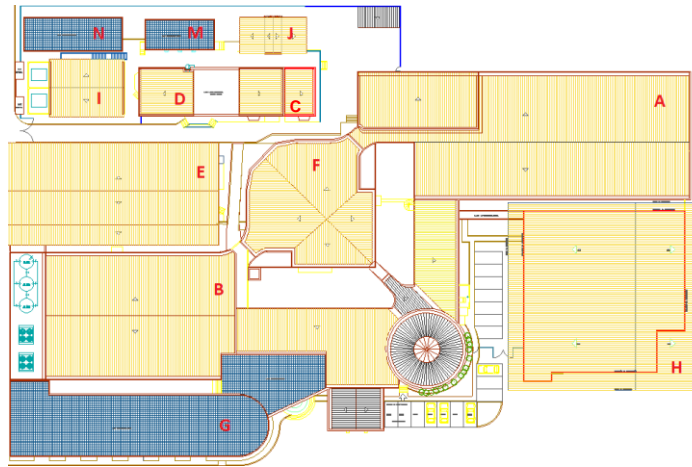
2.4.1.1. Potencial de Captação

Para entender o regime pluviométrico da região, estudou-se o seu histórico de precipitação. A série histórica de chuva dos últimos trinta anos foi levantada, usando dados fornecidos pelo INIMET (2021), com informações do pluviômetro mais próximo da localização do edifício, no bairro do Curado em Recife – PE. Assim, foi obtida a média de chuva em cada um dos meses do ano ($P_{méd}$), pelo cálculo da média aritmética das precipitações de cada mês, nos 30 anos de série. Essa informação permite identificar os meses em que há maiores e menores índices pluviométricos.

A potencialidade de captação da edificação também foi estudada. Para isso, a área de coberta dos blocos do IAM foi analisada (Figura 2), sendo destacado em amarelo os telhados com inclinação e em azul as lajes impermeabilizadas.

O potencial de coleta de água de chuva (V_{cap}) foi calculado como o produto entre o coeficiente de Runoff (C), que considera a relação entre o volume precipitado em uma área e o que de fato escoou sobre a superfície de captação, a área da coberta (A_{cap}), em m^2 , e a taxa de precipitação ($P_{méd}$) em mm. O coeficiente de Runoff pode variar entre 0,7 e 0,95 nos tipos de telhados estudados (RIBEIRO e MARINOSKI, 2020), sendo considerado o valor de 0,9 no presente trabalho, devido às características de inclinação de impermeabilidade.

Figura 2: Vista superior da área de coberta dos blocos do IAM. Em amarelo os telhados com inclinação e em azul as lajes impermeabilizadas.



Fonte: Plantas baixas da construção do edifício, fornecidas pela administração do prédio do IAM

2.4.1.2. Potencial de Captação

Para análise da demanda hídrica da edificação, foram levantados os consumos de água mensais do prédio, através do volume registrado nas tarifas mensais da concessionária de abastecimento de janeiro de 2019 a setembro de 2021. O consumo de água mensal médio ($C_{méd}$) é a média aritmética dos consumos mensais. Cabe ressaltar que a partir do mês de março de 2020 houve o início do período de pandemia, o que influenciou diretamente na demanda hídrica da edificação, a depender do seu uso durante este tempo.

2.4.1.3. Balanço Hídrico

Com o potencial mensal de captação de água de chuva e o consumo esperado para a edificação, é possível identificar se o sistema de abastecimento proposto tem a capacidade de suprir a demanda hídrica do prédio, bem como se a capacidade de reserva atual da edificação é suficiente. O cálculo do balanço hídrico mensal (B) é a subtração entre a demanda da edificação ($C_{méd}$) e volume de captação (V_{cap}). Quando negativo, indica que houve mais água captada que consumida, suprimindo assim totalmente o prédio. Se positivo, a demanda não foi totalmente suprida e há a necessidade de complementação desta com a água do sistema de abastecimento público.

2.4.2. Viabilidade econômica preliminar

2.4.2.1. Implementação do sistema de captação

A execução do projeto deve ser realizada por funcionários da própria instituição, assim, esta parcela não foi considerada no investimento do projeto. Os quantitativos e o orçamento preliminar de implantação do DesviUFPE foram calculados para a área de captação do Bloco D, de 45m². Para se obter custos da implantação do projeto em todo o prédio do IAM (I_{total}), foi realizado o cálculo do quantitativo e orçamento ponderado para a área total de captação do prédio, sendo este o produto do investimento calculado para o projeto piloto no Bloco D (I_{blocoD}), em reais e a proporção entre a área total de captação do IAM (A_{cap}), em m², e a área de captação utilizada no bloco D ($A_{blocoD} = 45 \text{ m}^2$).

De forma a quantificar os investimentos necessários foi utilizada a tabela SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021), tendo como mês de referência outubro de 2021 e considerando os Custos de Composições de Insumos. Além do investimento realizado no dispositivo de desvio, deve-se viabilizar

um sistema de distribuição da água captada que realize o transporte do bloco correspondente até o reservatório final.

