



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Ciência e Tecnologia

Faculdade de Engenharia

Helena Marquini Zuntini Pinto

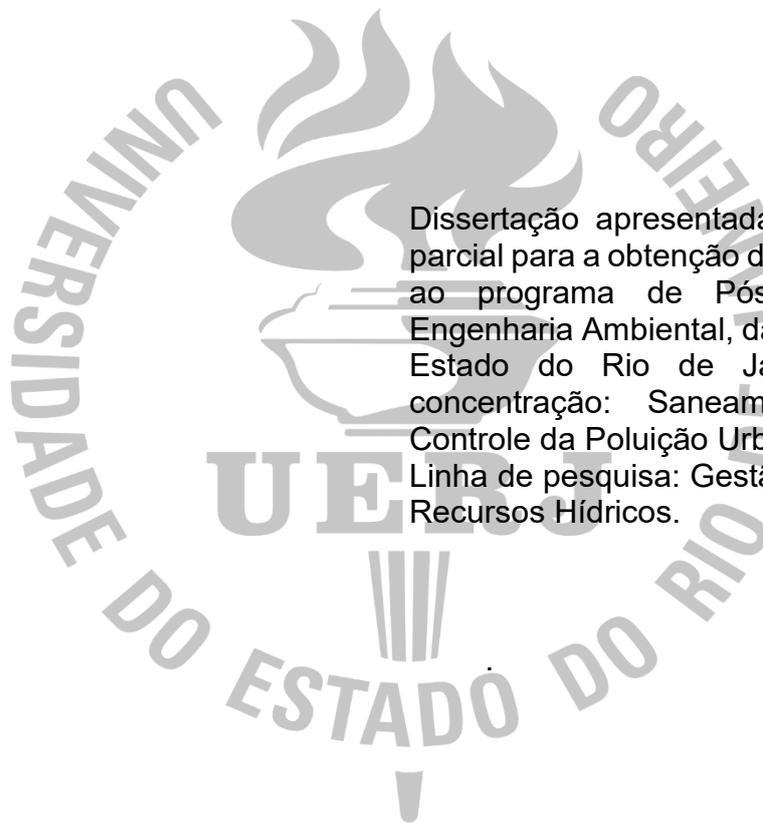
**Aproveitamento de água de chuva como estratégia de segurança
hídrica no contexto de mudanças climáticas: estudo de caso do
Centro Integrado de Educação Pública Antônio Carlos Bernardes
Mussum (CIEP 418), RJ, Brasil**

Rio de Janeiro

2024

Helena Marquini Zuntini Pinto

Aproveitamento de água de chuva como estratégia de segurança hídrica no contexto de mudanças climáticas: estudo de caso do Centro Integrado de Educação Pública Antônio Carlos Bernardes Mussum (CIEP 418), RJ, Brasil



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental: Controle da Poluição Urbana e Industrial – Linha de pesquisa: Gestão Sustentável de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Obraczka

Coorientador: Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior

Rio de Janeiro

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

P659 Pinto, Helena Marquini Zuntini.
Aproveitamento de água de chuva como estratégia de segurança hídrica no contexto de mudanças climáticas: estudo de caso do Centro Integrado de Educação Pública Antônio Carlos Bernardes Mussum (CIEP 418), RJ, Brasil / Helena Marquini Zuntini Pinto. – 2024.
89 f.

Orientador: Marcelo Obraczka.
Coorientador: Alfredo Akira Ohnuma Júnior.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Águas pluviais - Teses. 3. Água - Reuso - Teses. 4. Abastecimento de água - Teses. 5. Mudanças climáticas - Teses. I. Obraczka, Marcelo. II. Ohnuma Júnior, Alfredo Akira. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 628.1.037

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Helena Marquini Zuntini Pinto

Aproveitamento de água de chuva como estratégia de segurança hídrica no contexto de mudanças climáticas: estudo de caso do Centro Integrado de Educação Pública Antônio Carlos Bernardes Mussum (CIEP 418), RJ, Brasil

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental: Controle da Poluição Urbana e Industrial – Linha de pesquisa: Gestão Sustentável de Recursos Hídricos.

Aprovada em

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Obraczka
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Josimar Ribeiro de Almeida
Faculdade de Engenharia - UERJ

Profa. Dra. Luciene Pimentel da Silva
Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC PR

Rio de Janeiro

2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Suely e Luiz César e às minhas irmãs Amanda e Estela.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e para minha jornada acadêmica.

Aos meus pais, Suely e Luiz César, e às minhas irmãs, Estela e Amanda, agradeço o amor e apoio incondicional que tornaram esta jornada possível.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Marcelo Obraczka e Prof. Dr. Akira, sou grata pela orientação valiosa e pela compreensão, especialmente na reta final.

À minha namorada Ariel, agradeço o companheirismo e amor que foram essenciais para a conclusão deste mestrado.

Ao PEAMB, em especial à Coordenadora Profa. Dra. Alena e ao Prof. Dr. Josimar Almeida, agradeço pelas orientações e oportunidades de crescimento acadêmico.

Aos colegas do PEAMB, principalmente Diogo e Allexser, sou grata pelo apoio acadêmico e emocional.

Aos meus amigos e colegas de trabalho da Superintendência de Recursos Hídricos, em especial a Moema, Alex, Luiz Constantino e Carla agradeço a compreensão e suporte durante esta jornada.

Aos amigos do Rio de Janeiro e de Guararapes, obrigado pelo apoio constante.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho e para meu desenvolvimento, meu sincero agradecimento.

Lave o rosto nas águas sagradas da pia, nada como dia após o outro dia.

Jesus Chorou – Racionais MC's

RESUMO

PINTO, Helena Marquini Zuntini. *Aproveitamento de água de chuva como estratégia de segurança hídrica no contexto de mudanças climáticas: estudo de caso do Centro Integrado de Educação Pública Antônio Carlos Bernardes Mussum (CIEP 418), RJ, Brasil. 2024. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.*

As mudanças climáticas têm causado impactos significativos na intensidade e frequência dos eventos extremos de precipitação e secas. Esse fenômeno agrava os problemas de segurança hídrica da região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, tanto no aspecto de quantidade quanto de qualidade da água disponível para abastecimento. Neste contexto, a busca por fontes alternativas de água torna-se imprescindível para desenvolver estruturas resilientes às mudanças climáticas. O presente estudo avalia o uso de sistemas de aproveitamento de água de chuva como uma fonte alternativa para usos não potáveis em um cenário de mudanças climáticas e desafios relacionados à segurança hídrica. Utiliza-se como estudo de caso o Centro Integrado de Educação Pública (CIEP) 418, localizado no bairro de Ricardo de Albuquerque, no município do Rio de Janeiro. Nesta pesquisa, foram avaliados 11 índices de eventos extremos calculados pelo software RClimDex, que indicaram uma tendência de aumento de eventos extremos, especialmente relacionados à seca, para a área de estudo. Para dimensionar o sistema de aproveitamento de água de chuva para o CIEP, utilizou-se o método dos dias secos consecutivos. A metodologia adotada demonstrou um potencial de redução de 55% no consumo anual de água potável do CIEP e um aumento de mais de 10 dias em sua capacidade de abastecimento hídrico. Dessa forma, o aproveitamento de água de chuva se apresenta como uma estratégia eficaz de segurança hídrica, reduzindo a pressão sobre os mananciais, especialmente em períodos de estiagem. Os resultados obtidos evidenciam a importância da implementação de sistemas de aproveitamento de água de chuva como uma medida adaptativa às mudanças climáticas e uma das soluções para os desafios de segurança hídrica enfrentados pela região metropolitana do Rio de Janeiro. Além disso, o estudo possui potencial de replicação dessa abordagem em outras instituições e áreas urbanas, contribuindo para a construção de cidades resilientes e sustentáveis.

Palavras-chave: Eventos extremos; Adaptação climática; Abastecimento público; RClimdex; Método dos dias secos consecutivos.

ABSTRACT

PINTO, Helena Marquini Zuntini. *Rainwater harvesting as a water security strategy in the context of climate change*: case study of the Centro Integrado de Educação Pública Antônio Carlos Bernardes Mussum (CIEP 418), RJ, Brazil. 2024. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Climate change has caused significant impacts on the intensity and frequency of extreme precipitation events and droughts. This phenomenon exacerbates water security problems in the metropolitan region of the state of Rio de Janeiro, both in terms of quantity and quality of water available for supply. In this context, the search for alternative water sources becomes essential to develop structures resilient to climate change. The present study evaluates the use of rainwater harvesting systems as an alternative source for non-potable uses in a scenario of climate change and challenges related to water security. The Integrated Center for Public Education (CIEP) 418, located in the Ricardo de Albuquerque neighborhood in the municipality of Rio de Janeiro, is used as a case study. In this research, 11 extreme event indices calculated by the RClimDex software were evaluated, indicating a trend of increasing extreme events, especially related to drought, for the study area. To dimension the rainwater harvesting system for the CIEP, the consecutive dry days method was used. The adopted methodology demonstrated a potential reduction of 55% in the CIEP's annual potable water consumption and an increase of more than 10 days in its water supply capacity. Thus, rainwater harvesting presents itself as an effective water security strategy, reducing pressure on water sources, especially during drought periods. The results obtained highlight the importance of implementing rainwater harvesting systems as an adaptive measure to climate change and one of the solutions to the water security challenges faced by the metropolitan region of Rio de Janeiro. Furthermore, the study has the potential for replication of this approach in other institutions and urban areas, contributing to the construction of resilient and sustainable cities.

Keywords: Extreme events; Climate adaptation; Public supply; RClimdex; Consecutive dry days method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dimensões da Segurança Hídrica.....	20
Figura 2 - Vulnerabilidade dos mananciais do Estado do Rio de Janeiro	22
Figura 3 - Sistemas de abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro...	23
Figura 4 - Vazões Naturais do rio Paraíba do Sul em Santa Cecília	26
Figura 5 - Evolução do número acumulado de leis que tratam do aproveitamento de água de chuva e ou cinzas em território brasileiro no período entre 2002 e 2018	35
Figura 6 - Localização dos 49 CIEPs identificados pela pesquisa	37
Figura 7 - Fachada do CIEP 418.....	39
Figura 8 - Cobertura do prédio principal.....	59
Figura 9 - Implantação dos canteiros das hortas.....	63
Figura 10 - Colheita das hortas em 2022	63
Figura 11 - SAAP instalado nas escolas do Projeto ECO	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Mudanças projetadas no aumento da ocorrência de eventos extremos de altas temperaturas, precipitação e secas agrícolas e ecológicas em regiões secas.....	17
Tabela 12 - Valores de tendência e valor-p calculados no Rclimdex para o período de 2003 a 2017	50
Tabela 2 - Média Mensal de Chuva de 2003 a 2017	56
Tabela 3 - Coeficiente de escoamento superficial (<i>runoff</i>)	58
Tabela 4 - Disponibilidade Teórica de Água de Chuva - Média Mensal	59
Tabela 5 - Consumo não potável de uma instituição de Ensino em Londrina (PR) – bacia sanitárias – Weiller e Santos	61
Tabela 6 - Consumo não potável de bacia sanitária estimado para o CIEP 418 por dia	61
Tabela 7 - Dados de consumo das atividades do CIEP	64
Tabela 8 - Demandas de água diária do CIEP 418 para consumo não potável	64
Tabela 9 - Índice de Dias Secos Consecutivos de 2003 a 2017	67
Tabela 10 - Volumes disponíveis e capacidade mensal de suprir as demandas não potáveis do CIEP 418.....	68
Tabela 11 - Consumo total de água do CIEP 418.....	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Chuvas mensais médias, período 1961-1990, no Rio de Janeiro	545
Gráfico 2 - Precipitação média mensal para o período de 2003 a 2017	577
Gráfico 3 - Volumes disponíveis e capacidade de suprir as demandas não potáveis do CIEP 418 ao longo do ano	59
Gráfico 4 - Dias Secos Consecutivos (CDD) de 2003 a 2017- Estação Anchieta Erro! Indicador não definido.1	
Gráfico 5 - Dias Úmidos Consecutivos de 2003 a 2017	Erro! Indicador não definido.1
Gráfico 6 - Precipitação Total Anual de 2003 a 2017 na Estação Anchieta	Erro! Indicador não definido.2
Gráfico 7 - Número de Dias com precipitação ≥ 10 mm (R10mm)	Erro! Indicador não definido.2
Gráfico 8 - Número de Dias com precipitação ≥ 20 mm (R20mm)	Erro! Indicador não definido.2
Gráfico 9 - Número de Dias com precipitação ≥ 25 mm (R25mm)	Erro! Indicador não definido.3
Gráfico 10 - Número de dias com precipitação superior ao 95º percentil	Erro! Indicador não definido.3
Gráfico 11 - Número de dias com precipitação superior ao 99º percentil	Erro! Indicador não definido.4
Gráfico 12 - Precipitação máxima em 1 dia	Erro! Indicador não definido.5
Gráfico 13 - Precipitação máxima em 5 dias consecutivos	Erro! Indicador não definido.5
Gráfico 14 - Índice de intensidade de precipitação.....	Erro! Indicador não definido.6

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
OBJETIVOS	14
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
1.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	16
1.1.1 Impactos das mudanças do clima no Brasil.....	17
1.2 SEGURANÇA HÍDRICA.....	19
1.2.1 Segurança hídrica na região metropolitana do Rio de Janeiro.....	21
1.2.2 A crise hídrica de 2014 e 2015	25
1.3 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	27
1.3.1 Aspectos legais e normativos associados ao aproveitamento de águas de chuva.....	32
2. METODOLOGIA	36
2.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
2.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS DE CHUVA	39
2.3 ANÁLISE DE POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA DO CIEP 418	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
3.1 ANÁLISE DA SÉRIE HISTÓRICA DE CHUVAS	44
3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DO CIEP 418	53
3.3 DISPONIBILIDADE TEÓRICA DE ÁGUA DE CHUVA PARA CAPTAÇÃO.....	54

3.4 ESTIMATIVA DE VAZÕES REFERENTES AOS USOS NÃO POTÁVEIS DO CIEP 418.....	61
3.4.1 Bacias sanitárias	61
3.4.2 Lavagem de pisos	62
3.4.3 Irrigação das Horta.....	62
3.5 AVALIAÇÃO DO SAAP EXISTENTE NO CIEP 418.....	65
3.6 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO NECESSÁRIO	66
CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS.....	73
ANEXO I - FORMULÁRIO	81

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm causado impactos significativos na intensidade e frequência dos eventos extremos de precipitação e secas. Conforme os resultados divulgados em 2021 pelo Sexto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a região Sudeste da América do Sul foi uma das áreas que apresentaram um aumento comprovado, com grau de confiança significativo para causas antropogênicas, de eventos de chuvas intensas desde 1950 até os dias atuais (IPCC, 2021). As evidências são principalmente derivadas de mudanças nos índices baseados em valores de precipitação diária ou de cinco dias, utilizando estudos globais e regionais (OTTONI, ALVES e PINTO, 2023).

No Brasil, houve um aumento nos últimos dez anos do número de pesquisas dedicadas aos impactos das mudanças climáticas. No entanto, ainda persistem deficiências de informação sobre mudanças climáticas e recursos hídricos (PAULA; FORMIGA-JOHNSSON, 2023). Pesquisas conduzidas pela ANA (2016) e pelo Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (MMA, 2016) enfatizam a importância de estudos focados em projeções climáticas e seus efeitos na disponibilidade de recursos hídricos. Esses estudos sublinham a necessidade de revisar a noção de estacionariedade, pois as séries hidrológicas demonstram tendências ascendentes ou descendentes que não haviam sido contempladas anteriormente.

Entre os anos de 2014 e 2015, o Estado do Rio de Janeiro vivenciou a mais severa crise hídrica de sua história. Durante esse período, os níveis de armazenamento de água nos reservatórios da bacia do Rio Paraíba do Sul, que é a principal fonte de abastecimento para cidades, indústrias e áreas irrigadas no estado, incluindo a Região Metropolitana, caíram para menos de 10% de sua capacidade total (COSTA et al, 2018).

A concentração da oferta de água bruta em um único manancial limita a capacidade de resposta em situações de interrupção. Embora os índices de abastecimento de água na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) sejam geralmente considerados satisfatórios, há preocupações significativas. Os municípios que integram a RMRJ, como Seropédica, Queimados, Japeri, Paracambi, Rio de Janeiro, Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Tanguá, Guapimirim, Magé, Duque de Caxias,

Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti, Nilópolis, Maricá e Nova Iguaçu, enfrentam sérios desafios em relação ao abastecimento de água. De acordo com a COPPETEC (2014), 67% dos sistemas de abastecimento dessas localidades apresentam produção insuficiente. A segurança hídrica da metrópole é frágil, marcada por uma forte dependência das águas do Paraíba do Sul e pela falta de redundância no sistema (PDUI, 2018).

Além dos desafios relacionados à quantidade de água disponível nos mananciais, o estado também lida com questões de qualidade da água. Em 2021, por exemplo, o sistema Guandu foi paralisado devido à contaminação por geosmina (O GLOBO, 2021), e em 2024, o sistema Imunana Laranjal enfrentou uma interrupção causada pela presença de tolueno (CBH Baía da Guanabara, 2024).

Entre as atividades que normalmente utilizam água na rotina das diversas tipologias de edifícios, há demandas importantes que não requerem água com padrão de potabilidade, como irrigação paisagística, lavagem de pisos e veículos, descarga de bacias sanitárias e sistemas de refrigeração à água (ABNT, 2019). Usualmente, essas demandas são supridas por água potável, competindo com usos mais nobres, como o consumo humano. Considerando-se a vulnerabilidade do cenário hídrico, é benéfico que haja descentralização e diversificação da matriz de abastecimento de água (ABNT, 2019).

Os sistemas de captação de água de chuva permitem a redução do consumo de água potável (Rosas et al., 2023) e contribuem para mitigar a escassez de recursos hídricos (Ghisi, 2008).

Desta forma, este trabalho avalia o aproveitamento de água de chuva como uma fonte alternativa para usos não potáveis e como esse sistema pode ser utilizado como uma estratégia de segurança hídrica, reduzindo a pressão sobre os mananciais, especialmente em períodos de seca extrema.

Esta dissertação está estruturada inicialmente com uma apresentação breve do cenário das mudanças climáticas e da segurança hídrica no sudeste do Brasil, com foco especial na região metropolitana do Rio de Janeiro, onde está localizado o Centro Integrado de Educação Pública (CIEP) 418. Além disso, são abordados os aspectos legais relacionados ao aproveitamento de água de chuva.

Em seguida, são descritas as metodologias empregadas na coleta de dados do CIEP, referentes às demandas não potáveis e infraestruturas, além da análise da série histórica de chuvas, do potencial de aproveitamento de água de chuva e dos índices

extremos climatológicos, a partir da ferramenta RCLIMDEX (Zhang, Yang, 2004). O estudo pretende analisar os dados históricos de precipitação na área de interesse, gerar e examinar os índices extremos de precipitação na região, identificar e caracterizar as demandas de água do CIEP 418, avaliar o sistema de aproveitamento de água pluvial (SAAP) existente no CIEP 418 e calcular a disponibilidade teórica de água de chuva para captação. Com base nisso, foi calculado o volume do reservatório de água de chuva pelo método de dias secos consecutivos.

Os resultados das análises realizadas foram discutidos para determinar a viabilidade e eficácia do uso de água de chuva como uma solução sustentável para a segurança hídrica.

OBJETIVOS

O presente estudo explora o uso de sistemas de aproveitamento de água de chuva como uma fonte alternativa para usos não potáveis em um cenário de mudanças climáticas e desafios relacionados à segurança hídrica. O objetivo geral é avaliar a eficácia desses sistemas como uma estratégia para garantir a segurança hídrica, utilizando como estudo de caso o Centro Integrado de Educação Pública 418. Esse enfoque é especialmente relevante no contexto atual, onde as alterações climáticas têm impactado os padrões de precipitação e, conseqüentemente, a disponibilidade de recursos hídricos. Ao investigar o potencial de captação e uso da água de chuva, o estudo visa contribuir para a formulação de políticas e práticas de resiliência climática que possam ser replicadas em outras instituições e regiões.

Para alcançar esse objetivo, o estudo se desdobra em objetivos específicos que incluem a análise dos dados históricos de precipitação na área de interesse, a geração e análise de índices extremos de precipitação, e a identificação das demandas de água do CIEP 418. Além disso, será realizada uma avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva já existente na instituição, bem como o cálculo da disponibilidade teórica de água de chuva para captação e a definição do volume do reservatório, utilizando o método de dias secos consecutivos. Ao final, espera-se

que o estudo ofereça uma análise sobre o uso de sistemas de aproveitamento de água de chuva como uma estratégia de segurança hídrica, sendo uma fonte alternativa para usos não potáveis, em um cenário de mudanças climáticas.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (WMO), a temperatura média anual global próxima à superfície em 2023 foi $1,45 \pm 0,12$ °C acima da média pré-industrial de 1850–1900. O ano de 2023 foi o mais quente já registrado, de acordo com seis conjuntos de dados de temperatura global. Os últimos nove anos, de 2015 a 2023, foram os mais quentes já registrados em todos os conjuntos de dados. À medida que o aquecimento global se intensifica, os impactos climáticos estão se tornando mais severos e generalizados (PNUMA;2023).

As concentrações atmosféricas dos três principais gases de efeito estufa atingiram novos recordes em 2022, o último ano para o qual há números globais consolidados disponíveis. Os níveis de dióxido de carbono (CO₂) atingiram $417,9 \pm 0,2$ partes por milhão (ppm), o metano (CH₄) a 1.923 ± 2 partes por bilhão (ppb) e o óxido nitroso (N₂O) a $335,8 \pm 0,1$ ppb, representando um aumento de respectivamente 150%, 264% e 124% em relação aos níveis pré-industriais (pré-1750). Dados registrados em tempo real de locais específicos, incluindo Mauna Loa (Havaí, Estados Unidos da América) e Kennaook/Cabo Grim (Tasmânia, Austrália), indicam que os níveis de CO₂, CH₄ e N₂O continuaram a aumentar em 2023 (WMO, 2024).

Nas últimas duas décadas, de 2000 e 2010, a taxa de aquecimento dos oceanos e o índice de calor nos oceanos em 2023 foi o mais alto já registrado. O aquecimento dos oceanos e a perda acelerada de massa de gelo das camadas de gelo contribuíram para a elevação do nível médio global do mar em 4,77 mm por ano entre 2014 e 2023, atingindo um novo recorde em 2023. Entre 1960 e 2021 (dados mais recentes disponíveis), os oceanos absorveram cerca de 25% das emissões anuais antropogênicas de CO₂ na atmosfera. O CO₂ reage com a água do mar e reduz seu pH. As observações de longo prazo no oceano aberto mostraram um declínio no pH, com uma redução do pH médio global da superfície do oceano de 0,017–0,027 unidades de pH por década desde o final dos anos 1980. Esse processo, conhecido como acidificação dos oceanos, afeta muitos organismos e serviços ecossistêmicos, e ameaça a segurança alimentar ao colocar em risco a pesca e a aquicultura (WMO, 2024).

1.1.1 Impactos das mudanças do clima no Brasil

O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) apresenta projeções de aumento de ocorrência de eventos extremos de precipitação, altas temperaturas e secas agrícolas e ecológicas. As alterações projetadas são apresentadas em níveis de aquecimento global de 1°C, 1,5°C, 2°C e 4°C, relativas a 1850-1900, representando um clima sem influência humana. As frequências e os aumentos na intensidade de eventos extremos de 10 ou 50 anos desde o período base (1850-1900) sob diferentes níveis de aquecimento global, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Mudanças projetadas no aumento da ocorrência de eventos extremos de altas temperaturas, precipitação e secas agrícolas e ecológicas em regiões secas

Projeções	Tempo de retorno (anos)	Aumento em vezes na ocorrência para cenários de aumento de temperatura			
		1°C (presente)	1.5°C	2.0°C	4.0°C
Altas temperaturas	10	+2.8	+4.1	+5.6	+9.4
Altas temperaturas	50	+4.8	+8.6	+13.9	+39.2
Precipitações extremas	10	+1.3	+1.5	+1.7	+2.7
Secas agrícolas e ecológicas em regiões secas	10	+1.7	+2.0	+2.0	+4.1

Fonte: Adaptado Figure SPM.6 in IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

Conforme o referido estudo, que também compõe o IPCC, intitulado "Global net anthropogenic GHG emissions (GtCO₂-eq yr⁻¹) 1990–2019", divulgado pelo Grupo de Trabalho III – *Mitigation of Climate Change* em abril de 2022, as emissões de gases de efeito estufa, como os principais responsáveis pelo aquecimento global, continuam a aumentar em escala mundial. Esse crescimento ressalta a insuficiência de comprometimento dos países em relação às metas de redução dessas emissões.

Diante dessa realidade, a tendência é que os cenários mais pessimistas de aumento da temperatura sejam alcançados, resultando em uma maior frequência de eventos extremos. Conforme os dados do IPCC (2021), entre as áreas que apresentaram um aumento na ocorrência de precipitações intensas, está situada a região sudeste da América do Sul, que inclui estados brasileiros importantes, como São Paulo e Rio de Janeiro.

O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (2016) prevê que mudanças climáticas no Brasil causarão alterações significativas nos padrões de temperatura e precipitação, impactando diretamente a disponibilidade hídrica e na ocorrência de eventos extremos, como cheias e secas. Esses fenômenos afetarão os usos múltiplos dos recursos hídricos e a população em geral, tornando a água o principal meio pelo qual os efeitos das mudanças climáticas serão sentidos.

A variabilidade dos fenômenos hidrológicos extremos e a alteração nos padrões das séries hidrológicas, tradicionalmente consideradas estacionárias, torna o planejamento e a operação da infraestrutura hídrica mais complexos, assim que estes são dimensionados para atender uma série hidrológica conhecida. Isso exige que o planejamento futuro considere a possibilidade de que os comportamentos hidrológicos do passado não se repitam, adicionando incertezas que necessitam de medidas de adaptação específicas (MMA; 2016).

Entre 2020 e 2022, aproximadamente 25 milhões de indivíduos no Brasil foram impactados por secas e estiagens, um número cerca de seis vezes superior ao de pessoas afetadas por enchentes. Nesse período, foram registrados 4.195 eventos de seca com consequências para a população, cerca de 3,5 vezes mais do que os eventos de enchentes, que somaram 1.188. No ano de 2022, mais de 7 milhões de pessoas sofreram os efeitos das secas e estiagens, com 1.212 ocorrências contabilizadas. Em termos de prejuízos à população, 2021 foi mais severo que 2022, com aproximadamente 700 mil pessoas a mais impactadas por episódios de seca e estiagem (ANA;2023).

A região sudeste do país está entre as 3 regiões com maior número de eventos de seca em 2022, sendo de 12,1% do total de eventos, conforme a Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil 2023 (ANA, 2024).

Os impactos e danos das mudanças climáticas já são sentidos e evidenciam as vulnerabilidades da região mais populosa do país. Períodos de secas severas têm sido mais frequentes - com o que está sendo vivenciado no presente – o que

compromete o abastecimento de setores prioritários, e demonstra uma grande insegurança hídrica.

Para enfrentar esses desafios, é essencial a adaptação das estruturas e sistemas de abastecimento com foco na resiliência climática.

1.2 SEGURANÇA HÍDRICA

De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (UNESCO, 2021), mais de 2 bilhões de pessoas no mundo vivem em países em situação de estresse hídrico e 4 bilhões vivem em áreas que sofrem grave escassez física de água por pelo menos um mês ao ano.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a segurança hídrica é alcançada quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para atender às necessidades humanas, econômicas e de conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, conforme demonstrado na Figura 1. Essas condições devem orientar o planejamento da oferta e do uso da água em um país. O conceito definido no Decreto Estadual nº 47.403 do Rio de Janeiro de 2020, que dispõe sobre a política de reúso de água para fins não potáveis no âmbito do Estado do Rio de Janeiro, acrescenta a importância da preservação dos ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política.

Figura 1 – Dimensões da Segurança Hídrica



Fonte: ANA; 2019

No cenário internacional, o conceito de segurança hídrica começou a ser discutido na década de 1990, ganhando maior destaque a partir de 2009, quando o tema passou a ser objeto de um número crescente de publicações. No Brasil, entretanto, o conceito ganhou relevância a partir de 2014, em decorrência da crise hídrica enfrentada pelas principais capitais do Sudeste do país (MELO e JOHNSON, 2017). Durante a elaboração da Lei Federal 9.433 de 1997, o conceito de segurança hídrica ainda não era amplamente difundido no território brasileiro. Contudo, os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) já refletiam preocupações que hoje são essenciais para a segurança hídrica. A lei estabelece como objetivos da PNRH assegurar a disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados para as gerações presentes e futuras, promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, bem como a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos, sejam eles naturais ou resultantes do uso inadequado dos recursos. Esse enfoque destaca a importância de gerenciar riscos, como secas e inundações, aspectos fundamentais para a segurança hídrica.

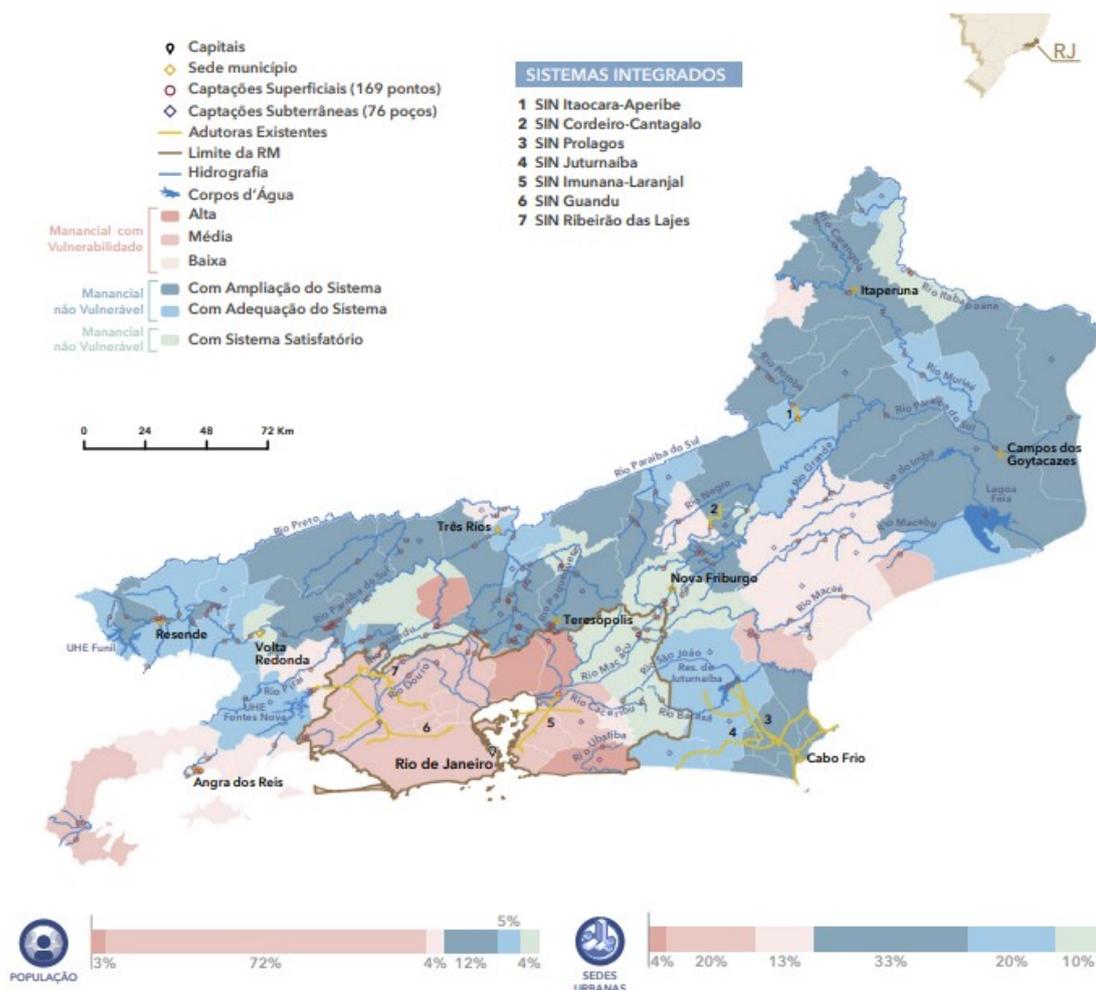
1.2.1 Segurança hídrica na região metropolitana do Rio de Janeiro

Dos 92 municípios do Rio de Janeiro, 57 estão na Bacia do Rio Paraíba do Sul, que ocupa mais de 60% do território fluminense. Além de abastecerem diretamente a população de vários municípios, perfazendo um total de 2,9 milhões de pessoas, as águas do Paraíba do Sul abastecem indiretamente grande parte da população da Região Metropolitana, através da transposição de suas águas para o Rio Guandu (FERNANDES et al, 2015).

Na porção oeste da RMRJ, que abrange a capital do Estado, o abastecimento público é proveniente, sobretudo, da ETA Guandu, que capta águas do Rio Guandu. Na porção leste da metrópole, quase dois milhões de habitantes de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí e Ilha de Paquetá dependem de um sistema de abastecimento que já opera em déficit, carecendo de ações estruturais para aumento da reservação de água bruta e garantia de oferta hídrica para o atendimento da demanda atual e futura (FERNANDES et. al, 2015).

De acordo com o Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano (ANA, 2021), a RMRJ possui mananciais de alta e média vulnerabilidade, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Vulnerabilidade dos mananciais do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: ANA, 2021

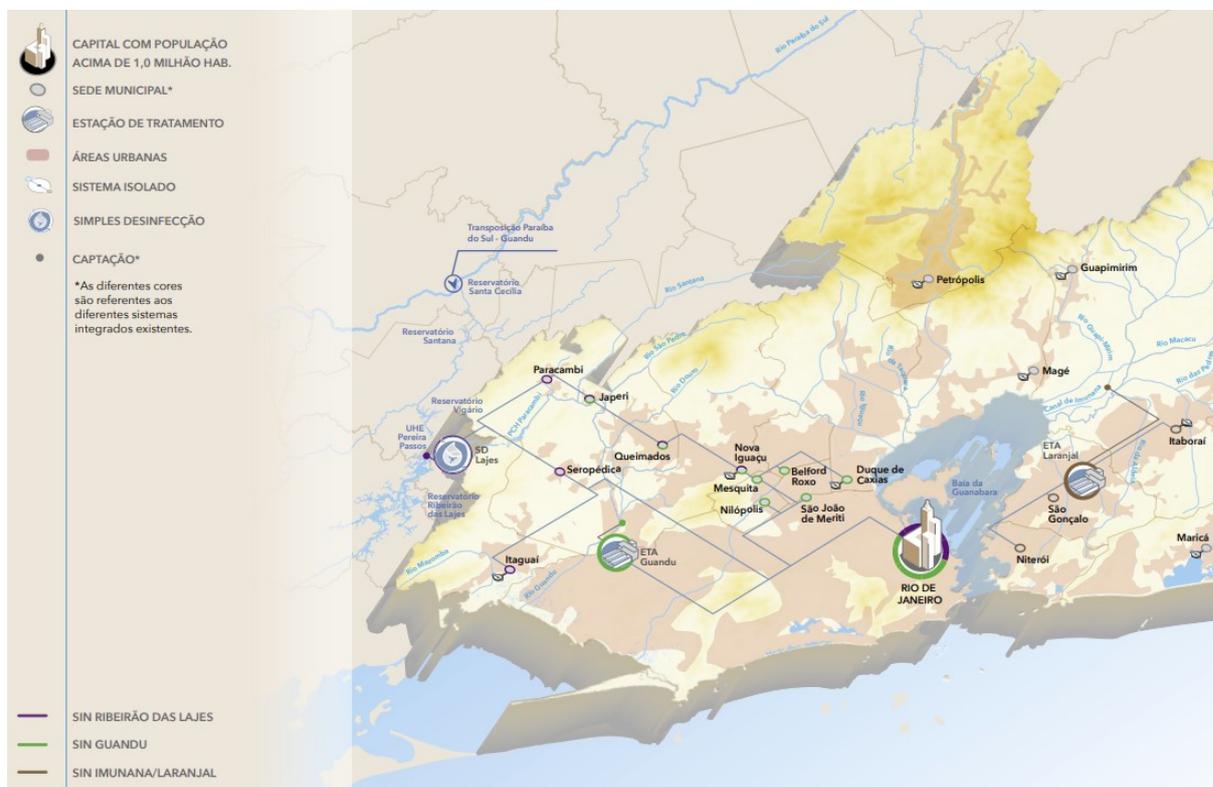
A RMRJ abrange 22 municípios, ocupando uma área de 7.535,8 km², sendo a segunda maior região metropolitana do Brasil. A população urbana dessa região é de aproximadamente 13,2 milhões de pessoas, o que representa 78% da população total do estado (ANA, 2021).

O sistema de abastecimento de água da RMRJ é composto por redes isoladas e integradas, com predominância do uso de mananciais superficiais, tanto de forma exclusiva quanto combinada com mananciais subterrâneos. A cidade do Rio de Janeiro, especificamente, é abastecida exclusivamente por mananciais superficiais, com destaque para o rio Guandu (ANA, 2021).

A demanda de água na RMRJ é estimada em cerca de 50 m³/s, sendo que as maiores parcelas dessa demanda estão concentradas nos sistemas integrados

Guandu (35 m³/s), Imunana/Laranjal (5,3 m³/s) e Ribeirão das Lajes (4,5 m³/s) (ANA, 2021), representados na Figura 3.

Figura 3 - Sistemas de abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro



Fonte: ANA, 2021

Um problema sério enfrentado pelo estado do Rio de Janeiro, especialmente na região metropolitana, está relacionado à qualidade da água. Esse problema é agravado pela confluência dos rios Poços, Ipiranga e Queimados com o rio Guandu, próximo ao ponto de captação do Sistema Integrado Guandu. De acordo com o Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2018), segundo o Índice de Qualidade das Águas (IQA), o rio Guandu apresenta uma qualidade de água classificada como "Média" ($70 > IQA \geq 50$). A situação é ainda mais preocupante quando se observa a qualidade dos rios Poços e Queimados, que apresentam classificação "Muito Ruim" ($25 > IQA \geq 0$). Dessa forma, o tratamento convencional realizado pela Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu não é suficiente para garantir a qualidade necessária para o abastecimento urbano, sendo indispensáveis tratamentos mais avançados, como a adição de etapas de pré-oxidação ou o uso de membranas filtrantes (ANA, 2021).

Durante a crise hídrica de 2014-2016, quando a vazão do rio Guandu atingiu o mínimo de $75 \text{ m}^3 / \text{s}$ (ao invés de pelo menos $120 \text{ m}^3 / \text{s}$) a estação adaptou-se ao aumento da poluição com o uso intensivo de produtos químicos. Em janeiro de 2020, ocorreu uma crise de qualidade da água distribuída, com a presença de geosmina, que causou mau cheiro e gosto de terra, gerando insegurança entre a população do Rio de Janeiro, agravada pela falha de comunicação das autoridades (FORMIGA-JOHNSON, BRITTO, 2020).

Os pontos de monitoramento dos rios Poços e Queimados, de acordo com as classes de enquadramento estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/2005, apresentam, em média, classificação de classe 4 (a pior) para os parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), Fósforo Total e Coliformes (ANA, 2021).

Na porção leste da Baía de Guanabara a população é abastecida pelo sistema Imunana-Laranjas, de acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI), a demanda estimada para atender esta população é de 7.700 litros por segundo, enquanto a capacidade de fornecimento do sistema produtor é de até 5.500 litros por segundo (COPPETEC, 2014).

Entre os anos de 2007 e 2008, a Petrobras tomou a decisão de implantar o Polo Petroquímico (COMPERJ) na região de Itaboraí, localizada na bacia hidrográfica do Rio Macacu. A maior demanda de água do COMPERJ, que poderia chegar a $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ no pico de sua produção, seria suprida por água de reuso, conforme previsto no projeto do polo (LIMA, 2016). Apesar de o COMPERJ, por si só, não necessitar de um grande volume de água tratada, seu impacto no crescimento das cidades vizinhas resultaria em um aumento significativo na demanda por água (PEREIRA, CANEDO e CAPODEFERRO, 2022). O antigo COMPERJ, agora denominado Complexo de Energias Boaventura, foi inaugurado em setembro de 2024. No entanto, até o momento, não houve qualquer ampliação ou melhoria no sistema de abastecimento de água de Imunana-Laranjal.