2.4.2.2. Sistema de Reservação

Foram considerados os Custos de Composições Sintéticos, da Tabela SINAPI. Além do investimento em mão-de-obra e materiais, são necessários equipamentos para automatizar o sistema de captação e armazenamento de água da chuva. Como as quantidades e especificidade necessitam de um detalhamento maior dos dispositivos utilizados no projeto, foi estimado um valor de aquisição como sendo 15% do valor total do orçado. Como os itens foram orçados para a execução de serviços em uma edificação pública, foi considerado um Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) de 30% sobre o valor total do projeto.

2.4.2.3. Ganhos Econômicos

Um dos principais objetivos do sistema a ser implantado é a redução dos custos empregados na tarifa de abastecimento de água da rede pública. Para mensurar esse efeito, foram obtidas as últimas tarifas pagas de janeiro de 2019 a outubro de 2021, totalizando 34, e foi calculada a média destas nos meses do ano, que serviu como referência para o gasto mensal em abastecimento antes da instalação do sistema, além do gasto anual, sendo este a soma das tarifas mensais.

O gasto em tarifas de abastecimento do prédio serviu como parâmetro a ser comparado com o investimento a ser realizado no projeto, obtido do orçamento preliminar. Para realizar tal comparação, foi calculado o Prazo de Retorno dos Investimentos (PRI) ou Payback, a fim de expressar em quanto tempo o sistema oferecerá um retorno ao capital aplicado em sua implantação, que consiste na divisão do investimento total (I_{total}) pelo lucro líquido (L_{liq}).

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise da Qualidade da Água

3.1.1. Parâmetros Físico-Químicos

3.1.1.1. Cor e Turbidez

Os parâmetros de cor e turbidez são influenciados pela quantidade de partículas dissolvidas e suspensas na água e alteram a sua qualidade. O Valor Máximo Permitido (VMP) para cor é de 15 PtCo (APHA, 2005) e o de turbidez, 5 UTM (BRASIL, 2017). Todos os resultados das amostras de água de chuva se encontraram abaixo do VMP para cor (Figura 3) e os resultados encontrados se assemelham ao de estudos anteriores (ZDEB et al., 2020). O mês de novembro de 2020 apresentou resultados anormais no parâmetro de turbidez (Figura 4) para a água de chuva. O local possui uma quantidade considerável de árvores nas proximidades do telhado, que foram podadas nesse período, o que influenciou na qualidade da água da chuva.

Figura 3: Dados de cor dos meses de fevereiro de 2020 a janeiro de 2021 do reservatório de água da chuva do IAM (■) e da concessionária de abastecimento (■).

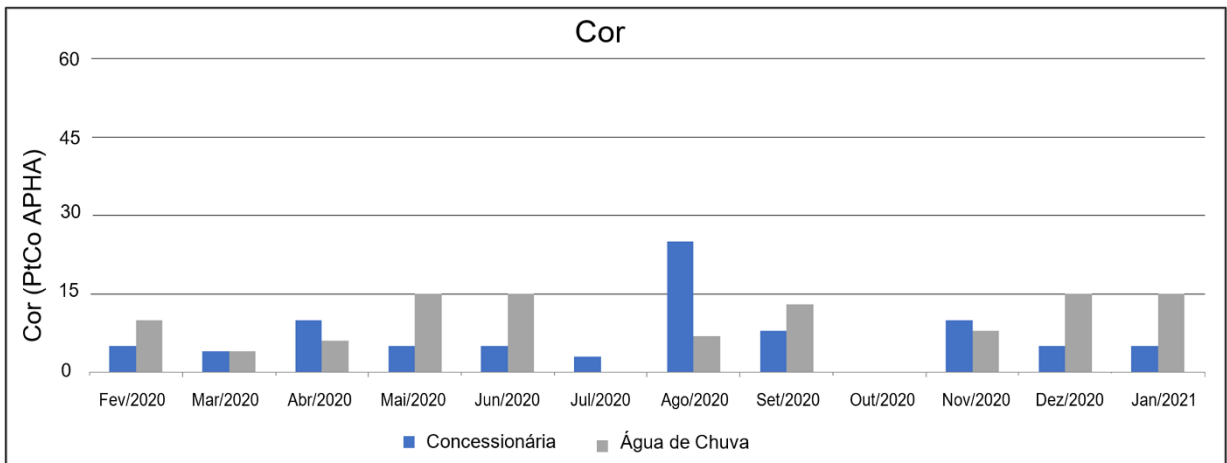
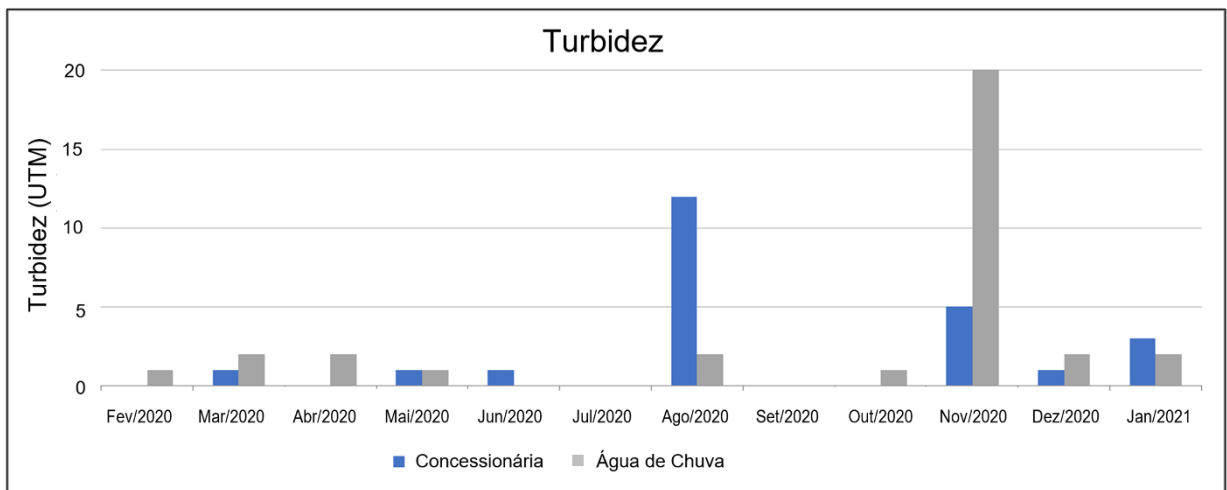


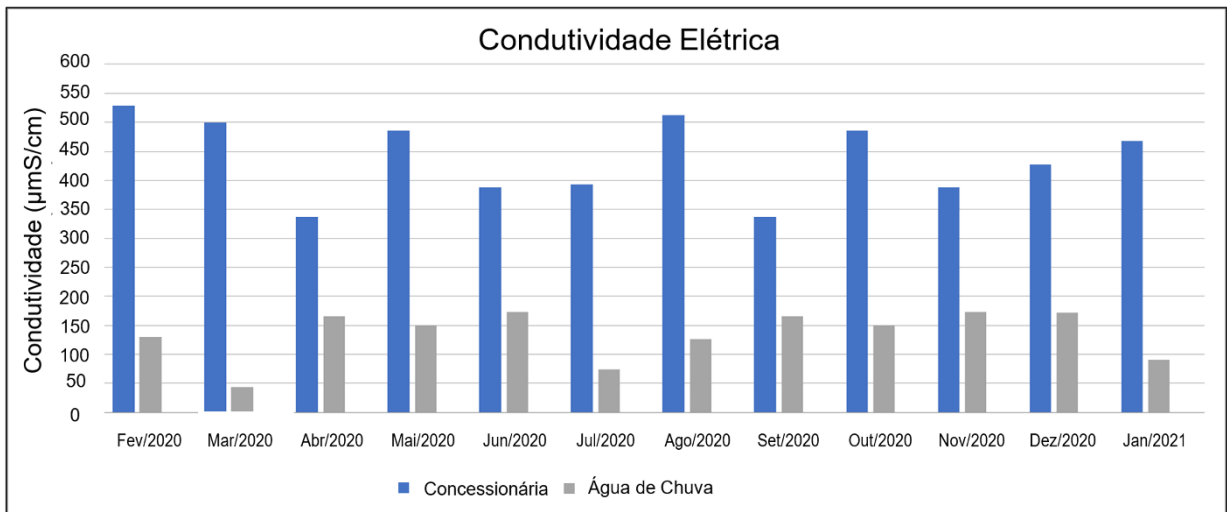
Figura 4: Dados de turbidez dos meses de fevereiro de 2020 a janeiro de 2021 do reservatório de água da chuva do IAM (■) e da concessionária de abastecimento (■).



3.1.1.2. Condutividade

O parâmetro de condutividade não possui VMP estabelecido, mas é possível observar que este se manteve estável, em torno de $150\mu\text{mS/cm}$ na água de chuva enquanto valores 3 vezes maiores foram encontrados na água de abastecimento público (Figura 5). A condutividade está diretamente relacionada com a quantidade de sais dissolvidos e a água do sistema público contém determinados sais em quantidades elevadas, o que pode alterar as suas características organolépticas.

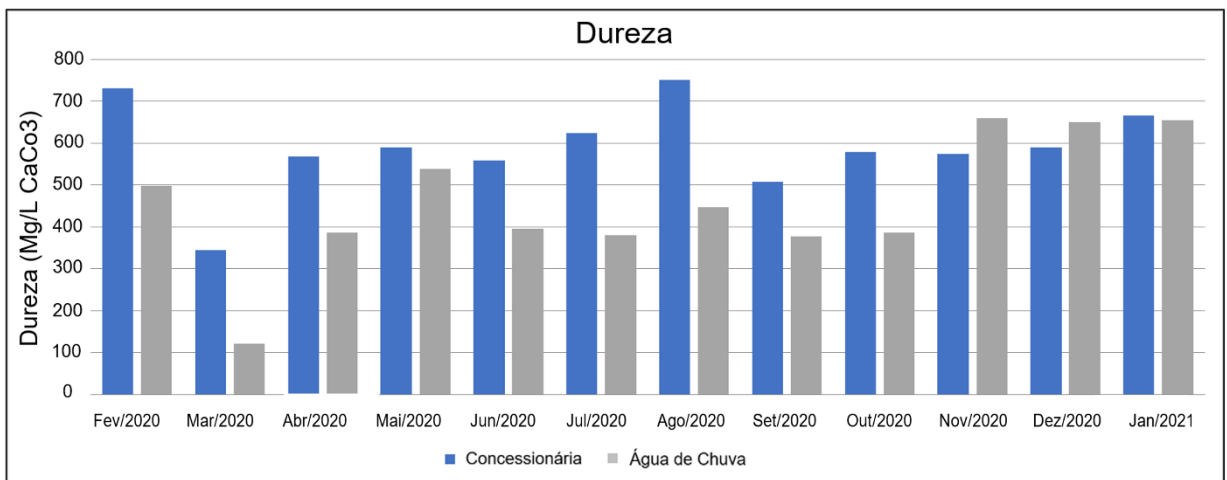
Figura 5: Dados de condutividade dos meses de fevereiro de 2020 a janeiro de 2021 do reservatório de água da chuva do IAM (■) e da concessionária de abastecimento (■).