1.2.2 A crise hídrica de 2014 e 2015

As grandes aglomerações urbanas, o uso e a ocupação do solo desordenados, o aumento progressivo das demandas hídricas para suprimento a diversos usos consuntivos da água e a deficiência em investimentos em infraestrutura hídrica, incluindo manutenção e operação, quando associados a períodos de escassez de chuvas, resultam na instalação de crises hídricas como as que afetaram o Brasil principalmente entre os anos de 2012 e 2017 (ANA, 2019).

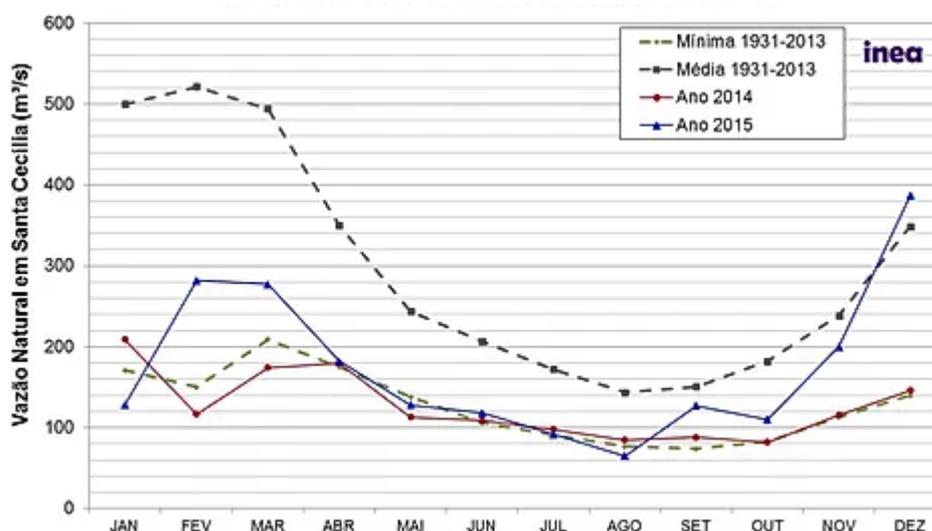
Desde o segundo semestre de 2012, diversas regiões do Brasil apresentaram níveis de chuva significativamente abaixo da média. Em 2013, as bacias hidrográficas próximas ao rio Paraíba do Sul já enfrentavam níveis críticos de armazenamento, impactando o abastecimento urbano de água. Durante alguns meses de 2014, foram registradas as menores vazões desde 1931 (VASCONCELOS, 2019).

O alerta para uma crise hídrica iminente ocorreu entre janeiro e abril de 2014, quando os reservatórios do Sistema Hidráulico do Paraíba do Sul, que deveriam se encher, estavam a esvaziar-se, com vazões baixas (VASCONCELOS, 2019).

Em 2014, a Bacia do Rio Paraíba do Sul enfrentou uma estiagem severa, a mais intensa dos últimos 85 anos de registros históricos. A situação continuou crítica em 2015, com alguns meses apresentando índices piores do que os registrados desde 1931, o que indica que a crise hídrica persistiu por dois anos consecutivos (COSTA et al., 2018).

A seca severa do referido biênio afetou substancialmente a oferta hídrica do rio Paraíba do Sul, e conseqüentemente das águas transpostas para a bacia do rio Guandu, que é o principal manancial do RMRJ, sendo responsável por abastecer aproximadamente 80% de sua população (CBH GUANDU, 2018).

Figura 4 - Vazões Naturais do rio Paraíba do Sul em Santa Cecília



Fonte: COSTA, 2015

Os índices de Precipitação Normal e Precipitação Padronizada confirmaram secas severas na bacia do Rio Paraíba do Sul entre 2014 e 2017, com baixos índices pluviométricos. Na porção paulista da bacia, foram registradas as menores vazões em mais de 80 anos. Na porção fluminense, os anos hidrológicos de 2013-2014 e 2014-2015 tiveram vazões abaixo da média, com algumas estações registrando os piores valores históricos. As bacias da vertente Atlântica também apresentaram precipitações muito abaixo da média, especialmente em 2014-2015, caracterizando uma seca de moderada a extrema (COSTA et al, 2018).

As perdas foram significativas nos setores que utilizam água. Na agropecuária, as perdas em 2014 nas bacias fluminenses chegaram a 60% na fruticultura, 30% na cafeicultura, 40% na cultura do tomate, 60% na cana-de-açúcar e 60% na bovinocultura. Isso resultou em redução de receita e dificuldades financeiras para os agricultores. Em 2017, houve relatos de morte de milhares de cabeças de gado no Noroeste Fluminense (COSTA et al, 2018).

O setor de saneamento empreendeu esforços para evitar o desabastecimento urbano, adaptou sistemas de captação e, em alguns municípios mineiros, implementou racionamento de água. A indústria também foi impactada, recorreu a fontes alternativas como água de chuva e poços artesianos, além de adotar medidas de redução de consumo e reuso de água (COSTA et al., 2018).

O setor hidrelétrico sofreu uma redução de produção de cerca de 3.500.000 MWh entre 2010-2011 e 2014-2015, suficiente para abastecer uma cidade de 1,5 milhão de habitantes. A crise hídrica destacou a necessidade de ações para uso racional da água, proteção de nascentes, reflorestamento e gestão da demanda para reduzir perdas no abastecimento público (COSTA et al, 2018).

O monitoramento hidrológico foi essencial durante a seca, fornecendo dados essenciais para enfrentar a crise. A existência de uma rede de monitoramento hidrometeorológico é fundamental para diagnósticos, gestão de perdas e planejamento visando aumentar a segurança hídrica em eventos extremos (COSTA et al, 2018).

1.3 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

A captação da água da chuva é uma técnica milenar, desenvolvida e utilizada em diversas partes do mundo, especialmente em regiões áridas e semiáridas, onde a precipitação é escassa e irregular. Gnadlinger (2000) destaca sua aplicação desde a antiguidade, com registros datando de 830 a.C. na antiga região de Moab (atual Jordânia), onde o rei Mesha recomendava a construção de reservatórios em cada residência para armazenar a água da chuva.

Exemplos históricos demonstram a difusão dessa prática: no palácio de Knossos, em Creta (2000 a.C.), a água da chuva era utilizada em bacias sanitárias, enquanto em Roma (1885 d.C.), doze reservatórios subterrâneos com capacidade para 98 m³ cada abasteciam a população (TOMAZ, 2010).

As civilizações Maia e Asteca, no México também dominavam técnicas de captação de água da chuva. No século X, utilizavam estruturas semelhantes a cisternas, chamadas de "Chultuns", com capacidade para armazenar entre 20.000 e 45.000 litros de água, para suprir suas necessidades hídricas (GNADLINGER, 2000).

Uma análise do potencial de aproveitamento de água da chuva na mesorregião nordeste paraense conduzida por Rodrigues et al.(2015) revelou que a economia de água potável pode variar entre 15% e 100%, com uma média de 75%, dependendo da demanda nas 15 cidades estudadas. Os autores sugerem que um programa governamental poderia promover a economia de água potável por meio do uso de

água de chuva, resultando em uma significativa preservação dos recursos hídricos na Amazônia (RODRIGUES et al., 2015).

No sul do Brasil, um estudo semelhante analisou 62 cidades e constatou que o potencial de economia de água potável com a utilização de água da chuva varia de 34% a 92%, com uma média de 69%. Esses resultados destacam a viabilidade de se economizar água potável em áreas urbanas através da captação de água pluvial, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos (GHISI, MONTIBELLER e SCHMIDT, 2006).

No Distrito Federal, uma pesquisa sobre o uso de águas pluviais em residências realizada por Cáceres et al. (2019) indicou que essa prática pode diminuir a demanda por água potável, fornecendo uma fonte alternativa confiável para usos não potáveis. Além disso, pode promover economia financeira, aumentar a disponibilidade hídrica nos reservatórios e ajudar no controle de escoamento superficial e cheias urbanas. No entanto, o alto custo dessas tecnologias limita seu uso a famílias de maior renda (CÁCERES et al., 2019).

Com relação especificamente ao potencial de aproveitamento de água e chuva de instituições de ensino e a viabilidade e os fatores determinantes para a implementação desses sistemas, determinados estudos são discriminados a seguir.

Ferreira e Mendes (2017) exploraram a viabilidade em escolas de Uberlândia-MG, ressaltando que a precipitação e a área de coleta são fatores críticos. Apesar da falta de dados quantitativos sobre a demanda, o estudo sugere que essas variáveis são suficientes para justificar a implementação de sistemas de captação.

No contexto das universidades, Nascimento et al. (2016) demonstraram que a Universidade Federal do Pará possui um potencial significativo para o uso de água pluvial, especialmente durante os meses chuvosos, com economias superiores a 100%.

Araújo et al. (2019) e Sales e Batista (2020) confirmaram reduções substanciais no consumo de água potável em campi universitários, com economias de até 68,20% e 68,7%, respectivamente.

Cunha e Couto (2020) enfatizaram a viabilidade econômica, com retornos financeiros significativos ao implementar reservatórios de água de chuva na Universidade Federal de Itajubá.

Em relação ao impacto em escolas e outras instituições de ensino, Tugoz, Bertolini e Brandalise (2017) e Weiller e Santos (2020) destacaram a eficiência dos

sistemas de captação em escolas, promovendo economias de até 57,97% e 55,55%, respectivamente. Além disso, ressaltaram o papel educacional e de conscientização ambiental desses sistemas. Vieira et al. (2019) demonstraram que, mesmo em regiões semiáridas, é possível atender 100% das demandas não potáveis em escolas, sublinhando a adaptabilidade dos sistemas a diferentes condições climáticas.

Por outro lado, os desafios e considerações econômicas foram abordados por Dantas e Goulart (2021), que discutem a importância de integrar medidas de racionalização de consumo em projetos arquitetônicos, especialmente em regiões com escassez de água.

Silva et al. (2019) e Tavares et al. (2016) abordaram a viabilidade técnica e econômica, indicando que o aproveitamento de águas pluviais pode atender a uma parte significativa das demandas não potáveis, embora o custo inicial ainda seja um desafio.

De uma maneira geral, os estudos demonstram que o aproveitamento de água pluvial é uma estratégia viável e eficaz para reduzir o consumo de água potável em instituições educacionais. Os resultados variam significativamente, dependendo das condições locais de precipitação, área de coleta e demanda. No entanto, a implementação desses sistemas não só oferece benefícios econômicos, como redução de custos com água, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental e a conscientização sobre o uso racional dos recursos hídricos. A integração de sistemas de captação de água da chuva em projetos arquitetônicos e educacionais deve ser incentivada por políticas públicas, especialmente em regiões com escassez de água.

O Quadro 1 reúne 15 trabalhos científicos que investigam o potencial de aproveitamento de água de chuva em diferentes contextos no Brasil, principalmente em instituições de ensino e áreas urbanas. Os estudos mostram economias significativas, como uma redução de até 68,7% no consumo de água potável na Universidade Federal do Ceará, e uma economia total de 32,6% no consumo de água em uma residência no Rio de Janeiro. Em algumas escolas do semiárido sergipano, o sistema de captação de água pluvial atendeu 100% das demandas não potáveis em 23 das 26 escolas analisadas. Esses resultados demonstram a viabilidade técnica e econômica dos sistemas de captação de água de chuva, destacando a importância de políticas públicas e investimentos em infraestrutura para a sustentabilidade hídrica.

Quadro 1 - Compilação dos estudos analisados

Nº	Título do Artigo	Local	Ano	Autores	Potencial de Aproveitamento de Água de Chuva
1	Potencial de estratégias de racionalização do consumo de água potável aplicadas a um projeto de edifício educacional no semiárido brasileiro	Município de Currais Novos, RN	2021	P. Dantas; S. Goulart	Redução de até 56% no consumo de água potável
2	Potential for the use of pluvial water for potable purposes in the University of the State of Pará	Universidade do Estado do Pará- Marabá/PA	2021	B. T. P. Castro; C. B. de Souza; E. C. Ferreira; G. E. Loureiro	Economia de 23,21% a 33,19% para fins menos nobres
3	Viabilidade no aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis: estudo de caso em instituição de ensino de Londrina-PR	Município de Londrina, PR	2020	G. C. B. Weiller; L. R. dos Santos	Economia de 55,55% com cisterna de 17.000L
4	Aproveitamento de águas pluviais no semiárido cearense: estudo de caso na Universidade Federal do Ceará em Crateús	Município de Crateús, CE	2020	Hian Melo Sales; Tatiane Lima Batista	Redução de 68,7% no consumo de água potável
5	Avaliação de técnica e econômica de sistemas de aproveitamento de água de chuva em uma universidade pública	Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira, MG	2020	Flávio Cunha; Eduardo Couto	Atende 87% e 72% da demanda não potável nas unidades 1 e 2, respectivamente
6	Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de águas pluviais	Município do Rio de Janeiro, RJ	2020	Flávio Giro Oliveira	Economia total de 32,6% do consumo total de água na residência, e uma economia

	na cidade do Rio de Janeiro				financeira anual de US\$ 293,02.
7	Potencial de aproveitamento de água pluvial para fins não potável em campus universitário	Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró, RN	2019	Antônio José Cruz de Araújo; Êmele Rádna Rodrigues do Vale; Maria Josicleide Felipe Guedes	Redução de até 68,20% no consumo hídrico em bacias sanitárias
8	Potencial de captação e aproveitamento de água pluvial em escolas do semiárido sergipano	Semiárido sergipano, SE	2019	Zacarias Caetano Vieira; Carlos Gomes da Silva Júnior; Layse Souza Sampaio; Dayana Kelly Araujo Santos; Rayana Almeida de Novais	Atende 100% das demandas não potáveis em 23 das 26 escolas analisadas
9	Análise de viabilidade técnica e econômica de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis em uma instituição de ensino federal em Pernambuco	Estado de Pernambuco	2019	A. C. da Silva; A. F. A. da Silva; S. R. da Silva; M. T. de A. Silva	Atende 15% da demanda hídrica total para fins não potáveis
10	Potencial de economia de água e energia em edificações escolares	Região Metropolitana de Florianópolis	2019	Lucas Niehuns Antunes e Eneir Ghisi	Economia de 32,68% a 62,46% com água pluvial
11	Potencial de captação de água da chuva em Escola Técnica de São José do Egito-PE	Município de São José do Egito, PE	2019	Paloma Moreira dos Anjos	Economia superior a 50% no consumo de água potável

12	Potencial de aproveitamento de água pluvial em escolas estaduais de Uberlândia-MG	Município de Uberlândia, MG	2017	Vanderlei de Oliveira Ferreira; Pedro Gomes Junqueira Mendes	Não especificado quantitativamente
13	Captação e Aproveitamento da Água das Chuvas: O Caminho para uma Escola Sustentável	Município de Marechal Cândido Rondon, PR	2017	J. E. Tugoz; G. R. F. Bertolini; L. T. Brandalise	Redução de até 57,97% no consumo de água tratada
14	Potencial de aproveitamento de água de chuva na Universidade Federal do Pará	Município de Belém, PA	2016	Thays Valente do Nascimento; Lindemberg Lima Fernandes; Gabriel Hiromite Yoshino	Economia superior a 100% nos meses chuvosos
15	Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis do CEFET/RJ	Município do Rio de Janeiro, RJ	2016	Doralice Chagas Tavares; Gabriel de Pinna Mendez; Lívia do Carmo Miranda; Sergio Luiz Borges Filho; Renata Gomes de Brito Mariano; Maria José Paes Santos	Economia de 25% sobre a demanda para fins não potáveis

Fonte: dados levantados por revisão bibliográfica realizada no Google Acadêmico.

1.3.1 Aspectos legais e normativos associados ao aproveitamento de águas de chuva

Apesar de já estar em consonância com a Lei das Águas (Lei Federal 9.433/1997) desde sua criação, o incentivo e a promoção do aproveitamento de água de chuva, foram incorporados pela Lei nº 13.501/2017 como um dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Já que a prática colabora com o objetivo de

assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água. Essa inclusão representa um avanço significativo na legislação, ao formalizar o aproveitamento de águas de chuva como uma estratégia essencial para a gestão integrada e eficiente dos recursos hídricos no Brasil.

A Lei nº 14.546, de 4 de abril de 2023 introduz alterações significativas à Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 - conhecida como a Lei de Saneamento Básico -, com foco em práticas sustentáveis de gestão de água. Essa legislação visa promover o uso eficiente dos recursos hídricos por meio do incentivo ao aproveitamento das águas de chuva e ao reúso não potável das águas cinzas em novas edificações, bem como em atividades paisagísticas, agrícolas, florestais e industriais.

De acordo com o seu Artigo 49-A, a União tem o papel de estimular essas práticas. A lei exige que as redes hidráulicas e os reservatórios para águas de chuva e cinzas sejam separados da rede de abastecimento público, garantindo que esses recursos passem por um tratamento adequado antes de serem armazenados e utilizados, assegurando assim a segurança e a eficácia do seu uso. Essa abordagem visa não apenas a conservação de água, mas também a redução do desperdício, promovendo a sustentabilidade ambiental.

A Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, reforça a importância do aproveitamento de águas de chuva no contexto do saneamento básico no Brasil. Ela atualiza o marco legal, incluindo diretrizes específicas para estimular o uso racional dos recursos hídricos. Entre as principais disposições, ela acrescenta ao Art. 2º da Lei nº 11.445 (ABNT, 2007) a promoção do aproveitamento de águas de chuva como um dos princípios a serem observados na prestação de serviços públicos de saneamento. Além disso, estabelece que os contratos de prestação desses serviços devem conter metas claras para o uso eficiente da água, incluindo o aproveitamento de águas de chuva.

A legislação também prevê que, embora o pagamento de taxas ou tarifas não isente os usuários da obrigação de se conectarem à rede pública de esgotamento sanitário, há exceções para casos de reúso e captação de água de chuva, promovendo assim práticas sustentáveis e a conservação dos recursos naturais.

A Lei nº 12.873, de 24 de outubro de 2013, institui o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água, conhecido como Programa Cisternas. Este programa tem como objetivo central promover o acesso à água para consumo humano e animal, além de apoiar a

produção de alimentos, através da implementação de tecnologias sociais voltadas para as famílias rurais de baixa renda afetadas pela seca ou pela falta regular de água.

Em 2023, de acordo com o Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (MDS), o Governo Federal revitalizou o programa com um significativo investimento de R\$ 570 milhões previsto para 2024, com o intuito de enfrentar o desafio do acesso à água potável nas regiões do Semiárido e Amazônica do Brasil. A meta é instalar 221 mil cisternas até 2026, beneficiando comunidades vulneráveis. Em 2023, foram contratadas 62,7 mil cisternas, com planos de expandir para mais 50 mil, criando um estoque para 2025. O programa também abrange a Amazônia, beneficiando 4.625 famílias rurais de baixa renda, permitindo a captação de água da chuva para consumo e produção sustentável, fortalecendo a resiliência dessas comunidades frente às adversidades climáticas.

A Lei Estadual nº 9164, de 28 de dezembro de 2020, estabelece diretrizes para o armazenamento e retardo da água de chuva em áreas urbanas, visando seu aproveitamento e a postergação de sua descarga na rede pública. Esta legislação aplica-se a novas edificações unifamiliares com coberturas superiores a 100 metros quadrados, exigindo a instalação de reservatórios para acumulação de águas pluviais destinadas a usos não potáveis. Os reservatórios dimensionados de acordo com a norma NBR 15.527 (ABNT, 2019), consideram a demanda não potável, a área de captação e o regime pluviométrico local. Além disso, devem incluir sistemas de captação que recolham água exclusivamente de telhados e coberturas, equipados com dispositivos para remover sólidos indesejáveis, garantindo a qualidade da água armazenada. A lei busca promover a conservação ambiental e o uso eficiente dos recursos hídricos urbanos.

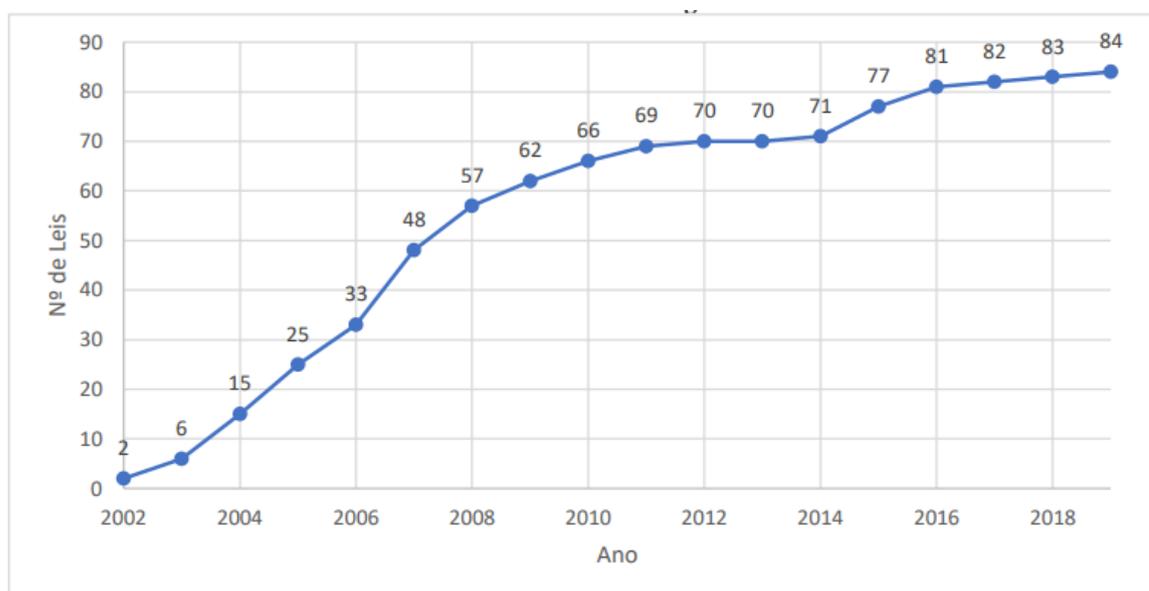
A Lei nº 7772, de 6 de novembro de 2017, autoriza a criação de um sistema de reservatórios públicos, conhecidos como "piscinões", no estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de gerenciar o escoamento e o aproveitamento das águas pluviais resultantes de grandes volumes de chuva. Esses reservatórios têm a função de armazenar o excesso de água, que pode ser redirecionada para atividades que não exigem o uso de água potável, como irrigação de áreas verdes e limpeza de vias públicas, desde que sejam seguidas as diretrizes e parâmetros legais específicos para cada tipo de uso. A iniciativa visa mitigar os efeitos das chuvas intensas, como enchentes, e promover o uso sustentável dos recursos hídricos.

A NBR 15527 (ABNT, 2019) estabelece os requisitos técnicos para o aproveitamento de água de chuva coletada de coberturas em áreas urbanas, destinada a usos não potáveis. Essa norma abrange aspectos como a captação, o tratamento, o armazenamento e a utilização da água de chuva.

Embora haja um avanço em relação à legislação preexistente, aumentando significativamente o número de legislações relacionadas ao tema nos últimos anos, Figura 5, a abordagem do tema ainda carece de maior especificidade. Observa-se que muitos dispositivos legais tratam o tema de forma superficial, demandando uma legislação mais robusta e detalhada para efetivamente regular e incentivar o aproveitamento desses recursos hídricos. (MEDEIROS,2020)

Cabe destacar o salto notadamente no período do 1º decênio do século, quando passou de 2 a cerca de 60 leis em cerca de 8 anos.

Figura 5 - Evolução do número acumulado de leis que tratam do aproveitamento de água de chuva e ou cinzas em território brasileiro no período entre 2002 e 2018



Fonte: MEDEIROS, 2020

Neste sentido, o presente trabalho busca subsidiar novas regulamentações e política públicas para incentivo e implementação do aproveitamento de água de chuva como estratégia de segurança hídrica.

2. METODOLOGIA

2.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para selecionar o Centro Integrado de Educação Pública (CIEP) utilizado como estudo de caso neste trabalho, foi realizada uma avaliação preliminar de 49 CIEPs que participaram da primeira fase do Projeto ECO – Escola Criativa e de Oportunidades.

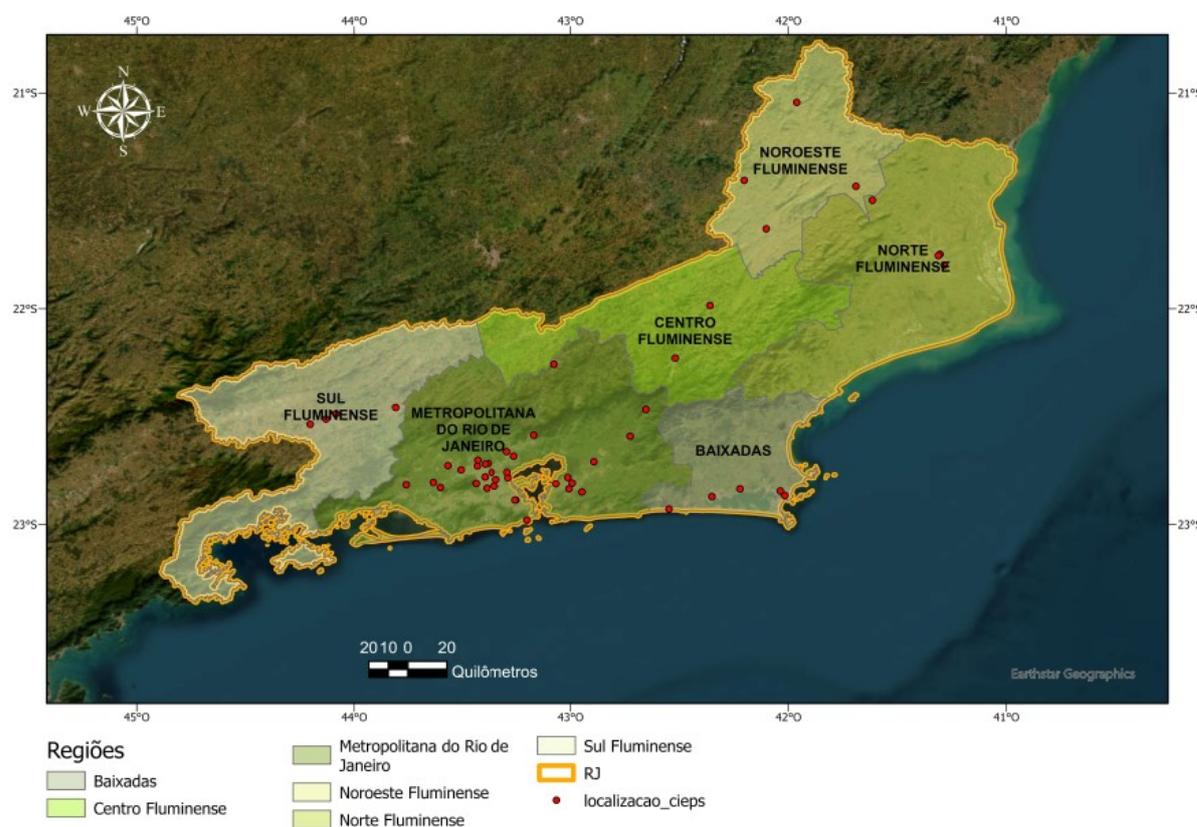
Em 2021, a Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro lançou, em parceria com a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) o Projeto ECO, que selecionou CIEPs situados em regiões do estado do RJ com baixos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH). O propósito do Projeto era alinhar essas escolas com as demandas pedagógicas atuais, incorporando conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico (SEEDUC, 2022).

Como parte da estrutura do Projeto, foi estabelecido o Laboratório de Estudos Aplicados, com a missão de desenvolver projetos que contribuíssem pedagogicamente para o aprendizado dos estudantes das escolas participantes e para o desenvolvimento acadêmico dos alunos da UERJ, além de fomentar a pesquisa aplicada. Essas atividades foram conduzidas pela equipe da UERJ, composta por professores, pesquisadores e colaboradores, que acompanharam a implementação dos projetos e documentaram as metodologias utilizadas e os resultados obtidos.

De acordo com o Plano de Trabalho aprovado pela SEEDUC, os objetivos dessa parceria incluem a produção de conteúdo acadêmico de alta qualidade que promova o desenvolvimento acadêmico dos estudantes e a disseminação do conhecimento gerado a partir dos projetos e estudos aplicados às práticas de educação ambiental, lixo zero, agroecologia (hortas comunitárias), educação sanitária e bem-estar animal. Embora não constasse inicialmente no escopo original, por sugestão da equipe da UERJ foi incluído o aspecto de racionalização do uso de água no documento final (SEEDUC, 2022).

A partir dos relatórios gerados pela Equipe do projeto responsável pela implementação das hortas foram identificados dados gerais dos 49 CIEPs, incluindo sua localização geográfica, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Localização dos 49 CIEPs identificados pela pesquisa



Fonte: a autora.

Para identificar os Centros Integrados de Educação Pública (CIEPs) do estado do Rio de Janeiro com potencial de participação no estudo, foi elaborado, no escopo do presente estudo, um questionário online no Google Forms, anexo I deste trabalho, com perguntas sobre infraestrutura, atividades relacionadas à água e dados de consumo.

O formulário foi enviado aos responsáveis pelos 49 CIEPs e foram obtidas 5 respostas das instituições: CIEP Brizolão 418 Antônio Carlos Bernardes Mussum, CIEP 457, CIEP 141 Vereador Said Tanus José, CIEP 480 Professor Luiz Carlos Veronese e CIEP 486 Professor Luiz Vallejo.

As escolas que responderam o formulário afirmaram possuir reservatório de água, com capacidade entre 10 mil e 45 mil litros. Além disso, todas as escolas afirmaram realizar atividades como horta, certificado lixo zero, separação de resíduos sólidos e compostagem.

Em relação à captação de água da chuva, três escolas (CIEPs 418, 480 e 486) relataram possuir o sistema com capacidade de 1000 litros. No entanto, apenas o CIEP 486 e o CIEP 418 afirmaram que o sistema está em pleno funcionamento, sendo

a água utilizada para irrigação da horta. O CIEP 480 relatou que o sistema está parcialmente instalado.

Considerando os dados pluviométricos da região onde cada escola está localizada, a melhor opção para a realização do estudo sobre o potencial de aproveitamento de água da chuva foi o CIEP 418, situado no bairro de Ricardo de Albuquerque, na cidade do Rio de Janeiro-RJ. O CIEP 418 está distante cerca de 1,6 quilômetros da Estação Pluviométrica Anchieta, conforme apresentado no Mapa 2.

Figura 7 - Localização do CIEP 418 e da Estação Anchieta (Alerta Rio)



Fonte: IBGE,2022; Alerta Rio; Google Maps.

O CIEP 418 ocupa um terreno de 11.500 m², composto por um prédio principal, uma quadra poliesportiva coberta, um espaço de horta escolar, uma sala maker, uma sala estúdio e cinco salas com projeção interativa.

A escola possui um sistema de abastecimento de água com duas cisternas e duas caixas d'água, cada uma com capacidade de 10.000 litros. A casa de bomba está equipada com uma torneira para uso na horta, que está situada a 30 metros do ponto de água. Além disso, a escola conta com um sistema de captação de água da chuva com capacidade de 1.000 litros, utilizado para irrigação de jardins, plantas e lavagem de pisos. Segundo os responsáveis, o sistema funciona de maneira eficiente.

O CIEP 418 possui uma horta escolar com dois módulos, cada um com 200 m², totalizando uma área de cultivo de aproximadamente 400 m². A horta é utilizada para

o cultivo de hortaliças, legumes e plantas aromáticas, e está integrada ao cotidiano escolar.

Com uma comunidade escolar de cerca de 134 alunos e 18 funcionários, o CIEP 418 possui 28 banheiros, com um total de 26 bacias sanitárias.

Na Figura 7 é apresentada a fachada do CIEP 418.

Figura 8 - Fachada do CIEP 418



Fonte: Fornecida pelo CIEP 418

2.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS DE CHUVA

Para encontrar a estação pluviométrica mais próxima de cada CIEP, utilizou-se o Mapa de Estações do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, que também disponibiliza o nome das instituições responsáveis. Em seguida, verificou-se a série de dados disponível em cada instituição e a consistência desses dados.

Das 49 estações, 35 são do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, criado em 2011, 6 são da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2 são do INMET e 2 do Alerta Rio, sistema de alerta de chuvas intensas e de deslizamentos em encostas da cidade do Rio de Janeiro.

Para este trabalho, pretende-se analisar a série histórica de precipitação, identificar as tendências do regime pluviométrico referente aos índices extremos de precipitação e avaliar se o aproveitamento de água de chuva pode ser utilizado como uma estratégia de segurança hídrica neste contexto. Para atingir esses objetivos, é fundamental que a série histórica seja longa e apresente boa consistência de dados. Considerando o exposto, definiu-se como área de estudo a bacia onde está localizada a estação D5051 do Alerta Rio, no município do Rio de Janeiro, no bairro Anchieta, tendo o CIEP 418 Antônio Carlos Bernardes - Mussum como estudo de caso.

Os dados exportados do site do Alerta Rio são de leituras a cada 15 minutos e possuem formato TXT. Para realizar as análises, os dados devem ser tratados, como valores diários de chuva e dias úmidos (com chuva) apenas aqueles que possuem precipitações maiores que 1 mm (um milímetro). Para isso, os dados foram unificados em uma planilha no Excel e tratados.

Para análise estatística dos dados foi utilizado o *software* RClimDex.

O RClimDex é uma ferramenta para a análise de tendências climáticas, que permite a detecção de mudanças nos padrões de temperatura e precipitação ao longo do tempo, fornecendo informações valiosas para estudos de impacto climático e planejamento de adaptação (Zhang e Yang, 2004)

De acordo com seu manual (Zhang e Yang, 2004), o RClimDex é uma ferramenta desenvolvida para calcular índices de extremos climáticos, facilitando o monitoramento e a detecção de mudanças climáticas. Baseado no software R, ele oferece uma interface amigável para calcular 27 índices principais recomendados pelo CCI/CLIVAR Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI). Esses índices incluem medidas de temperatura e precipitação, como dias de geada, noites tropicais e dias de precipitação intensa, entre outros. A ferramenta foi projetada para ser independente de sistemas operacionais específicos, funcionando tanto em ambientes Windows quanto Unix. Um dos índices calculados é o RX1day, que representa a quantidade máxima de precipitação em um único dia dentro de um período específico. Este índice identifica eventos de precipitação extrema que podem causar inundações e outros desastres naturais e socioambientais. Outro índice importante é o RX5day, que calcula a quantidade máxima de precipitação acumulada em um período de cinco dias consecutivos, fornecendo insights sobre eventos de precipitação prolongada que podem saturar o solo e aumentar o risco de deslizamentos (Zhang e Yang, 2004).

O SDII ou Índice de Intensidade Diária Simples é calculado dividindo a precipitação total anual pelo número de dias chuvosos, oferecendo uma média da intensidade das chuvas em dias em que ocorre precipitação. Além disso, o RCLimDex calcula o número de dias com precipitação intensa (R10) e muito intensa (R20), que são definidos como dias com precipitação igual ou superior a 10 mm e 20 mm, respectivamente. Esses índices ajudam a entender a frequência de eventos de chuva forte em uma determinada região (Zhang e Yang, 2004).

O índice Rnn permite que o usuário defina um limiar específico (nn) para contar o número de dias em que a precipitação excede esse valor, oferecendo flexibilidade na análise de eventos de precipitação de interesse específico (Zhang e Yang, 2004).

Os índices CDD e CWD calculam o número máximo de dias consecutivos secos e chuvosos, respectivamente, fornecendo informações valiosas sobre padrões de seca e períodos prolongados de chuva (Zhang e Yang, 2004).

Os índices R95p e R99p medem a precipitação total em dias muito chuvosos e extremamente chuvosos, definidos como dias em que a precipitação excede o 95º e o 99º percentil, respectivamente. Esses índices são essenciais para avaliar a contribuição de eventos extremos para a precipitação total em uma região (Zhang e Yang, 2004).

Por fim, o índice PRCPTOT calcula a precipitação total anual em dias chuvosos, somando a precipitação diária em dias com precipitação igual ou superior a 1 mm. Este índice fornece uma visão geral da quantidade total de chuva em um ano, excluindo dias secos (Zhang e Yang, 2004).

O RCLimDex também gera gráficos de séries temporais que ajudam a visualizar a distribuição e tendência desses índices ao longo do tempo. O processo de controle de qualidade dos dados é essencial para garantir a precisão dos cálculos, permitindo que o usuário identifique e corrija valores atípicos antes de calcular os índices (Zhang e Yang, 2004).

Para o presente estudo utilizou-se o RCLIMDEX para calcular 11 índices, como: CDD, CDW, PRCPTOT, R95, R99, R10, R20, R25, SDII, RX1day, RX5day, da série histórica de 2003 a 2017 com dados da Estação Anchieta do Sistema Alerta Rio.

2.3 ANÁLISE DE POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA DO CIEP 418

Para avaliar o potencial de aproveitamento de água de chuva no Centro Integrado de Educação Pública (CIEP), foi calculada a disponibilidade teórica de água de chuva, conforme estabelecido pela NBR 15527 (ABNT, 2019). Esta disponibilidade é calculada considerando o volume de chuva, a área de captação, o coeficiente de eficiência dos sistemas e o runoff da superfície de escoamento, conforme a Equação 1.

$$V_{\text{disp}} = P \times A \times C \times \eta \quad (1)$$

onde

- V_{disp} é o volume disponível expresso em litros (L),
- P é a precipitação média do período definido (anual, mensal ou diária) expressa em milímetros (mm);
- A é a área de coleta, expressa em metros quadrados (m^2);
- C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura (runoff); e
- η é a eficiência do sistema de captação.

Para o dimensionamento do reservatório será utilizado o método de dias secos consecutivos, conforme descrito nos estudos de Jacob et al. (2016). Este método possibilita a determinação de volumes de armazenamento, determinado pela Equação 2, de acordo com eventos de dias secos consecutivos com determinado tempo de retorno, determinado pela Equação 3.

$$V_{\text{res}} = \text{Est} \times C_{\text{ap}} \quad (2)$$

Sendo:

V_{res} : volume do reservatório

Est: dias secos consecutivos

C_{ap} : o consumo não potável do CIEP, neste estudo de caso, mensal.

$$x = \bar{x} - \sigma \left[0,45 + 0,7797 \cdot \ln \left(\ln \frac{TR}{TR-1} \right) \right] \quad (3)$$

Sendo

X: Dias consecutivos secos da série histórica selecionada;

\bar{x} : Média dos dias secos consecutivos;

σ : Desvio padrão da amostra;

TR: Período de retorno em anos

Para o CIEP 418 foram considerados dados locais de precipitação para identificar o maior número de dias consecutivos sem chuva. Este cálculo é realizado considerando precipitações diárias inferiores a 1 mm como dias secos, e utiliza a distribuição de frequência de Gumbel para determinar um período de retorno de 10 anos. Isso implica uma probabilidade de 10% de ocorrência de um evento de estiagem em qualquer ano específico.

A aplicação do método no CIEP estudado permite identificar a capacidade de armazenamento necessária para garantir o abastecimento de água durante os períodos de seca com tempo de retorno de 10 anos. A análise dos dados de dias consecutivos secos auxilia na determinação de volumes de reservatórios adequados, considerando o consumo mensal de água para fins não potáveis, como descarga sanitária, irrigação da horta e lavagem de pisos. A análise da compatibilidade entre a oferta hídrica, determinada pelos períodos de estiagem e a demanda do CIEP é fundamental para o dimensionamento eficiente dos sistemas de captação.