3.1.1.3. Dureza

No caso da dureza, o VMP indicado é 500 mg de CaCO_3 / L (BRASIL, 2017). Esta indica os níveis de sais de Cálcio e Magnésio na água.

Figura 6: Dados de dureza dos meses de fevereiro de 2020 a janeiro de 2021 do reservatório de água da chuva do IAM (■) e da concessionária de abastecimento (■).



É possível observar que em todos os seus resultados, no reservatório da concessionária de abastecimento estão acima do máximo indicado. Já na água de chuva se mantém dentro do limite, exceto nos meses de novembro, dezembro e janeiro. Neste período de menor incidência de chuvas houve manutenção na cobertura, com limpeza utilizando água do sistema público. Isso pode ter contribuído para os resultados mais altos detectados nas águas de chuva nesses meses. Estes resultados indicam uma melhor qualidade da água de chuva, nos meses em que houve a devida manutenção do desvio e chuva em nível satisfatório.

É necessário investigar a origem da dureza na água de chuva, uma vez que estudos reportam concentrações inferiores às apresentadas neste trabalho (JAMAL et al., 2020; OLAOYE e OLANIYAN, 2012). Este fato também pode ter sido ocasionado pela proximidade do local de estudo com o litoral, fazendo com que esta incorpore o cálcio e magnésio presentes na água do mar.

3.1.2. Análise dos Metais

Os resultados da Tabela 2 dos metais analisados são referentes às concentrações máximas obtidas de cada elemento nos meses de estudo. O VMP referente a cada elemento (BRASIL, 2017), quando estabelecido, está sinalizado entre parênteses ao lado do seu nome (em mg/L).

Tabela 2: Resultados das análises de metais fevereiro de 2020 a janeiro de 2021 do reservatório de água da chuva da FIOCRUZ e da concessionária de abastecimento.

	Al (0,2 mg/L)	Ca	Cu (2 mg/L)	K	Mg	Mn (0,1 mg/L)
Sistema Público	0,0525	11,772	0,004	6,184	7,606	0,011
	Mo	Na (200 mg/L)	P	S	Zn (5 mg/L)	Fe
	0,002	36,3375	0,002	15,733	0,004	0,0385
Chuva	Al (0,2 mg/L)	Ca	Cu (2 mg/L)	K	Mg	Mn (0,1 mg/L)
	0,053	13,589	0,003	2,33	3,0535	0,002
	Mo	Na (200 mg/L)	P	S	Zn (5 mg/L)	Fe
	0,002	12,5425	NE	4,664	0,007	ND

Todas as amostras estiveram com concentrações de metais abaixo do VMP, porém, a água de chuva se mantém em níveis inferiores às do sistema público de abastecimento. A presença de íons de metais na água reagente pode afetar diretamente reações laboratoriais, agindo como catalisadores ou inibidores (MENDES et al., 2011; NABULSI e AL-ABBADI, 2014).

3.1.3. Parâmetros Bacteriológicos

O Ministério da Saúde determina que não deve haver detecção de Coliformes e E. Coli na água potável (BRASIL, 2017). Estudos prévios sobre o DesviUFPE já concluíram que este possui uma eficiência próxima de 100% na remoção de E. Coli da água de chuva, bem como uma redução nos níveis de coliformes (CARVALHO et al., 2018). Tal resultado foi mantido neste trabalho, com a ausência de E. Coli na água analisada. Na Tabela 3 são apresentados os resultados de coliformes.

Tabela 1: Resultados das análises bacteriológicas de Coliformes dos meses fevereiro de 2020 a janeiro de 2021 do reservatório de água da chuva da FIOCRUZ e da concessionária de abastecimento.

	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan
CHUVA	>100	>100	38	>100	>100	>100	>100	73	71	>100	>100	>100
concessionária de abastecimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Os resultados referentes à concentração de coliformes ainda se encontram fora do padrão estabelecido na água de chuva, fato que pode ser sanado com um simples tratamento de desinfecção, utilizando cloração, por exemplo.