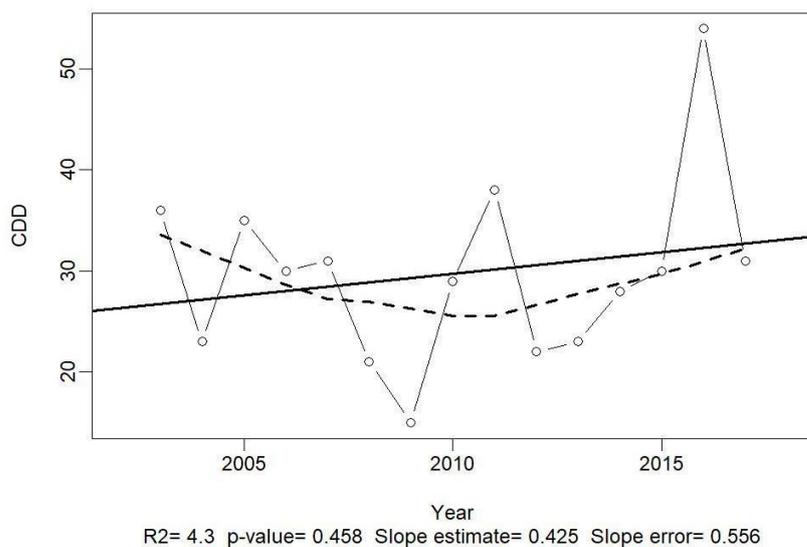
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE DA SÉRIE HISTÓRICA DE CHUVAS

Os gráficos gerados pelo RClimDex são ferramentas para a análise de padrões de precipitação ao longo do tempo, apresentando séries temporais dos índices calculados com linhas de tendência de regressão linear simples e localmente ponderada. Esses gráficos permitem visualizar a direção geral das mudanças nos índices, sendo fundamentais para a interpretação de tendências a partir de estatísticas como o coeficiente de determinação (R^2), o p-value, a estimativa da inclinação (Slope Estimate) e o erro da inclinação (Slope Error). O R^2 indica o quão bem o modelo de regressão linear explica a variação nos dados, enquanto o p-value avalia a significância estatística das tendências observadas. A inclinação positiva ou negativa revela a direção da mudança nos índices de precipitação, e o erro da inclinação indica a precisão dessa estimativa (Zhang e Yang, 2004)

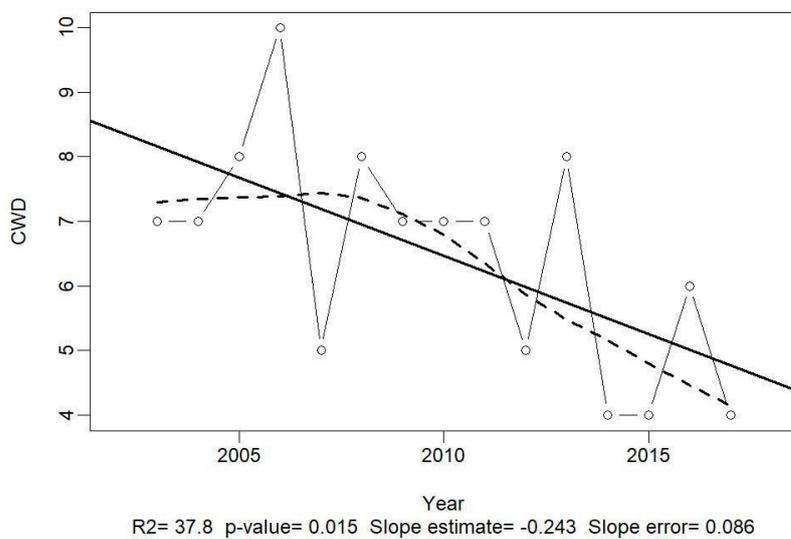
No estudo do CIEP 418, foram utilizados dados de precipitação diária da Estação Anchieta do Sistema Alerta Rio, abrangendo uma série histórica de 15 anos, de 2003 a 2017. Os dados foram tratados e modelados no RClimDex, e os resultados apresentados nos gráficos 3 a 13, que ilustram as mudanças nos padrões de precipitação ao longo do tempo. A análise desses gráficos, considerando a magnitude e a direção da inclinação, juntamente com os valores de R^2 e p-value, permite uma compreensão das tendências de precipitação para a região.

Gráfico 1 - Dias Secos Consecutivos (CDD) de 2003 a 2017- Estação Anchieta



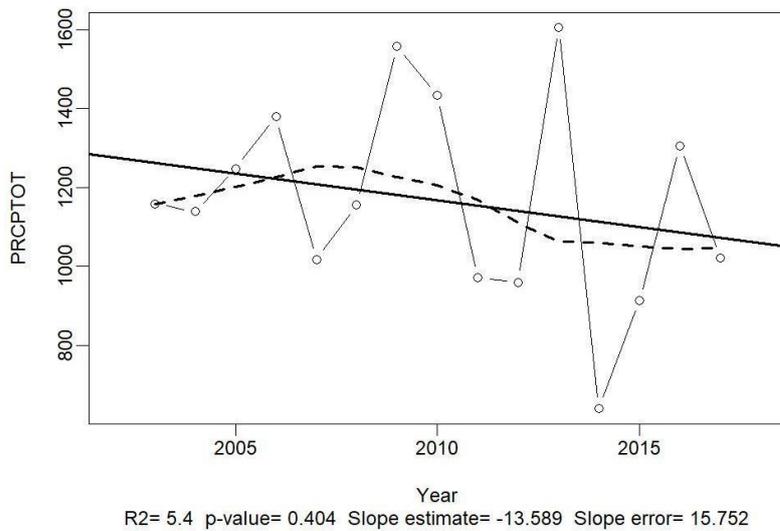
Fonte: a autora.

Gráfico 2 - Dias Úmidos Consecutivos de 2003 a 2017

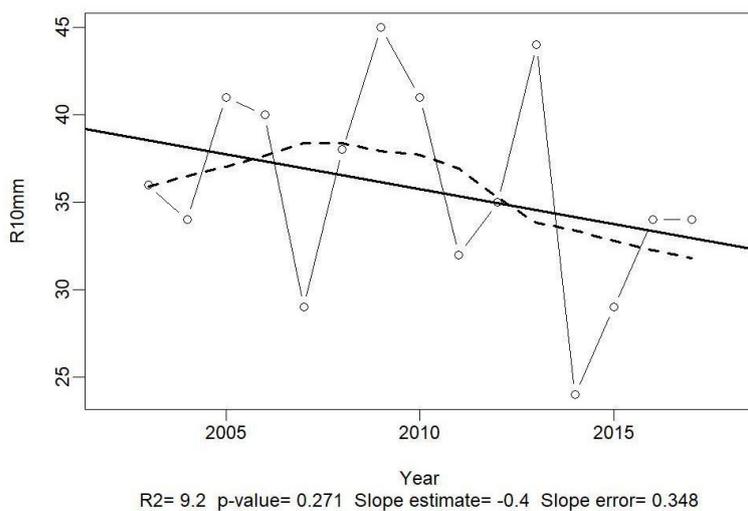


Fonte: a autora.

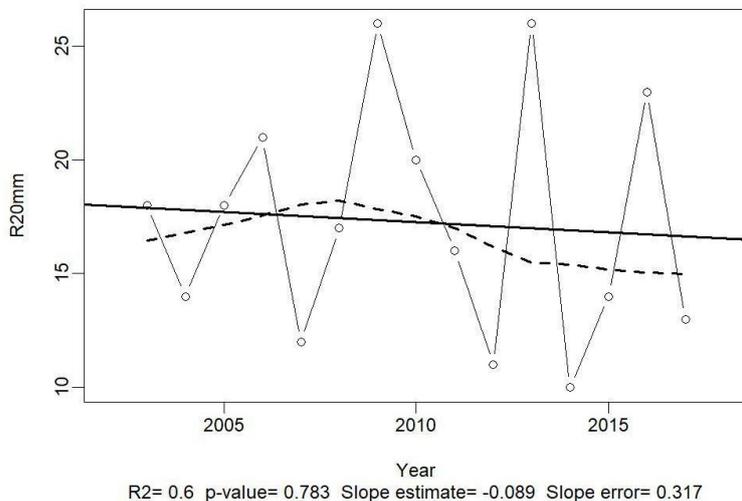
Gráfico 3 - Precipitação Total Anual de 2003 a 2017 na Estação Anchieta



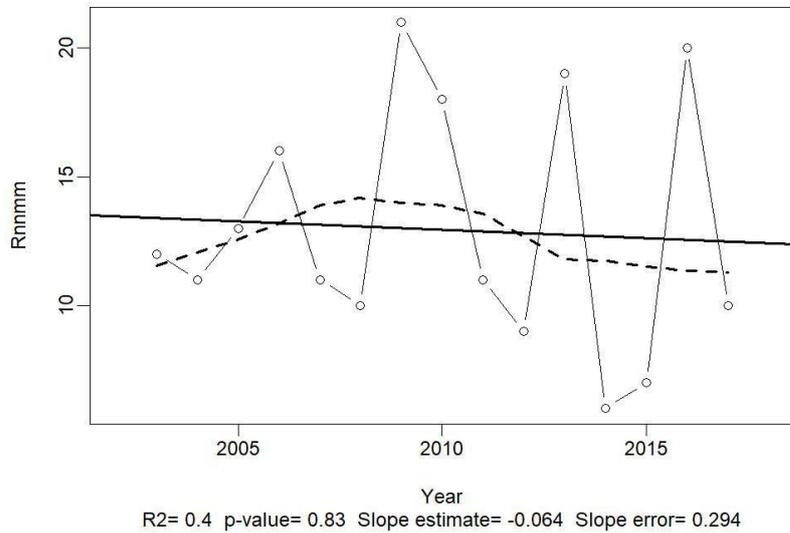
Fonte: a autora.

Gráfico 4 - Número de Dias com precipitação ≥ 10 mm (R10mm)

Fonte: a autora.

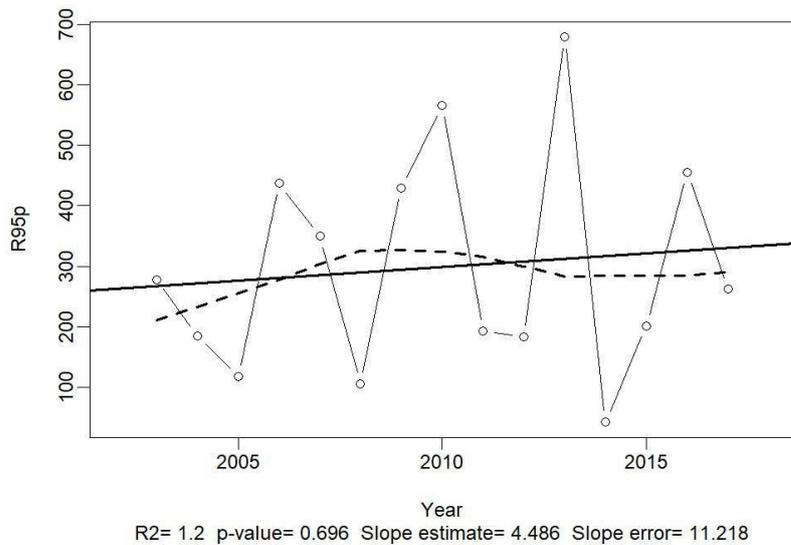
Gráfico 8: Número de Dias com precipitação ≥ 20 mm (R20mm)Gráfico 5 - Número de Dias com precipitação ≥ 20 mm (R20mm)

Fonte: a autora.

Gráfico 6 - Número de Dias com precipitação ≥ 25 mm (R25mm)

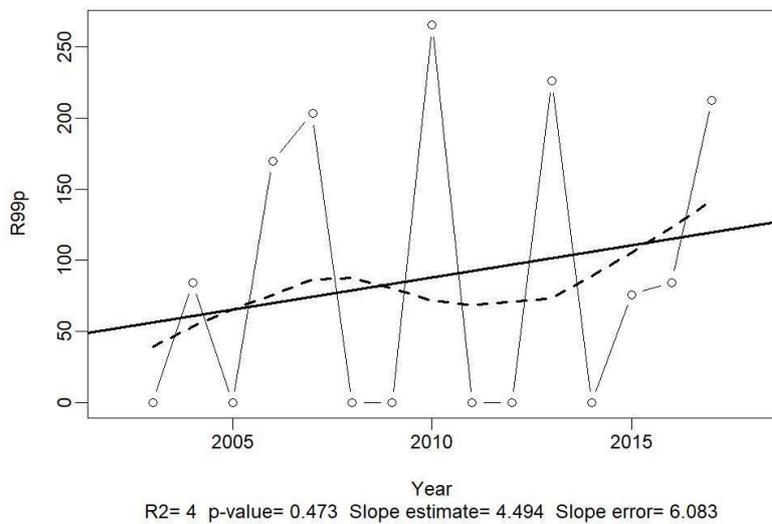
Fonte: a autora.

Gráfico 7 - Número de dias com precipitação superior ao 95º percentil



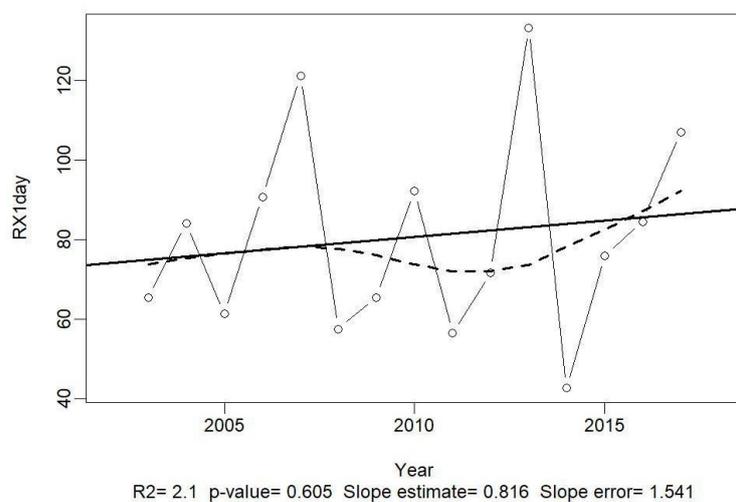
Fonte: a autora.

Gráfico 8 - Número de dias com precipitação superior ao 99º percentil



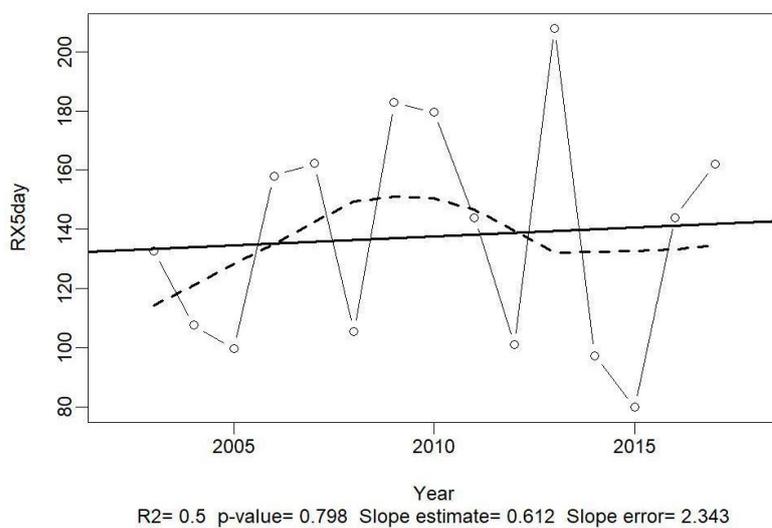
Fonte: a autora.

Gráfico 9 - Precipitação máxima em 1 dia



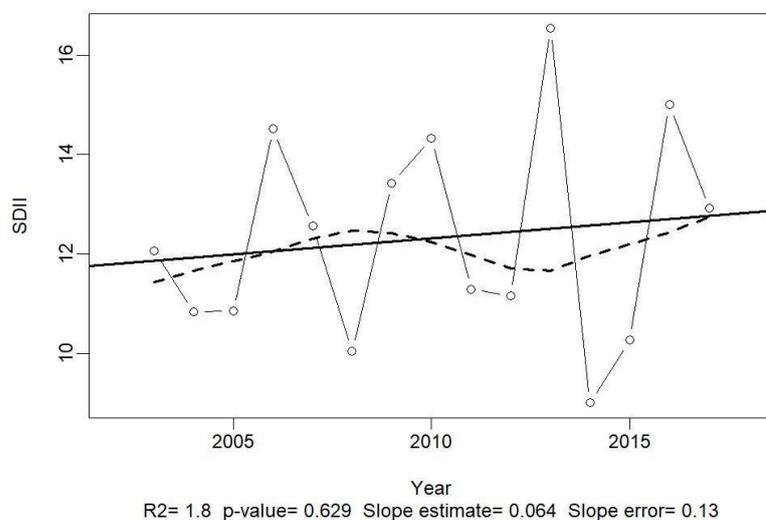
Fonte: a autora.

Gráfico 10 - Precipitação máxima em 5 dias consecutivos



Fonte: a autora.

Gráfico 11 - Índice de intensidade de precipitação



Fonte: a autora.

Tabela 2 - Valores de tendência e valor-p calculados no Rclimindex para o período de 2003 a 2017

Índice	Inclinação (Slope Estimate)	p-value
CDD	0.425	0.458
CWD	-0.243	0.015
PRCPTOT	-13.589	0.404
R10mm	-0.400	0.271
R20mm	-0.089	0.783
R25mm	-0.064	0.830
R95p	4.486	0.696
R99p	4.494	0.473
RX1day	0.816	0.605
RX5day	0.612	0.798
SDII	0.064	0.629

Fonte: a autora

No Sudeste do Brasil, as projeções futuras dos indicadores de extremos climáticos associados à precipitação indicam tendência de aumento de dias secos consecutivos e redução de dias úmidos (Lyra et al., 2018; Avila-Diaz et al., 2020). Entretanto, de acordo com as projeções de cenários futuros analisadas no estudo de Avila-Diaz et

al. (2020), a frequência e a intensidade de dias extremamente úmidos devem aumentar.

De acordo com Alves et al. (2023), o índice de CDD (Consecutive Dry Days - Dias Secos Consecutivos) apresenta uma tendência crescente durante o período seco na maior parte da América do Sul. O gráfico 4 apresentado, referente à série histórica de 2003 a 2017, evidencia uma linha de tendência com inclinação positiva, indicando um aumento no número de dias secos consecutivos na região, o que corrobora com os achados de Alves et al. Observam-se variações significativas no índice CDD, refletindo a dinâmica dos padrões climáticos locais.

Para o período estudado, o menor valor de CDD foi registrado em 2009, com apenas 15 dias secos consecutivos. Em contraste, o ano de 2016 destacou-se como o mais seco, com o maior CDD registrado, evidenciando um período de seca prolongada. Segundo o relatório "Conjuntura de Recursos Hídricos do Brasil 2017" (ANA, 2017), 2016 foi o ano mais crítico, entre 2013 e 2016, em termos de impactos da seca sobre a população, afetando cerca de 18 milhões de brasileiros.

Além de 2009, outros anos com CDD relativamente baixos foram 2005 e 2010, indicando períodos de seca menos intensos. Por outro lado, além de 2016, os anos de 2007 e 2014 também apresentaram CDD elevados, com períodos de seca que ultrapassaram 40 dias consecutivos. O ano de 2014 marcou o início da crise hídrica de 2014-2015, quando a bacia do rio Paraíba do Sul e o estado do Rio de Janeiro enfrentaram déficits severos de precipitação, resultando em uma seca prolongada e uma crise hídrica sem precedentes, que afetou diversos setores usuários de água em todo o estado (COSTA et al., 2015).

Silva et al. (2014) analisaram projeções futuras (2041-2070) de alguns indicadores de extremos climáticos para o estado do Rio de Janeiro utilizando o modelo regional Eta-HadCM3 e encontraram projeções que apontam o aumento de dias secos consecutivos. Também detectaram o aumento nos totais pluviométricos das chuvas mais intensas, principalmente na porção sul do estado, com uma faixa de dispersão entre +50 e +300 mm.

Embora o p-value alto indique que essa tendência não é estatisticamente significativa, um aumento nos dias secos pode ser indicativo de maior variabilidade nos padrões de precipitação, com períodos mais longos de seca, algo que pode estar relacionado a mudanças nos padrões de circulação atmosférica, como o aumento de bloqueios que impedem a chegada de frentes frias ou sistemas úmidos à região.

Por outro lado, a redução significativa nos dias úmidos consecutivos (CWD), com uma inclinação negativa e um p-value de 0.015, destaca uma tendência relevante: a duração dos períodos contínuos de precipitação está diminuindo. Isso sugere uma maior fragmentação dos eventos de chuva, com períodos de precipitação mais curtos e intensos, intercalados por intervalos secos. Essa mudança pode estar associada ao aumento na frequência de eventos extremos de precipitação, uma característica esperada em cenários de mudança climática, onde a irregularidade na distribuição das chuvas se torna mais pronunciada.