3.2. Ganho Técnico e Econômico

3.2.1. Viabilidade Técnica Preliminar

3.2.2. Demanda Hídrica

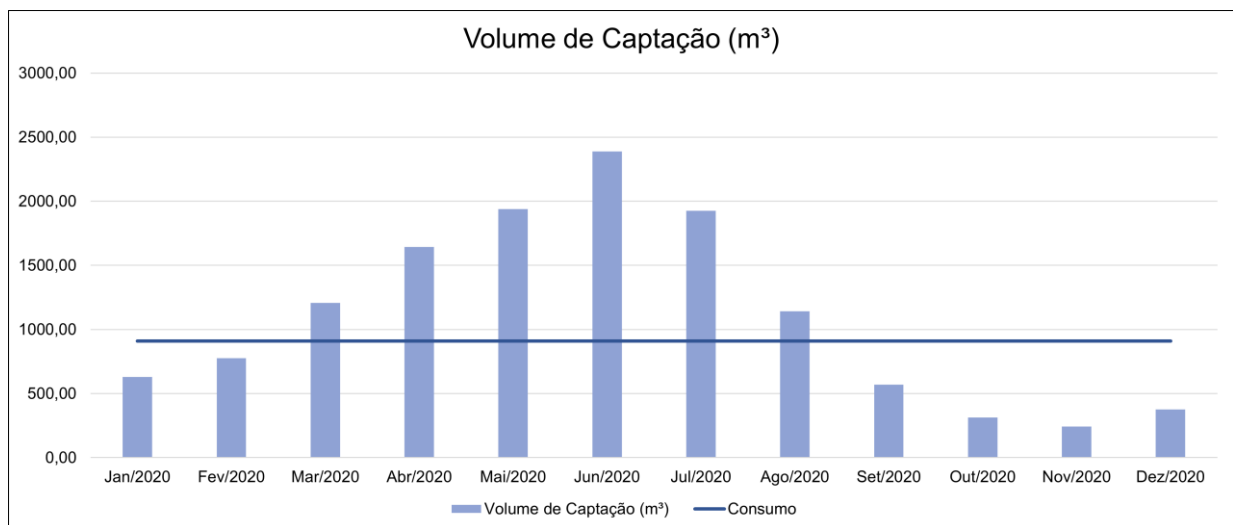
Através das tarifas mensais de água, identificou-se que o consumo mensal da edificação apresenta uma média de 909,74 m³ com demanda máxima no mês de outubro, atingindo o valor de 1096,67 m³. A demanda anual chega a 10.928,83 m³.

3.2.3. Potencial de Captação

Para o estudo do regime pluviométrico da região, foram obtidos os dados de precipitação mensal de janeiro de 1991 a janeiro de 2021. A média mensal de chuva foi calculada e o mês com maior precipitação média foi o mês de julho (390,5 mm) e o de menor, novembro (39,6 mm). A área de cobertura de cada bloco foi calculada, chegando a uma área potencial de captação total de 6.793,95 m².

O volume médio de captação do prédio tem um valor médio de 1096,03 m³, com um potencial anual de acúmulo de 13.152,35 m³ de água de chuva. Realizando um comparativo entre este e o consumo médio mensal (Figura 7), é possível perceber que nos meses de março a agosto há a um superávit hídrico, em contraste aos meses de setembro a fevereiro.

Figura 7: Volume médio de captação do edifício do IAM versus consumo mensal da edificação.



3.2.4. Balanço Hídrico

O edifício é capaz de operar durante seis meses do ano de forma totalmente autônoma (Figura 8), porém há à necessidade de complementação do abastecimento para suprir a sua demanda nos meses restantes. A situação crítica ocorre no mês de novembro, em que há uma demanda de 692,18 m³, com o suprimento de apenas 25,93% do volume de água necessário, proveniente da chuva.

Com a ampliação do sistema atual de armazenamento, é possível obter uma capacidade de reservação de 615 m³. De acordo com o volume potencial de armazenamento, foi estudada a capacidade de suprimento de água ao longo dos meses, de acordo com a demanda da edificação. Neste caso, o sistema chega a suprir 58% do consumo anual (Tabela 4).