A precipitação total anual (PRCPTOT) apresenta uma inclinação negativa, sugerindo uma redução na precipitação ao longo do tempo. No entanto, a diminuição da precipitação total, mesmo que não estatisticamente relevante, pode ter implicações importantes para a disponibilidade hídrica na região. A tendência negativa para os dias com precipitação ≥ 10 mm (R10mm) também sugere uma diminuição na frequência de eventos de chuva moderada, o que pode estar relacionado à fragmentação dos eventos de precipitação.

Para os dias com precipitação ≥ 20 mm (R20mm) e ≥ 25 mm (R25mm), as tendências são muito pequenas e não significativas, indicando que a frequência de eventos mais intensos de precipitação não mudou substancialmente. Já os índices de precipitação intensa (R95p) e extremamente intensa (R99p) mostram inclinações positivas, sugerindo um aumento na quantidade de chuva durante eventos extremos. O aumento da precipitação em eventos extremos é consistente com as projeções de mudanças climáticas apresentadas pelo IPCC.

Os resultados também mostram uma leve tendência de aumento na precipitação máxima em 1 dia (RX1day) e em 5 dias consecutivos (RX5day), sugerindo um aumento na intensidade dos eventos de precipitação em períodos curtos. O índice de intensidade de precipitação (SDII), que mede a intensidade média da precipitação em dias chuvosos, apresenta uma leve inclinação positiva, sugerindo que, embora o número de dias chuvosos possa estar diminuindo, a intensidade dos eventos de precipitação está aumentando, o que é consistente com o aumento da intensidade dos eventos extremos de precipitação observado em outros índices.

De forma geral, a análise dos índices climáticos para a estação de Anchieta entre 2003 e 2017 sugere uma fragmentação dos eventos de chuva, com menos dias úmidos consecutivos e uma possível tendência de aumento na intensidade dos eventos de precipitação extrema. Embora a precipitação total anual esteja mostrando

uma leve tendência de redução, os eventos de chuva intensa podem estar se tornando mais frequentes, o que é consistente com as projeções globais de mudanças climáticas. A combinação de períodos mais longos de seca com chuvas mais intensas pode ter implicações importantes para a gestão de recursos hídricos, a agricultura e a infraestrutura local. Essas tendências refletem padrões que são esperados em um cenário de aquecimento global, de acordo com o IPCC (2021), onde a variabilidade climática e a ocorrência de extremos tendem a aumentar.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DO CIEP 418

Os dados referentes ao CIEP 418 foram coletados através de um formulário desenvolvido pela autora no âmbito desta pesquisa. Este formulário, que pode ser encontrado no Anexo I, foi enviado à instituição e devidamente respondido. Além disso, foram utilizados dados do relatório de viabilidade para a implementação da horta, bem como os projetos das estruturas dos CIEPs, todos fornecidos pela Coordenadoria de Projetos da UERJ.

O CIEP 418 Antônio Carlos Bernardes, conhecido como CIEP Mussum, está localizado na Rua Moraes Pinheiro, 837, no bairro de Ricardo de Albuquerque, Rio de Janeiro. A edificação ocupa um terreno de 11.500 m². O prédio principal é composto de áreas construídas, incluindo o térreo com 1.714,62 m², o primeiro e o segundo pavimentos, e a cobertura com 1.238,80 m² de área. Além disso, o CIEP possui uma biblioteca e residência do administrador/zelador com uma área de 323,00 m², e uma quadra de esportes coberta com 1.115,52 m².

A escola mantém uma horta com dois módulos básicos, cada um com 200 m², totalizando uma área de cultivo de aproximadamente 400 m². As culturas cultivadas incluem hortaliças, legumes e plantas aromáticas.

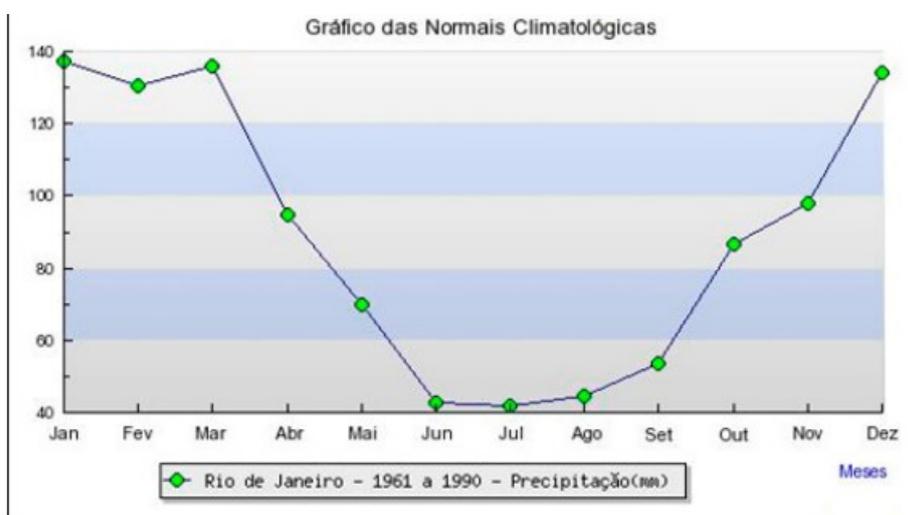
O Projeto ECO desenvolveu práticas sustentáveis na escola como a separação de resíduos sólidos e compostagem de resíduos orgânicos. A escola também conta com uma sala maker, sala estúdio e cinco salas com projeção interativa. A cozinha do CIEP serve refeições diariamente, incluindo café da manhã, lanches, almoço e jantar.

Com uma equipe de 18 funcionários, o CIEP 418 atende, no presente período (02/2024) a 134 alunos, oferecendo um ambiente educacional integrado e sustentável, apesar dos desafios enfrentados.

3.3 DISPONIBILIDADE TEÓRICA DE ÁGUA DE CHUVA PARA CAPTAÇÃO

Em todo o território fluminense e nas áreas adjacentes das bacias compartilhadas, as chuvas são mais intensas durante o verão, entre dezembro e março, enquanto no inverno, de julho a setembro, os índices pluviométricos, assim como as temperaturas, tendem a ser menores (COPPETEC, 2014). O Gráfico 2, apresenta as chuvas mensais médias, período 1961-1990, no Rio de Janeiro.

Gráfico 12 - Chuvas mensais médias, período 1961-1990, no Rio de Janeiro



Fonte: elaborado pela COPPETEC (2014) com base nos dados do INMET.

Em janeiro, o mês mais chuvoso, as precipitações médias variam de 50 mm a 150 mm nas planícies e ultrapassam 250 mm nas serras, enquanto em julho, o mês mais seco, apenas em partes da faixa costeira da Serra do Mar (RH-I) são observadas médias superiores a 60 mm, sendo que no restante do estado as médias ficam abaixo de 60 mm; na Região Hidrográfica (RH) que abrange a área de estudo, as chuvas apresentam uma pluviosidade média anual entre 1200 e 1400 mm nas planícies,

chegando a ultrapassar 2500 mm/ano nas escarpas serranas mais elevadas (COPPETEC, 2014).

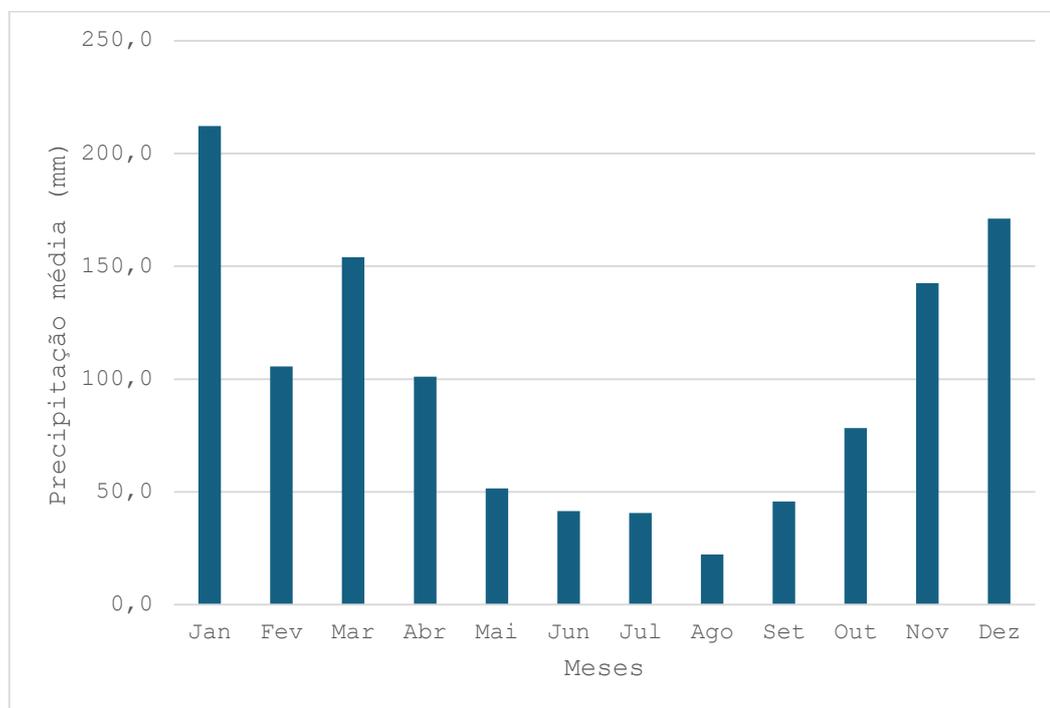
Os dados da Estação Anchieta, coletados do Sistema Alerta Rio para o período de 2003 a 2017, estão apresentados na Tabela 4 e a média mensal de precipitação para o período está representada no Gráfico 2.

Tabela 3 - Média Mensal de Chuva de 2003 a 2017

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Geral
2003	360,2	0,0	180,6	37,0	41,0	3,4	10,2	75,0	38,4	173,6	159,6	79,2	1158,2
2004	184,0	127,8	34,8	221,6	55,6	29,6	123,0	12,6	12,4	57,2	165,2	114,4	1138,2
2005	234,2	67,8	214,6	116,8	61,0	29,2	64,8	8,8	83,0	68,8	148,8	149,6	1247,4
2006	280,6	191,8	90,0	43,0	48,8	43,0	30,4	56,0	79,8	124,6	170,8	220,4	1379,2
2007	140,0	130,0	30,0	91,6	49,8	45,2	36,4	3,6	17,4	172,2	115,4	185,8	1017,4
2008	170,8	251,2	143,2	105,8	32,6	42,6	6,2	43,0	41,6	55,4	130,6	131,8	1154,8
2009	202,0	187,4	174,4	107,4	79,4	41,2	47,0	20,8	78,2	112,8	158,0	348,8	1557,4
2010	226,8	56,6	380,8	201,0	46,6	31,0	92,4	2,8	39,0	78,8	57,4	220,4	1433,6
2011	112,0	33,8	137,8	192,4	82,8	29,0	11,4	1,8	5,4	96,8	104,4	163,2	970,8
2012	242,0	31,2	119,8	72,2	75,8	73,6	23,6	18,8	91,2	43,2	81,4	86,8	959,6
2013	378,8	116,8	186,8	76,0	47,8	21,8	73,6	4,6	53,2	71,4	196,2	377,8	1604,8
2014	42,8	24,0	138,0	67,6	46,0	53,2	71,2	9,0	27,6	29,4	75,6	55,0	639,4
2015	100,2	120,0	199,8	50,6	40,4	60,2	6,8	2,4	73,0	12,0	139,2	108,6	913,2
2016	291,4	188,2	129,2	10,2	25,8	55,8	0,0	34,6	30,8	39,2	252,4	247,6	1305,2
2017	216,4	58,2	151,2	122,4	40,6	64,2	12,0	40,0	15,8	39,2	183,6	77,2	1020,8
Total Geral	3182,2	1584,8	2311,0	1515,6	774,0	623,0	609,0	333,8	686,8	1174,6	2138,6	2566,6	17500,0
Média mensal	212,1	105,7	154,1	101,0	51,6	41,5	40,6	22,3	45,8	78,3	142,6	171,1	1166,7
Desvio padrão	93,1	74,7	82,6	62,4	16,7	18,2	36,9	22,6	28,8	49,1	50,9	97,2	261,2

Fonte: elaborada pela autora com dados do Sistema Alerta Rio.

Gráfico 13 - Precipitação média mensal para o período de 2003 a 2017



Fonte: elaborado pela autora com dados do Sistema Alerta Rio.

A média anual de chuva para a estação é de 1167 mm, abaixo do valor médio apresentado para RH-V de 1200mm, de acordo com o PERHI. Destaca-se que no mês de fevereiro de 2003, período chuvoso para região, o valor está zerado, estima-se que tenha ocorrido uma falha na estação neste período, considerando que a média mensal para este mês é de 106mm.

O ano de 2014 foi o que teve menor volume de chuva, com 639 mm, quase a metade do valor médio para a região. Destaca-se também os anos de 2009 e 2013 como os mais chuvosos. Como é possível observar no gráfico 1, as chuvas são mais intensas durante o verão, entre dezembro e março, enquanto no inverno, de julho a setembro, os índices pluviométricos, assim como as temperaturas, tendem a ser menores, corroborando com os dados do PERHI (COPPETEC, 2014).

Considerando as médias mensais de chuva para a região da Estação de Anchieta, foi calculada a disponibilidade teórica de chuva para captação para cada mês do ano, de acordo com a NBR 15527 (ABNT, 2019).

Para definição do coeficiente de escoamento superficial (runoff) utilizou-se a tabela do Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT) de 2005, apresentada na tabela 3. Para este estudo considerou-se o valor máximo de runoff de 0,95 para telhados, como se trata da avaliação do potencial de aproveitamento de água de chuva, optou-se por considerar os valores máximos potenciais.

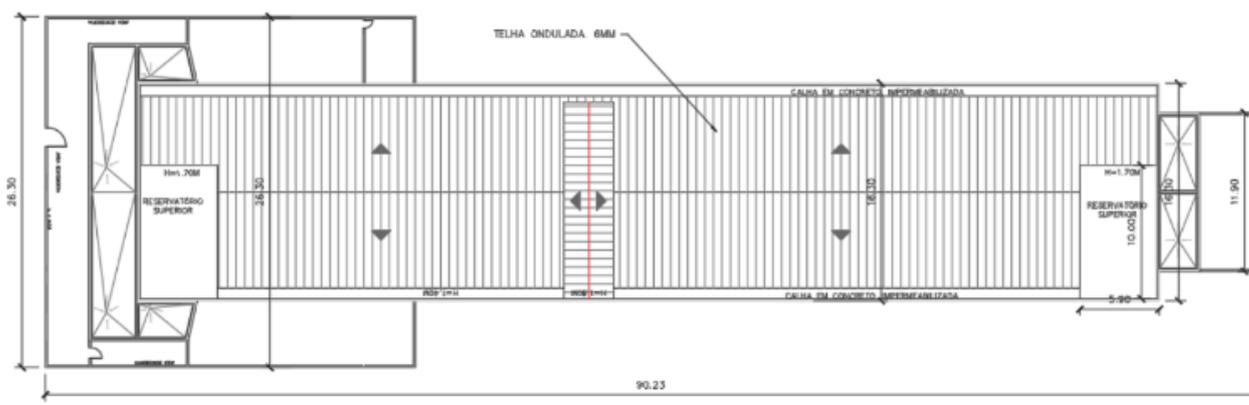
De acordo com o projeto padrão do prédio principal dos CIEPs, disponibilizado pela Coordenadoria de Projetos da UERJ, a cobertura da estrutura é de telha ondulada 6 mm, apresentada na Figura 8, e a área de captação do prédio principal do CIEP é de 1.238,80 m².

Tabela 4 - Coeficiente de escoamento superficial (*runoff*)

Tipo de Superfície	Coeficiente de Deflúvio (c)
Ruas	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Trajetos de acesso a calçadas	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Gramados; solos arenoso:	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
Gramados; solo compacto	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Fonte: Adaptado de DNIT,2005.

Figura 9 - Cobertura do prédio principal



Fonte: disponibilizado pela COOENG-UERJ

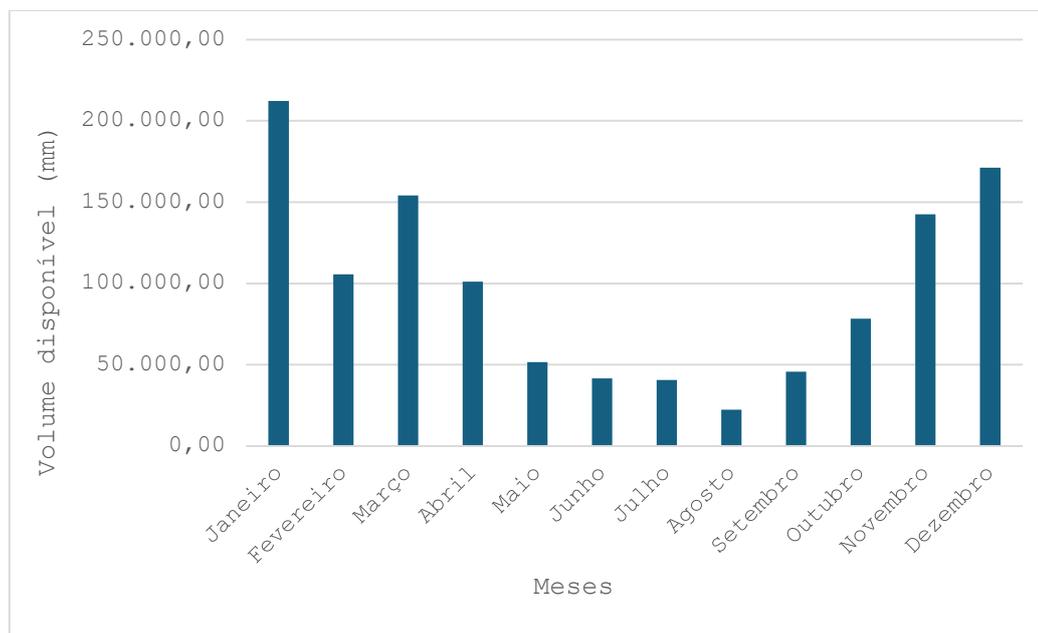
A disponibilidade teórica de água de chuva para cada mês do ano, considerando os valores médios mensais do período estudado, esta apresentada na tabela 6 e representada graficamente no gráfico 2.

Tabela 5 - Disponibilidade Teórica de Água de Chuva - Média Mensal

Mês	Vdisp (L)
Janeiro	212.216,89
Fevereiro	105.688,30
Março	154.117,66
Abril	101.073,44
Maio	51.617,08
Junho	41.547,08
Julho	40.613,44
Agosto	22.260,70
Setembro	45.801,82
Outubro	78.332,59
Novembro	142.620,53
Dezembro	171.163,30
Média mensal	90.535,41
Desvio padrão	59.262,75

Fonte: A autora.

Gráfico 2: Disponibilidade Teórica de Água de Chuva Média Mensal



Fonte: a autora.

O cálculo da disponibilidade teórica de água da chuva variou entre 22 mil litros e 212 mil litros, com seis meses apresentando uma disponibilidade superior a 100 mil litros.

Os maiores volumes de captação ocorrem em janeiro, dezembro e novembro, com 212.216,89 L, 171.163,30 L e 142.620,53 L, respectivamente, refletindo a sazonalidade característica da região, onde as chuvas são mais intensas no verão. Em contraste, os meses de julho e agosto registram os menores volumes, com 40.613,44 L e 22.260,70 L, devido à redução significativa da precipitação. Esses valores estão em consonância com o regime pluviométrico do Estado do Rio de Janeiro, conforme apresentado no PERHI (2014).

Ao longo do ano, o volume total de água potencialmente captável é de aproximadamente 1.166.052,83 litros. Esse montante evidencia que o sistema de captação de água de chuva pode ser uma solução viável e eficiente para complementar o abastecimento hídrico do CIEP, especialmente nos meses de maior precipitação, garantindo uma reserva considerável de água para uso não potável.