Figura 8: Balanço hídrico mensal calculado para o edifício do IAM

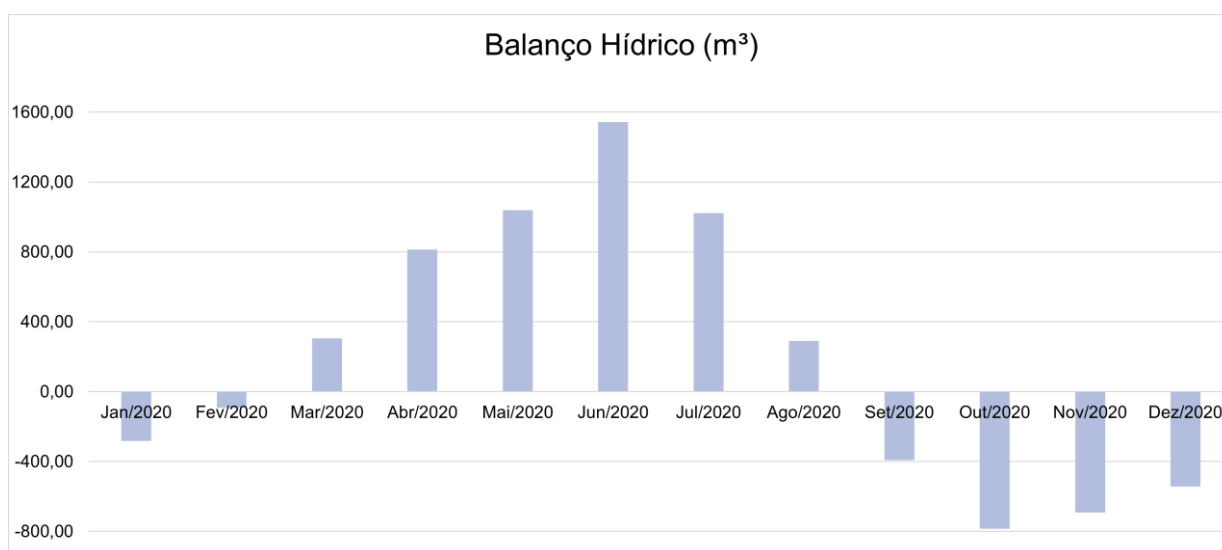


Tabela 2: Tabela resumo dos meses com balanço positivo na possibilidade de suprimento de água ao longo dos meses

Mês	Demanda (m³)	Volume de Captação (m³)	Volume Armazenado (m³)	Demanda Mensal (m³)	% Suprimento Hídrico
Jan	912,33	630,78	615,5	912,33	67,46%
Fev	869,00	776,24	615,5	869,00	70,83%
Mar	902,00	1205,97	615,5	902,00	68,24%
Abr	831,67	1644,20	615,5	831,67	74,01%
Mai	900,33	1938,99	615,5	900,33	68,36%
Jun	844,67	2387,67	615,5	844,67	72,87%
Jul	902,67	1924,62	615,5	902,67	68,19%
Ago	851,33	1141,77	615,5	851,33	72,30%
Set	962,67	570,30	570,30	962,67	59,24%
Out	1096,67	312,33	312,33	1096,67	28,48%
Nov	934,50	242,32	242,32	934,50	25,93%
Dez	921,00	377,15	377,15	921,00	40,95%
Total			6426,10	10928,83	58,80%

Além do cenário anterior, foi estudada a possibilidade de haver um suprimento total de água nos períodos de superávit hídrico, sendo necessário apenas o complemento com água do sistema público nos meses em que há escassez. Assim, tal comportamento foi destrinchado na Tabela 5.

Tabela 3: Tabela resumo dos meses com balanço positivo na possibilidade de suprimento total de água nos períodos de superávit hídrico.

Mês	Demanda (m³)	Balanço (m³)	Porcentagem de Suprimento
Jan.	912,33	281,56	69,14%
Fev.	869,00	92,76	89,33%
Set.	962,67	392,36	59,24%
Out.	1096,67	784,34	28,48%
Nov.	934,50	692,18	25,93%
Dez.	921,00	543,85	40,95%
Total	5696,17	2787,04	51,07%

Assim, apesar de não suprir a demanda total neste período, o sistema ainda é capaz de dispor de mais da metade do volume necessário ao consumo (51,07%). Considerando também os meses em que há o abastecimento unicamente por água de chuva, o projeto tem um potencial de suprir quase 75% de todo o consumo do prédio no ano, conferindo uma seguridade hídrica considerável e grandes impactos na autossuficiência da edificação.

3.2.5. Viabilidade Técnica Preliminar

3.2.5.1. Sistema de Reservação

O reservatório complementar terá 200m³ de capacidade de reservação, visando manter o volume de armazenamento atual da edificação, com dimensões de 10m x 8m x 2,5 m. É necessário ainda o estudo do investimento a ser realizado em sua construção. As dimensões consideradas foram utilizadas para a obtenção dos quantitativos. O investimento a ser realizado no projeto totaliza um valor de R\$ 480.950,94 (Tabela 6).

Tabela 6: Custo total de implantação do sistema

Serviço	Investimento (R\$)
Implantação do DesviUFPE	150.456,70
Construção do reservatório	133.804,05
Implantação do sistema de recalque	6.318,78
Assentamento da tubulação de distribuição	32.121,03
Total	322.700,56
Total com Custo de Automação	371.105,64
Total com BDI	482.437,34

3.2.5.2. Ganhos Econômicos

O custo mensal da tarifa de água chega a seu máximo anual no mês de abril, chegando a R\$ 14.108,83. Com o emprego do sistema de água de chuva, em seis dos meses do ano não haverá a necessidade de concretização dos gatos, visto que o prédio será totalmente autônomo. No restante do período ainda haverá um ganho financeiro, uma vez que as contas de energia serão significativamente reduzidas com o atendimento parcial da demanda do prédio. A fim de quantificar estes ganhos, foi levantada a relação entre a porcentagem de suprimento de água de chuva mensal e o valor economizado na tarifa correspondente no cenário em que toda a demanda é suprida em meses de abundância hídrica (Tabela 7).