3.4 ESTIMATIVA DE VAZÕES REFERENTES AOS USOS NÃO POTÁVEIS DO CIEP 418

3.4.1 Bacias sanitárias

Na pesquisa realizada por Weiller e Santos (2020), foram estimados os consumos não potáveis de uma instituição de ensino no município de Londrina, no Paraná. Das respostas das entrevistas, os autores obtiveram os resultados com relação ao uso das bacias sanitárias (Tabela 5).

Tabela 6 - Consumo não potável de uma instituição de Ensino em Londrina (PR) – bacia sanitárias – Weiller e Santos

Usuário	Frequência (vezes/pessoa)
Funcionários parcial	- 1,85
Funcionários integral	- 2,85
Alunos	1,23

Fonte: Adaptado de Weiller e Santos, 2020

Desta forma, para o presente estudo considerou-se como frequência de um uso da descarga sanitária por aluno por dia e 3 usos por funcionário por dia, obtendo-se o consumo apresentado na Tabela 8.

Tabela 7 - Consumo não potável de bacia sanitária estimado para o CIEP 418 por dia

Bacia sanitária (caixa acoplada)				
Tipo	Número	Frequência/dia	Vaso Sanitário (caixa acoplada) - Litros	Total (L)
Alunos	134	1	6	141
Professores	18	3	6	27
Total				168

Fonte: a autora cm base no estudo de Weiller e Santos (2020).

3.4.2 Lavagem de pisos

De acordo com as informações fornecidas pelo CIEP, a lavagem do piso da escola é realizada uma vez por semana, com duração de 30 minutos. O consumo de uma mangueira ligada por 15 minutos é de aproximadamente 280 litros (MARTINS; CARVALHO, 2020), podendo variar conforme a pressão e o diâmetro da mangueira. Assim, estima-se que o consumo de água para a lavagem dos pisos do CIEP seja de aproximadamente 560 litros (280 L x 2) por semana, totalizando 2.240 litros (560 L x 4) por mês.

3.4.3 Irrigação das Horta

No CIEP 418, foi implantada uma horta escolar de 400 m² de área cultivável, por meio do Projeto ECO. Para estimar a quantidade de água necessária para a irrigação, foram utilizados os dados do Comunicado Técnico 39 da EMBRAPA (2006), que prevê um consumo diário de aproximadamente 7 litros de água por metro quadrado de canteiro. Esse volume será adotado no presente estudo, porém é importante destacar que ele pode variar em função de fatores como o tipo de solo, as espécies cultivadas e as condições climáticas locais. Desta forma, o valor diário de consumo de água para irrigação da horta foi estimado em 2.800 litros (400 m² x 7 L).

Nas Figuras 9 e 10 são apresentadas fotos da implantação da horta e da colheita realizada pelos alunos es escola.

Figura 10 - Implantação dos canteiros das hortas



Fonte: Fornecida pelo CIEP 418

Figura 11 - Colheita das hortas em 2022



Fonte: Fornecida pelo CIEP 418.

A Tabela 7 apresenta o resumo das demandas específicas não potáveis do CIEP 418 e a fonte da informação utilizada para cálculo de cada demanda.

Tabela 8 - Dados de consumo das atividades do CIEP

Item	Valor	Unidade	Fonte
Número de Alunos	134	unid	Fornecido pelo CIEP 418
Número de Professores	18	unid	Fornecido pelo CIEP 418
Área da Horta	400	m ²	Obtido do relatório de implantação da horta
Lavagem de piso	4x/mês/30min	L	Fornecido pelo CIEP 418
Consumo de mangueira doméstica	280	L/15min	MARTINS, CARVALHO, 2020
Consumo de bacia sanitária (caixa acoplada)	6	L	TOMAZ, 2009
Número de vezes por aluno por dia (banheiro)	1	unid	WEILLER, SANTOS, 2020
Número de vezes por funcionário por dia (banheiro)	3	unid	WEILLER, SANTOS, 2020

Fonte: a autora

As demandas diárias de água do CIEP são reunidas na Tabela 8.

Tabela 9 - Demandas de água diária do CIEP 418 para consumo não potável

Estimativa de Consumo não Potável do CIEP 418 (L)

Uso para bacia sanitária	1.128
Lavagem de piso	112
Irrigação da horta	2.800
Total por dia	4.040
Total por mês (20 dias)	80.800

Fonte: a autora.

Dessa forma, estima-se que o consumo diário de água não potável no CIEP seja de 4.040 litros. Para calcular o consumo mensal, foram considerados apenas os dias úteis, com a multiplicação do consumo diário por 20 dias, conforme apresentado na Tabela 10, resultando em um total de 80.800 litros mensais destinados a suprir o consumo de água não potável da escola.

A identificação e caracterização das demandas de água do CIEP 418 revelaram um elevado consumo para usos não potáveis, destacando-se a horta, que requer uma irrigação diária de 2.800 litros. Em segundo lugar, está a demanda para descarga de bacias sanitárias; mesmo com uso de sistema de descarga com caixa acoplada, o que proporciona uma economia significativa em comparação às bacias equipadas com válvulas Hydra, que consomem o dobro de água por descarga. Em terceiro lugar, está o consumo para a lavagem dos pisos da escola, realizada quatro vezes por mês, com duração aproximada de 30 minutos cada.

3.5 AVALIAÇÃO DO SAAP EXISTENTE NO CIEP 418

O CIEP 418 possui um Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP) com capacidade de armazenamento de 1.000 litros, implantado no âmbito do Projeto ECO. A demanda diária estimada para a irrigação da horta, calculada conforme apresentado no item 3.3.2.3, é de 2.800 litros. Portanto, o SAAP atual não é capaz de suprir a demanda diária necessária para a irrigação da horta, além de outras demandas de água não potável.

A capacidade do reservatório atende apenas 35,7% da demanda diária de irrigação da horta ($1.000 \text{ litros de capacidade} / 2.800 \text{ litros de demanda diária} * 100$). Após o uso de toda a água armazenada no reservatório, é necessário aguardar uma nova precipitação para o reabastecimento, o que limita a eficiência do sistema. Assim, o dimensionamento e a adoção do SAAP existente foram considerados insuficientes no atendimento às demandas de uso da água não potável na instituição.

Figura 12 - SAAP instalado nas escolas do Projeto ECO



Fonte: foto tirada pela autora

3.6 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO NECESSÁRIO

Para definir o volume necessário do reservatório do SAAP do Centro Integrado de Educação Pública (CIEP), foi utilizado o método de dias secos consecutivos, conforme descrito nos estudos de Jacob et al. (2016).

A aplicação do método no CIEP permitirá identificar a capacidade de armazenamento necessária para garantir o abastecimento de água durante os períodos de estiagens prolongadas. A análise dos dados de dias consecutivos secos auxiliará na determinação de volumes de reservatórios adequados, considerando o consumo mensal de água para fins não potáveis, como descarga sanitária, irrigação da horta e lavagem de pisos.

Para aplicação deste método obteve-se o índice CDD, com o software RClimdex, para a série histórica de 2003 a 2017, conforme Tabela 9.

Tabela 10 - Índice de Dias Secos Consecutivos de 2003 a 2017

Ano	CDD
2003	36
2004	23
2005	35
2006	30
2007	31
2008	21
2009	15
2010	29
2011	38
2012	22
2013	23
2014	28
2015	30
2016	54
2017	31
Média	30
Desvio Padrão	9

Fonte: a autora.

Para a determinação dos dias consecutivos secos com tempo de retorno de 10 anos — o que significa uma probabilidade de 10% de ocorrência do evento de estiagem em um dado ano —, foi utilizada a média dos valores de dias secos consecutivos da série estudada (2003 a 2017). Dessa forma, obteve-se o valor de 35 dias secos consecutivos como evento com tempo de retorno de 10 anos. Para definir o volume do reservatório, considerou-se esse evento de 35 dias secos consecutivos e o consumo mensal do CIEP.

O volume estimado do reservatório necessário para suprir as demandas de usos não potáveis do CIEP durante uma estiagem de 35 dias, considerando o consumo não potável diário de 4.040 litros, é de 141.400 litros (4.040 litros/dia × 35 dias). Considerando os reservatórios comerciais disponíveis no mercado, este estudo propõe um reservatório com capacidade de 150.000 litros.

Para analisar a capacidade de suprir mensalmente as demandas não potáveis do CIEP, estimadas em 80.800 litros mensais, com água da chuva, foi considerada a

disponibilidade teórica média mensal de água e a capacidade do reservatório de 150.000 litros, obtendo-se os valores apresentados na Tabela 10.

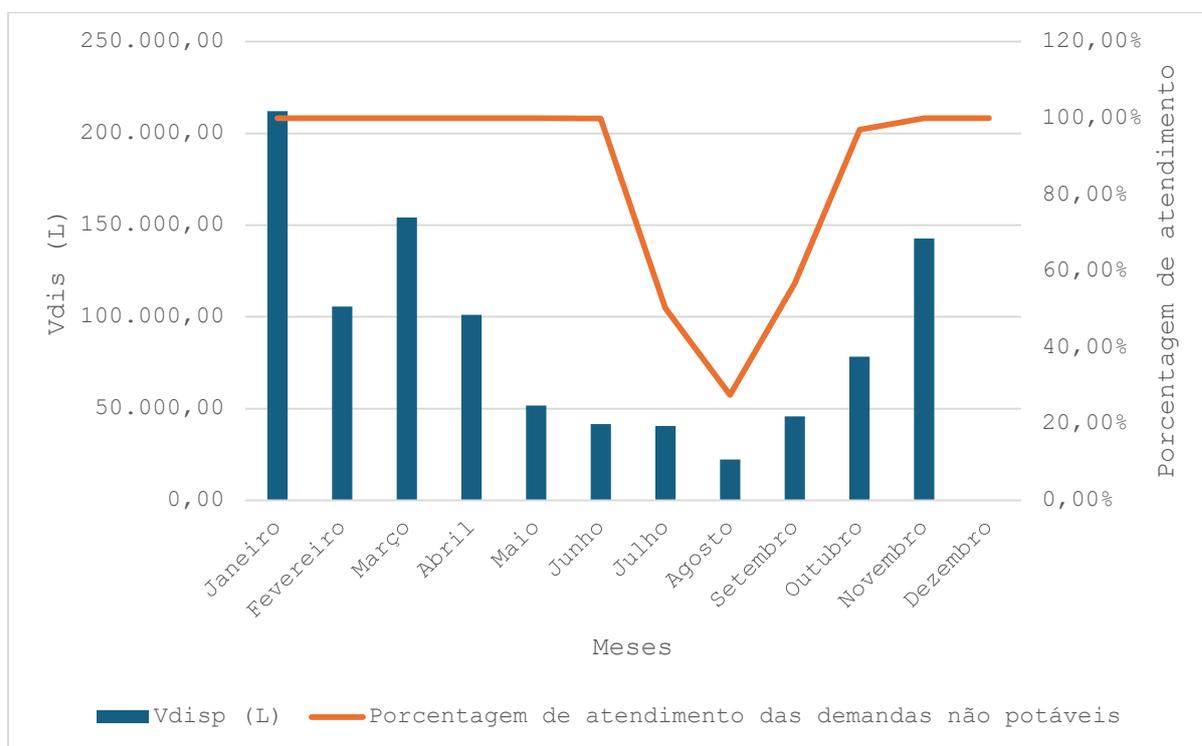
Tabela 11 - Volumes disponíveis e capacidade mensal de suprir as demandas não potáveis do CIEP 418

Mês	Vdisp (L)	Porcentagem de atendimento das demandas não potáveis	Uso de água potável (L)
Janeiro	212.216,9	100,00%	0
Fevereiro	105.688,3	100,00%	0
Março	154.117,7	100,00%	0
Abril	101.073,4	100,00%	0
Maio	51.617,1	100,00%	0
Junho	41.547,1	99,93%	52,92
Julho	40.613,4	50,26%	40186,56
Agosto	22.260,7	27,55%	58539,3
Setembro	45.801,8	56,69%	34998,18
Outubro	78.332,6	96,95%	2467,41
Novembro	142.620,5	100,00%	0
Dezembro	171.163,30	100,00%	0

Fonte: a autora.

Para melhor visualização, foi elaborado também o gráfico 3.

Gráfico 14 - Volumes disponíveis e capacidade de suprir as demandas não potáveis do CIEP 418 ao longo do ano



Fonte: a autora.

Para estimar o consumo de água potável do CIEP, recorreu-se ao estudo de Weiller e Santos (2020). Esta pesquisa estabeleceu que o consumo de água potável em uma instituição de ensino com cozinha e produção de refeições corresponde a 33,76% do consumo total de água. Conforme informado pelo CIEP através de um formulário, a escola não recebe contas de água, impossibilitando o acesso direto a esses valores. Diante dessa limitação, utilizou-se os dados do estudo mencionado para estimar a demanda de água não potável da instituição. Os valores são apresentados na Tabela 11.

Tabela 12 - Consumo total de água do CIEP 418
 Estimativa de demanda de água anual do CIEP
 418 (L)

	Meses	Litros/mês	Anual
Demanda potável	12	45.464	545.568
Demanda não potável	12	80.800	969.600
Total		126.264	1.515.168

Fonte: a autora.

Assim, ao considerar a demanda estimada total do CIEP, que é de 1.515.168 litros (incluindo usos potáveis e não potáveis), e o potencial mensal de atender às demandas não potáveis com água de chuva, apresentados na tabela 12, estima-se que a instituição poderá reduzir anualmente o consumo de água potável em 833.356 Litros, que corresponde a aproximadamente 833 m³. Isso representa uma economia de 55,00% no consumo de água potável.

O sistema projetado tem o potencial de suprir 100% das demandas de água para usos não potáveis durante sete meses do ano. Com duas cisternas e duas caixas d'água, cada uma com capacidade de 10 mil litros, o CIEP possui uma reserva de água potável de 40 mil litros. Em caso de desabastecimento, utilizando o SAAP para usos não potáveis, o CIEP poderia manter suas atividades normais por 17 dos 20 dias úteis mensais. Sem o SAAP, apenas com as estruturas existentes, o CIEP conseguiria operar por apenas 6 dias, 11 dias a menos do que com o sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disponibilidade de dados de precipitação com séries superiores a 10 anos é limitada, e a consistência dos dados é insatisfatória, com falhas que dificultam a análise de tendências pluviométricas e de disponibilidade hídrica.

Conforme levantado no presente estudo, poucas estações pluviométricas próximas aos CIEPs avaliados para definição da área de estudo possuíam séries históricas mais extensas e com a necessária consistência de dados.

A maioria das estações pluviométricas listadas no Mapa do INMET pertence ao CEMADEN, com dados disponíveis apenas a partir de 2016, o que não proporciona uma série histórica adequada para análises de longo prazo. As estações do Sistema Alerta Rio são as que oferecem dados diários de chuva com séries históricas mais longas e maior consistência, porém, como o sistema é gerido pela Prefeitura do Rio de Janeiro, os dados estão limitados a esse município.

Os índices calculados pelo software RClimDex indicaram uma tendência de eventos extremos, especialmente relacionados à seca, em consonância com o Relatório do IPCC. Os índices CDD (Dias secos consecutivos), SDII (Intensidade diária), R95 (Número de dias com precipitação superior ao 95º percentil), R99 (Número de dias com precipitação superior ao 99º percentil), RX1 (Precipitação máxima em 1 dia) e RX5 (Precipitação máxima em 5 dias) mostraram uma tendência de aumento na frequência de ocorrência.

Em contrapartida, os índices CWD (Dias úmidos consecutivos), PRCPTOT (Precipitação total), R10mm (Número de dias com precipitações maiores que 10mm), e R20mm (Número de dias com precipitações maiores que 25mm) apresentaram uma redução, caracterizando uma tendência de aumento dos eventos de seca e diminuição do volume total de precipitação na região.

A escola possui um Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP) com capacidade de armazenamento de 1.000 litros que não atende a demanda diária para a irrigação da horta, de 2.800 litros, atendendo apenas 35,7% da demanda diária. Após o uso de toda a água do reservatório, é necessário aguardar uma nova precipitação para reabastecimento, o que limita a eficiência do sistema, demonstrando que o dimensionamento do SAAP foi inadequado para as demandas de irrigação da horta.

O volume do reservatório necessário foi calculado para atender a um período de estiagem com um tempo de retorno de 10 anos, correspondente a 35 dias consecutivos sem precipitação, resultou em um reservatório com capacidade de 141.400 litros. Considerando as opções comercialmente disponíveis no mercado, foi adotado um reservatório de 150 mil litros.

A implementação de um SAAP no CIEP 418, permitiria uma redução de 55% no consumo de água potável anualmente.

Diante do contexto pluviométrico estimado para essa região, que apresenta tendências de aumento de eventos extremos, especialmente secas e redução da precipitação total anual, além da insegurança hídrica devido à dependência de um único manancial (Sistema Guandu) , é essencial buscar fontes alternativas de abastecimento de água.

O aproveitamento de água da chuva para usos não potáveis mostrou-se uma estratégia eficiente para promover segurança hídrica, aumentando em mais de 10 dias a autonomia de abastecimento do CIEP, o que possibilita a continuidade por este período de uma atividade de extrema importância social: a educação.

Cabe destacar que a metodologia ora apresentada pode ser desenvolvida e aplicada para outros CIEPs, contribuindo para o planejamento e adoção de medidas que aumentem sua disponibilidade e segurança hídrica.

Recomenda-se que sejam explorados em estudos futuros também os aspectos sobre a qualidade das águas coletadas e a viabilidade econômica dos sistemas dimensionados a partir da metodologia apresentada.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Plano Nacional de Segurança Hídrica / Agência Nacional de Águas. – Brasília : ANA, 2019 112 p.: il. ISBN: 978-85-8210-059-2

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Mudanças climáticas e recursos hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação. Brasília: ANA e Gerência Geral de Estratégia, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Plano Nacional de Segurança Hídrica. Brasília: ANA e Ministério da Integração Nacional, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília: ANA, 2021. 332 p.: il. ISBN 978-65-88101-19-3.

Zhang, X., & Yang, F. (2004). RCLimDex (1.0) User Manual. Climate Research Branch, Environment Canada.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual*. Brasília: ANA, 2024. 118 p.: il.

ALVES, Wilany Rodrigues Galvão; PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de; COLLISCHONN, Walter; ROSSI, Julia Brusso; MIRANDA, Pedro Torres; NETO, Arthur Kolling; FERNANDEZ, Gabriel Matte Rios; PETRY, Ingrid; FAGUNDES, Hugo de Oliveira; RIBEIRO, Larissa De Castro; SOUZA, Saulo Aires de; ABDALLA, Alexandre. Projeções de mudanças climáticas indicam aumento na duração de períodos secos na América do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Florianópolis. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2023. p. 1-2.

ANJOS, Paloma Moreira dos. Potencial de captação de água da chuva em Escola Técnica de São José do Egito-PE. 2019. Monografia (Curso de Engenharia de Biossistemas) - Universidade Federal de Campina Grande.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis — Requisitos. NBR 15527. 2ª ed. Rio de Janeiro, 15 abr. 2019.

AVILA-DIAZ, A.; BENEZOLI, V.; JUSTINO, F.; TORRES, R.; WILSON, A. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. *Climate Dynamics*, v. 55, n. 5, p. 1403-1426, 2020.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 133 p. (IPR. Publ., 715).

BRASIL. Lei nº 12.873, de 24 de outubro de 2013. Art. 11. Fica instituído o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água - Programa Cisternas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 25 out. 2013.

BRASIL. Lei nº 13.501, de 30 de outubro de 2017. Altera a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, para incluir o aproveitamento de águas pluviais como uma das diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 31 out. 2017.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRASIL. Lei nº 14.546, de 4 de abril de 2023. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Lei de Saneamento Básico), para estabelecer medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas de chuva e de reúso não potável das águas cinzas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 abr. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 470, 9 jan. 1997.

CÁCERES, Patrícia Silva; RAMOS, Samyrian dos Reis; SANT'ANA, Daniel. Potencial de redução de exploração de recursos hídricos pelo aproveitamento de água pluvial em residências do Distrito Federal, 2019.

CASTRO, B. T. P. et al. Potential for the use of pluvial water for potable purposes in the University of the State of Pará. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.15066.

Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim. (2018). *Plano Estratégico de Recursos Hídricos do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (PERH – Guandu/RJ)*. Aprovado em 06 de dezembro de 2018, na 4ª Reunião Ordinária do Plenário do Comitê Guandu-RJ. Rio de Janeiro: Comitê Guandu-RJ.