Tabela 7: Economia obtida com o suprimento total em períodos de superávit hídrico

Mês	Suprimento Hídrico	Tarifa mensal (R\$)	Gasto Final (R\$)	Economia (R\$)
Jan	69,14%	7.803,99	2.408,40	5.395,60
Fev	89,33%	12.056,42	1.286,91	10.769,52
Mar	100,00%	12.019,07	0,00	12.019,07
Abr	100,00%	14.108,83	0,00	14.108,83
Mai	100,00%	13.793,28	0,00	13.793,28
Jun	100,00%	13.095,32	0,00	13.095,32
Jul	100,00%	12.419,58	0,00	12.419,58
Ago	100,00%	11.697,37	0,00	11.697,37

Set	59,24%	11.142,11	4.541,28	6.600,83
Out	28,48%	10.362,32	7.411,12	2.951,20
Nov	25,93%	9.439,38	6.991,71	2.447,67
Dez	40,95%	8.943,26	5.281,03	3.662,23
Total		R\$ 136.880,93	27.920,45	108.960,48

Dessa forma, o sistema pode conferir uma economia de até R\$ 108.960,48 por ano à administração do prédio, que corresponde a quase 80% do que se paga atualmente. Valor este que pode ser revertido em outras demandas da edificação. Comparando o capital inicial investido no projeto e a economia anual obtida, chegamos a um Período de Retorno do Investimento (PRI) de 53 a 68 meses. Assim, no período de até cinco anos e oito meses a administração da edificação terá o retorno total do valor empregado. Dado o porte do sistema a ser implantado e os ganhos promovidos por este, o PRI calculado pode ser considerado altamente viável, o que expressa o quão vantajoso é o emprego de recursos no projeto.

4. Conclusão

As análises de qualidade da água de chuva durante um ano de estudo permitem concluir que esta atende aos padrões de potabilidade, sendo superior em dados momentos. A exceção se deu no parâmetro de coliformes totais, o que pode ser mitigado com uma simples desinfecção. Tal evidência atesta o potencial do uso de águas pluviais enquanto meio de abastecimento primário, complementando os sistemas tradicionais de suprimento hídrico.

A análise preliminar de viabilidade técnica demonstrou que o prédio do Instituto Ageu Magalhães tem forte potencial de ser abastecido com água de chuva, já que sua capacidade de área de captação permite suprir 100% da demanda de água do edifício em metade dos meses do ano, e ainda assegurando suprir 51% do período de escassez. Assim, é possível promover uma maior autonomia hídrica do prédio e diminuir a dependência dos meios tradicionais de abastecimento, aumentando a segurança sobre a regularidade do suprimento da demanda do IAM.

Os resultados da análise preliminar de viabilidade econômica revelam o forte potencial de ganhos com o sistema de água de chuva, do ponto de vista de custo-benefício, frente aos meios tradicionais de abastecimento. Pode-se economizar até 80% dos custos atuais em tarifas de água. Além disso, em um período de cinco anos e oito meses é possível obter um retorno frente ao investimento empregado. Tais indicadores traduzem também, em termos financeiros, os benefícios promovidos pelo emprego do sistema, possibilitando uma melhoria na gestão dos ativos empregados no prédio, ponto de extrema importância na administração de edifícios públicos.

Assim, o uso da água de chuva enquanto meio de abastecimento de uma edificação pública se mostrou uma alternativa viável, configurando ganhos expressivos, o que a torna atrativa aos gestores e tomadores de decisão, além de contribuir diretamente para a seguridade hídrica nas edificações.

Agradecimentos

Os autores gostariam de registrar seus agradecimentos Instituto Ageu Magalhães/Fiocruz – PE pela parceria e total apoio à implantação do projeto e a realização dessa pesquisa e por tornar concreta a contribuição da ciência desenvolvida na academia. Os autores agradecem ainda à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de iniciação científica da primeira autora.



Referências

- ALVES, F., KÖCHLING, T., LUZ, J., SANTOS, S.M., GAVAZZA, S. Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil. **J. Water Health** 12 (3), 513 e 525, 2014.
- APHA, 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21th ed. American Publishers Health Association, Washington DC, USA.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Brasília, 2017.
- BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei do Senado Nº 252, de 2014**. Dispõe sobre a adoção de práticas de construção sustentável. Brasília: Senado Federal, 2014. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/118455>>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI – Referências de Preços e Custos**. Brasília, 2021 Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads>> Acesso em: 05 dez. 2021.
- CAMPISANO, A., BUTLER, D., WARD, S., BURNS, M. J., FRIEDLER, E., DEBUSK, K., FISHER-JEFFES, L. N., GHISI, E., RAHMAN, A., FURUMAI, H. AND HAN, M. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives, **Water Research**, v. 115, p. 195-209, mai. 2017.
- CARVALHO, J. R. S.; LUZ, J.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. A PVC-pipe device as a sanitary barrier for improving rainwater quality for drinking purposes in the Brazilian semiarid region. **Journal of Water and Health**, v. 16, p. 391-402, jun. 2018.
- INIMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**, 2021. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- JAMAL, S. I. M.; AHMED, S.; AKTER, S.; NAHAR, A.; SULTANA, R.; UDDIN, M. R.; JAHAN, T.; SULTANA, S.; HASAN, M. Spatial Variation of Rainwater Quality Parameters at Khulna City of Bangladesh. **Journal of Environment Pollution and Human Health**, v. 8, n. 2, p. 49-54, 2020.
- LIMA, J. C. A. L. **Avaliação do desempenho de dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva utilizado em cisternas no semiárido pernambucano**. Dissertação de Mestrado – Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 101 p. 2012.
- MENDES, M. E.; FAGUNDES, C. C.; PORTO, C. C.; BENTO, L. C.; COSTA, T. G. R.; SANTOS, R. A.; SUMITA, N. M. A importância da qualidade da água reagente no laboratório clínico. **Bras Patol Med Lab**, v. 47, n. 3, p. 217-223, jun. 2011.
- NABULSI, R.; AL-ABBADI, M. A. Review of The Impact of Water Quality on Reliable Laboratory Testing and Correlation with Purification Techniques. **Lab Medicine**, v. 45, n. 4, p. e159 – e165, nov. 2014.
- NAÇÕES UNIDAS. 2015. **United Nations Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. New York: United Nations. A/RES/70/1. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>>. Acesso em: 16 dez. 2021.
- OLAOYE, R. A; OLANIYAN, O. S. Quality of Rainwater from Different Roof Material. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 2, n. 8, p. 1413-1421, ago. 2012.
- OMS/UNICEF. 1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso a água potável, dizem o UNICEF e a



OMS. **UNICEF BRASIL**, Brasília, 18 jun. 2019. Disponível em:
<<https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-dizem-unicef-oms>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

RIBEIRO, A. K. M.; MARINOSKI, D. L. Estudo sobre materiais para coberturas utilizadas em sistemas de aproveitamento de água pluvial residenciais. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 53-66, mai. 2020.

THOMAS, E. O.; KOUAME, K. J. M. B. Assessment of Quality of Rainwater Harvested from Roof Tops in Ikotun Area of Lagos State. **Global Scientific Journals**, v 7, n. 12, p. 1480 – 1499, dez. 2019.

ZDEB, M. ZAMORSKA, J. PAPCIAK D. SŁYŚ D. The Quality of Rainwater Collected from Roofs and the Possibility of Its Economic Use. **Resources**, v. 9, n. 12, p. 1-20, jan. 2020.



Amanda Marcelle Pinto de Souza

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Tem experiência na área de estudo da qualidade da água de chuva, com o desenvolvimento de projeto de pesquisa de Iniciação Científica (2019 a 2021). Atuou como diretora de projetos na Prisma, Empresa Júnior vinculada à Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente é aluna de especialização em Engenharia e Análise de dados pela Cesar School.

Contribuição de coautoria: Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Redação – rascunho original.

Isabelle Rodrigues de Mendonça Câmara

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco e mestrado em Engenharia Civil com ênfase em tecnologia ambiental e recursos hídricos pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) e doutorado em andamento, também pelo PPGEC. Co-fundadora e sócia cotista da Startup Pluvi, incubada no Polo Tecnológico da UFPE.

Contribuição de coautoria: Redação - revisão e edição.

Sávia Gavazza

Doutora em Engenharia Civil na área de Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP (2003). Pós-doutorado na Universidade de Cornell (EUA) entre 2012-2013. Professora Associada IV da Universidade Federal de Pernambuco. Vice-diretora do Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia da UFPE. Professora Associada da Universidade de Toronto, a partir de julho de 2017 (status only). Membro titular da Câmara de Engenharias da FACEPE. Membro titular do Comitê Gestor do Programa de Formação de Recursos Humanos (PRH-ANP 48.1). Consultor do Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada. Integrou o comitê de avaliação quadrienal 2017-2020 dos Programas de Pós-Graduação das Engenharias I da CAPES.

Contribuição de coautoria: Concepção; Curadoria de dados; Metodologia; Supervisão; Validação; Redação - revisão e edição.

Júlio Cesar Azevedo Luz de Lima

Graduação em Engenheiro Civil, professor EBTT com dedicação exclusiva do Instituto Federal de Pernambuco (Campos Barreiros), Mestre e doutorando em Engenharia civil com ênfase em Tecnologia Ambiental. Co-fundador e sócio cotista da Startup Pluvi, incubada no Polo Tecnológico da UFPE. Técnico em Saneamento Básico pela Escola Técnica Federal de Pernambuco. Tem experiência em Gestão, onde atuou na concessionária de abastecimento do estado de Pernambuco entre 1997 e 2014, principalmente na gestão da manutenção de redes e ramais do Recife e das atividades de cadastro, micromedição e faturamento do Estado de Pernambuco.

Contribuição de coautoria: Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Supervisão; Validação; Redação - revisão e edição.

Como citar: SOUZA, A. M. P. de, CÂMARA, I. R. de M., PESSÔA, S. G. dos S., Lima, J. C. A. L. de. Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica do Uso da Água da Chuva em Edifício Público de Zona Urbana. Revista Paranoá N.34, jan/jun 2023. DOI 10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.27

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana, Livia Santana, Ronaldo Rodrigues Lopes Mendes, Sílvio Roberto Magalhães Orrico e Thiago Alberto da Silva Pereira.

Assistente Editorial: Lucídio Avelino.