COPPETEC; Fundação (2014). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro: Temas Técnicos Estratégicos - Fontes Alternativas para o Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro, com Ênfase na RMRJ.

COSTA, Larissa Ferreira da; FARIAS JUNIOR, José Edson Falcão de; JOHNSON, Rosa Maria Formiga; ACSELRAD, Moema Versiani. Enfrentando a estiagem da bacia do rio Paraíba do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

RECURSOS HÍDRICOS, XXI, 2015, Brasília. Anais... Brasília: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015.

COMITÊ DE BACIA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE GUANABARA E DOS SISTEMAS LAGUNARES DE MARICÁ E JACAREPAGUÁ (CBH Baía de Guanabara). *Nota: vistoria na bacia do rio Guapi-Macacu*. 13 maio 2024. Disponível em: [CBH Baía de Guanabara](#). Acesso em: 09 de outubro. 2024.

COSTA, Larissa; FARIAS JÚNIOR, José Edson Falcão de; CHARGEL, Leonardo Tristão. A precipitação traduzida em índices: o Estado do Rio de Janeiro enfrentando a pior estiagem dos últimos 85 anos. *Revista Ineana*, Rio de Janeiro, p. 56-73, nov. 2018. Disponível em: www.inea.rj.gov.br. Acesso em: 7 set. 2024.

COSTA, Liane de Moura Fernandes. Análise do impacto de políticas de incentivo à implantação de sistemas de aproveitamento de águas de chuva (SAAC) na perspectiva de companhias de saneamento. 2023. 100 f., il. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

CUNHA, Flávio; COUTO, Eduardo. Avaliação de técnica e econômica de sistemas de aproveitamento de água de chuva em uma universidade pública. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 7, p. 789-807, 2020. DOI: 10.21438/rbgas(2020)071623.

DANTAS, P.; GOULART, S. Potencial de estratégias de racionalização do consumo de água potável aplicadas a um projeto de edifício educacional no semiárido brasileiro. *Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente*, v. 6, n. 3, p. 175-190, 2021. DOI: 10.21680/2448-296X.2021v6n3ID24437.

FERNANDES, Leonardo Silva; CAMARGO DA SILVA, Samuel Muylaert; JUNIOR, Luiz Constantino da Silva; ACSELRAD, Moema Versiani; PIMENTEL, Irene Maria Chaves; DE FARIAS JÚNIOR, José Edson Falcão; FORMIGA-JOHNSSON, Rosa Maria. Águas do Rio: um panorama geral da disponibilidade hídrica no Estado fluminense. **Revista Ineana**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 6-25, jul./dez. 2015.

FERREIRA, Vanderlei de Oliveira; MENDES, Pedro Gomes Junqueira. Potencial de aproveitamento de água pluvial em escolas estaduais de Uberlândia-MG. 2017.

Figure SPM.6 in IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-32, doi: [10.1017/9781009157896.001](https://doi.org/10.1017/9781009157896.001).]

FORMIGA-JOHNSON, R. M.; BRITTO, A. L.. Water security, metropolitan supply and climate change: some considerations concerning the Rio de Janeiro case. *Ambiente & Sociedade*, v. 23, p. e02071, 2020.

GHISI, Eneidir; MONTIBELLER, Andreza; SCHMIDT, Richard W. Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. *Building and Environment*, v. 41, n. 2, p. 204-210, 2006.

GNADLINGER, João. Colheita de Água de Chuva em Áreas Rurais. In: FÓRUM MUNDIAL DA ÁGUA, 2., 2000, Haia. Palestra. Juazeiro: ABCMAC, 2000. p. 1 - 25.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (RJ). Atlas dos mananciais de abastecimento público do Estado do Rio de Janeiro: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial. Coordenação geral: Silvia Marie Ikemoto; coordenação executiva: Patrícia Rosa Martines Napoleão. Rio de Janeiro, 2018. 464 p. il. color.

INTERGOVERNANMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 3–32. doi:10.1017/9781009157896.001. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>>. Acesso em: jul. 2024.

JACOB, R.V.B.; OHNUMA JR, A.A.; SICILIANO, W.C.; REIS, A.W.Q.R; DE OLIVEIRA, I.T. Dias Consecutivos Secos para Estimativa de Volumes de Aproveitamento de Águas Pluviais em Períodos de Estiagem na Cidade do Rio de Janeiro. In: 10º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Belém-PA. 18-20/11/2016. 2016.

LIMA (2016). Reavaliação Ambiental Estratégica da Área de Abrangência da Baía de Guanabara e Região do Entorno do COMPERJ. Relatório Executivo. Disponível em: <http://www.lima.coppe.ufrj.br/images/documentos/projetos/comperj/Relatorio-Executivo.pdf>

LIZ, R. S. Etapas para o planejamento e implantação de horta urbana. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2006. (Comunicado Técnico, 39).

LYRA, A; TAVARES, P.; CHOU, S.C.; SUEIRO, G.; DERECZYNSKI, C. et al. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the nonhydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 132, n. 1-2, p. 663-682, 2018.

MARTINS, Murilo Bocardí; CARVALHO, Laísa Cristina. Reutilização de águas em residência unifamiliar na cidade de Lambari - MG. In: FUNDAÇÃO DE ENSINO E PESQUISA DO SUL DE MINAS, 2020, Lambari. Anais [...]. Lambari: FEPESMIG, 2020. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1333>. Acesso em: 23 set. 2024.

MEDEIROS, Iury Mendes Pedrosa de. Aspectos legais acerca do aproveitamento de águas de chuvas e águas cinzas no Brasil. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

MELO, Marília Carvalho de; JOHNSON, Rosa Maria Formiga. O conceito emergente de segurança hídrica. *Sustentare*, Três Corações, v. 1, n. 1, p. 72-92, ago./dez. 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (Brasil). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Hortas: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Gilmar Paulo Henz; Flávia Aparecida de Alcântara (Editores Técnicos). Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO E ASSISTÊNCIA SOCIAL, FAMÍLIA E COMBATE À FOME. *Programa Cisternas investe R\$ 570 milhões em 2024*. Disponível em: <https://www.gov.br/mds/pt-br/noticias-e-conteudos/desenvolvimento-social/noticias-desenvolvimento-social/programa-cisternas-investe-r-570-milhoes-em-2024>. Acesso em: 8 set. 2024.

NASCIMENTO, Thays Valente do; FERNANDES, Lindemberg Lima; YOSHINO, Gabriel Hiromite. Potencial de aproveitamento de água de chuva na Universidade Federal do Pará. *Revista Monografias Ambientais - REMOA*, v. 15, n. 1, p. 105-116, 2016. DOI: 10.5902/22361308.

NEVES FILHO, Antonio Otto et al. Potencial de aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas na bacia do Rio Verde. *Semioses*, v. 13, n. 2, p. 28-42, 2019.

O GLOBO. Geosmina de volta: Cedae paralisa atividades do Guandu para limpeza, e Rio pode ter falta de água. *O Globo*, Rio de Janeiro, 18 abr. 2021. Disponível em: [Geosmina de volta: Cedae paralisa atividades do Guandu para limpeza, e Rio pode ter falta de água - Jornal O Globo](#). Acesso em: 09 out. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA [UNESCO]. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021: o valor da água. Brasília: UNESCO Brasil, 2021. Disponível em: <www.unesco.org/water/wwap>. Acesso em: 11 set. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 7 set. 2024.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (WMO). State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2023. Genebra: WMO, 2024. (WMO-No. 1351). Disponível em: [[State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2023 \(wmo.int\)](#)]. Acesso em: 11 set. 2024.

OTONI, Adacto Benedicto; ALVES, Alexser Pacheco Bernacchi; PINTO, Helena Marquini Zuntini. Gestão sustentável na mitigação de inundações na cidade do Rio

de Janeiro sob a perspectiva das mudanças climáticas. In: MEIO AMBIENTE: Gestão, preservação e desenvolvimento sustentável. Volume 4. Editora e-Publicar, 2023. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1dwCDBAnZPXgsp718VZVgjyH67s0oaTAE/view>>. Acesso em: 17 nov. 2023. DOI: 10.47402/ed.ep.c2311415413515.

PAULA, I. X. de; FORMIGA-JOHNSSON, R. M. Segurança hídrica para abastecimento urbano perante condições ambientais e qualidade da água do manancial: o caso da ETA Guandu, RMRJ. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 28, p. e20220275, 2023.

PAULA, Iero Xavier de. Segurança hídrica para abastecimento urbano perante condições ambientais e qualidade da água do manancial: o caso da ETA Guandu, RMRJ. 2022. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

PEREIRA, Luiz Firmino; CANEDO, Paulo; CAPODEFERRO, Morganna. Alternativas para incremento da segurança hídrica do leste metropolitano do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: FGV CERI - Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura, 2022.

PLANO ESTRATÉGICO DE DESENVOLVIMENTO URBANO INTEGRADO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (PDUI). Rio de Janeiro: Consórcio Quanta Jaime Lerner Arquitetos Associados, Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro, 2018. 2 v.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). Adaptation Gap Report 2023: Underfinanced. Underprepared. Inadequate investment and planning on climate adaptation leaves world exposed. Nairobi, 2023. Disponível em: <https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2023>. Acesso em: 11 set. 2024.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 7.772, de 6 de novembro de 2017. Dispõe sobre a criação de reservatórios para escoamento e reuso do excesso de águas pluviais no âmbito do Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 7 nov. 2017.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 9.164, de 28 de dezembro de 2020. Regulamenta os procedimentos para armazenamento e retardo de água de chuva em perímetros urbanos para aproveitamento e postergação de sua descarga na rede pública, além da acumulação de água cinza clara para seu tratamento e uso em fins cuja água não necessite ter caráter potável consoante as normas técnicas e dá outras providências e revoga a Lei nº 7.463, de 18 de outubro de 2016. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 29 dez. 2020.

RODRIGUES, Larissa Lima et al. Potencial de aproveitamento de água da chuva na mesorregião nordeste paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília-DF.

SALES, Hian Melo; BATISTA, Tatiane Lima. Aproveitamento de águas pluviais no semiárido cearense: estudo de caso na Universidade Federal do Ceará em Crateús. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE - SRHNE, 2020.

SILVA, A. C. da et al. Análise de viabilidade técnica e econômica de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis em uma instituição de ensino federal em Pernambuco. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 8, n. 1, p. 78-98, 2019. DOI: 10.19177/rgsa.v8e1201978-98.

SILVA, W.L.; DEREZYNSKI, C.P. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no estado do Rio de Janeiro. Anuário do Instituto de Geociências, v. 37, n. 2, p. 123-138, 2014.

SILVA, W.L.; DEREZYNSKI, C.P.; CHOU, S.C.; CAVALCANTI, I.F.A. Future changes in temperature and precipitation extremes in the state of Rio de Janeiro (Brazil). American Journal of Climate Change, v. 3, n. 4, p. 353- 365, 2014.

TAVARES, Doralice Chagas et al. Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis do CEFET/RJ. In: 5º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade, 2016.

TOMAZ P. Previsão de Consumo de água não potável - Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis, 2009.

TOMAZ, Plínio. Aproveitamento de Água de Chuva. Guarulhos: Navegar, 2010.

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO. Horta residencial é uma alternativa para quem quer economizar. Portal Institucional Notícias, Ensino, 22 mar. 2022. Disponível em: [[Horta residencial é uma alternativa para quem quer economizar - UPF | Universidade de Passo Fundo](#)]. Acesso em: [20.08.2024].

VASCONCELOS, Nathalia de Almeida et al. Seca de 2014-2016 & impactos sobre usuários dos rios Paraíba do Sul e Guandu. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019. Anais eletrônicos... [S. l. : s. n.], 2019. p. 1-13. ISSN 2318-0358. Disponível em: <https://www.sbrh.org.br/SBRH/arquivos/anais/2019/XXIII-SBRH1637-1-20190515-222621.pdf>. Acesso em: 11 set. 2024.

VASCONCELOS, Nathalia de Almeida. Impacts of the 2014-2016 water crisis on the main users of the Paraíba do Sul and Guandu River Basin Water System. 2019. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2019.

VIEIRA, Zacarias Caetano et al. Potencial de captação e aproveitamento de água pluvial em escolas do semiárido sergipano. In: CONIMAS, 2019.

WEILLER, Giovana Cristina Buso; SANTOS, Latiara Remigio dos. Viabilidade no aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis: estudo de caso em

instituição de ensino de Londrina-PR. Revista de Gestão Sustentável Ambiental, Florianópolis, v. 9, n. esp., p. 935-953, fev. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020935-953>

ZHANG, Xuebin; YANG, Feng. RClmDex (1.0): User Manual. Downsview, Ontario, Canada: Climate Research Branch, Environment Canada, 2004. Disponível em: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/RClmDex/rclimdex.r>. Acesso em: 10 ago. 2024.

FUNDAÇÃO COPPETEC. Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro: R7 – relatório diagnóstico. Versão final. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente (Inea), 2014. Disponível em: [relatorio-diagnostico-texto.pdf \(inea.rj.gov.br\)](relatorio-diagnostico-texto.pdf(inea.rj.gov.br)). Acesso em: 30/09/2024

ROSAS, Diogo Fernandes; DE OLIVEIRA, Flávio Giro; CARVALHO, Lorena de Castilho; DE ALMEIDA, Jaqueline Costa Areas; SOUZA, Ana Beatriz; LEMOS, Julia de Souza; OHNUMA JÚNIOR, Alfredo Akira; OBRACZKA, Marcelo. Method of Calculation the Efficiency and Economic Viability of Rainwater Harvesting Systems. Revista de Gestão Social e Ambiental, São Paulo (SP), v. 18, n. 2, p. e04471, 2023. DOI: 10.24857/rgsa.v18n2-021. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/4471>. Acesso em: 30 sep. 2024.

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. Aproveitamento de Água Pluvial Para Usos Não Potáveis em Instituição de Ensino: estudo de caso em Florianópolis - SC. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 67-84, abr./jun. 2008.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Boletim consolidado - Qualidade das Águas - Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: INEA, 2018. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/Boletins-consolidados-por-RH-2018-NOVO.pdf>. Acesso em: 30 set. 2024.

OLIVEIRA, Flávio Giro. Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro. 2020. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

ANTUNES, Lucas Niehuns; GHISI, Enedir. Potencial de economia de água e energia em edificações escolares. In: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, 5., 2019, Porto Alegre, RS. Disponível em: [ANAIS 5°SSS - 2019.pdf \(researchgate.net\)](ANAIS 5°SSS - 2019.pdf(researchgate.net)). Acesso em: 30/09/2024.

ANEXO I - FORMULÁRIO

Coleta de dados - Avaliação do Potencial de Aproveitamento de Água da Chuva das Escolas Estaduais do Rio de Janeiro.

A Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC-RJ) e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) lançaram em 2021 o Projeto ECO – Escola Criativa e de Oportunidades, uma parceria que visa alinhar as unidades escolares com as demandas pedagógicas contemporâneas, incluindo conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico. Como parte desse projeto, foi criado o Laboratório de Estudos Aplicados, em colaboração com o Instituto Lixo Zero, com o objetivo de fornecer projetos que contribuam pedagogicamente para o processo de aprendizagem dos alunos das escolas atendidas e promovam o desenvolvimento acadêmico dos alunos da UERJ, além de realizar pesquisas aplicadas.

Esta pesquisa faz parte da dissertação de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental da aluna Helena Zuntini, orientada pelos Professores da UERJ Dr. Marcelo Obraczka e Dr. Alfredo Akira. O objetivo da pesquisa é avaliar o potencial de aproveitamento da água da chuva nas escolas estaduais do Rio de Janeiro. Esse trabalho será desenvolvido com base nos dados coletados por meio deste formulário e nas análises ambientais das condições climáticas locais. Trata-se de um questionário simples, que levará apenas alguns minutos para ser respondido, mas possui extrema importância para avançarmos na criação e promoção de políticas públicas que contribuam para o desenvolvimento sustentável de nossa sociedade.

Agradecemos antecipadamente a colaboração de sua instituição.

* Indica uma pergunta obrigatória

1. Nome da escola: *

2. Endereço: *

3. Horário de funcionamento (neste item é possível assinalar mais de uma opção): *

Marque todas que se aplicam.

- Manhã
 Tarde
 Noite

4. Nome do(a) Diretor(a): *

5. E-mail da direção: *

6. Telefone (escola ou responsável):

7. A escola é um Centro Integrado de Educação Pública (CIEP)? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

8. A escola faz parte do Projeto ECO - Escola Criativa e de Oportunidades? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

9. Se a escola for um CIEP, por favor assinale as unidades que o compõe, além do prédio principal:

Marque todas que se aplicam.

Biblioteca

Quadra poliesportiva coberta

Quadra poliesportiva descoberta

Outro: _____

10. A escola possui reservatório de água (caixa d'água)? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Não sei

11. Se possui, qual é a capacidade do reservatório? (caso não saiba, escrever "não sei") *

12. Assinale os itens/atividades existentes na escola: *

Marque todas que se aplicam.

- Horta
- Certificado lixo zero
- Separação de resíduos sólidos
- Composteiras
- Produção de merenda no local
- Atividades aos finais de semana
- Irrigação para fins paisagísticos
- Lavagem de pisos com água de reúso
- Reserva técnica de incêndio
- Outro: _____

13. Se possuir reserva técnica de incêndio, qual é a capacidade em litros? (caso não saiba, responder "não sei")

14. Qual é a frequência de irrigação para fins paisagísticos, se houver?

Marcar apenas uma oval.

- 1 vez por semana
- 2 vezes por semana
- 3 vezes por semana
- 4 vezes por semana
- mais de 4 vezes por semana
- Não sei

15. A escola possui sistema de captação de água da chuva? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

16. Se sim, qual é a capacidade de armazenamento do sistema?

Marcar apenas uma oval.

1000L

2000L

2500L

3000L

Mais de 3000L

Não sei

17. O sistema está em funcionamento? *

Marcar apenas uma oval.

Sim, funciona bem

Sim, mas possui problemas

Não, está parcialmente instalado

Não, esta na escola mas não foi instalado

A escola não possui sistema de captação de água da chuva

18. Caso queira relatar problemas do sistema ou propor sugestões, deixaremos este espaço.

19. A água do sistema de captação é utilizada para quais atividades?

20. Com qual frequência é feita a lavagem dos pisos e escadas? *

Marcar apenas uma oval.

- 1 vez a cada 2 meses
- 1 vez por mês
- 2 vezes por mês
- 3 vezes por mês
- 4 vezes por mês
- Não sei
- Outro: _____

21. Quais refeições são servidas diariamente pela cozinha? (é possível assinalar mais de uma opção) *

Marque todas que se aplicam.

- Café da manhã
- Lanche da manhã
- Almoço
- Lanche da tarde
- Jantar
- Lanche da noite
- Nenhuma
- Não sei

22. Quantos banheiros a escola possui? *

23. Quantos vasos sanitários a instituição possui no total (considerando todos os banheiros)? *

24. Possui vestiário com chuveiro? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

25. Se sim, quantos são os chuveiros no total?

26. A escola sofre falta de água? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

27. Se sim, com qual frequência?

Marcar apenas uma oval.

de 1 a 2 vezes por mês

de 3 a 4 vezes por mês

5 vezes ou mais por mês

28. A região em que se localiza a escola tem histórico de alagamentos? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Não sei

29. Qual é a fonte de abastecimento de água da escola? (neste item é possível assinalar mais de uma opção) *

Marque todas que se aplicam.

Concessionárias (CEDAE, Águas do Rio, Iguá saneamento ou Rio + Saneamento)

Poço artesiano

Não sei

Outro: _____

30. Qual é o número de alunos atendidos? *

31. Quantos funcionários a escola possui? *

32. Qual é o consumo de água mensal da instituição? (verificar na conta de água) *

33. Qual foi o valor da conta de água de janeiro deste ano?

34. Qual foi o valor da conta de água de fevereiro deste ano?

35. Qual foi o valor da conta de março deste ano?

36. Agradecemos a colaboração do responsável pela Escola em dedicar este tempo para responder o formulário.

Caso queira escrever algum relato de problemas ambientais (inundações, falta de abastecimento de água, falta de esgotamento sanitário e outros) que a escola sofreu ou sofre frequentemente, utilize este espaço.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários