



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS VIII  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GUSTAVO FERREIRA LEAL CUNHA**

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS:  
ESTUDO DE CASO DO CAMPUS VIII DA UEPB**

**ARARUNA, PB  
10 DE JUNHO DE 2021**

GUSTAVO FERREIRA LEAL CUNHA

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS:  
ESTUDO DE CASO DO CAMPUS VIII DA UEPB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Área de concentração:** Construção Civil – Sistemas Prediais.

**Orientadora:** Prof. Dra. Luísa Eduarda Lucena de Medeiros

**Coorientadora:** Me. Yáscara Maia Araújo de Brito

**ARARUNA  
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C972a Cunha, Gustavo Ferreira Leal.  
Análise do potencial de captação de águas pluviais  
[manuscrito] : estudo de caso do campus VIII da UEPB /  
Gustavo Ferreira Leal Cunha. - 2021.  
62 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em  
Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro  
de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2021.

"Orientação : Profa. Ma. Luísa Eduarda Lucena de  
Medeiros , Coordenação do Curso de Engenharia Civil -  
CCTS."

1. Reuso de água. 2. Escassez hídrica. 3. Chuva. I. Título  
21. ed. CDD 333.91

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS:  
ESTUDO DE CASO DO CAMPUS VII DA UEPB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Construção Civil – Sistemas Prediais.

Aprovada em: 10 / 06 / 2021

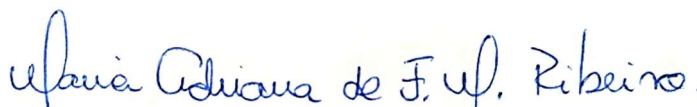
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Me. Luísa Eduarda Lucena de Medeiros (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Me. Yáscara Maia Araújo de Brito (Coorientadora)  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)



Prof. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Me. Higor Costa de Brito  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

NOTA: 9,6

Araruna, 10 de junho de 2021.

Aos meus pais, pela dedicação, suporte e resiliência ao longo desses 24 anos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela minha saúde, por cuidar de mim e da minha família.

Aos coordenadores Daniel Baracuy e Alan Cavalcanti pelos conselhos e prestatividade durante todo o decorrer do curso.

A minha orientadora Luísa Eduarda e coorientadora Yáscara Maia que me incentivaram a buscar excelência nas atividades propostas, pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação e pela dedicação.

Toda a equipe de infraestrutura do campus pelo zelo para com a instituição e bem estar dos alunos.

Aos meus pais e avós que sempre me incentivaram a ter fé e nunca desistir.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio.

## RESUMO

A região Nordeste apresenta longos períodos de estiagem e sua população sofre constantemente com a falta de água em períodos de racionamento. Diante desse contexto, as soluções alternativas para economia de recursos hídricos podem mitigar sua indisponibilidade. Neste trabalho, avaliou-se a eficiência na captação de águas de chuva dos telhados do campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba, localizado na cidade de Araruna. Para isso, foram utilizados os métodos matemáticos de Rippl, Azevedo Neto, Prático-Alemão e o software Netuno, com foco no reaproveitamento de água para consumo não-potável dentro da instituição de ensino, sendo avaliados e comparados os métodos e suas respectivas estimativas para o volume do reservatório. Nas simulações com os volumes obtidos por meio dos três métodos foi estimada a demanda que cada reservatório conseguiria suprir e o seu comportamento mensal. Por fim, o software simulou uma curva de porcentagens atendidas para um determinado intervalo de volumes, estimando o volume ótimo para o reservatório como algo mais aproximado ao do método Prático Alemão, em torno dos 230m<sup>3</sup>. Para este reservatório e uma taxa de substituição desejada de 45% no consumo total, o Netuno indicou, durante o ano, que 45,85% dos dias letivos teriam essa demanda totalmente suprida, representando 22,3% de potencial real de substituição ao ano. Para os outros dois métodos os resultados obtidos apresentaram diferenças consideráveis com volumes até cinco vezes superiores (1033m<sup>3</sup>) e melhor porcentagem de substituição, porém se tornam muito mais onerosos em face do custo por taxa de aproveitamento obtido. A proposta desta pesquisa demonstra a interdisciplinaridade envolvida na temática da água potável através da modelagem matemática e concluiu que é possível e viável a adoção de práticas de reuso na instituição de ensino como alternativa a intermitência de água do sistema local de abastecimento.

**Palavras-Chave:** Chuva. Reuso de Água. Escassez hídrica.

## ABSTRACT

The Northeast region has long periods of drought and its population is constantly suffering from a lack of water during periods of rationing. In this context, alternative solutions for saving water resources can mitigate their unavailability. In this work, the efficiency in capturing rainwater from the roofs of the campus VIII of the State University of Paraíba, located in the city of Araruna, was evaluated. For this, the mathematical methods of Rippl, Azevedo Neto, Prático-German and the Netuno software were used, focusing on the reuse of water for non-potable consumption within the educational institution, and the methods and their respective estimates for the volume of the reservoir. In the simulations with the volumes obtained through the three methods, the demand that each reservoir would be able to supply and its monthly behavior were estimated. Finally, the software simulated a curve of percentages served for a given range of volumes, estimating the optimal volume for the reservoir as something closer to that of the German Practical method, around 230m<sup>3</sup>. For this reservoir and a desired replacement rate of 45% in total consumption, Netuno indicated, during the year, that 45.85% of school days would have this demand fully met, representing 22.3% of real replacement potential per year. For the other two methods, the results obtained showed considerable differences with volumes up to five times higher (1033m<sup>3</sup>) and better replacement percentage, but they become much more costly in view of the cost per utilization rate obtained. The proposal of this research demonstrates the interdisciplinarity involved in the issue of drinking water through mathematical modeling and concluded that it is possible and viable to adopt reuse practices in the educational institution as an alternative to the intermittence of water from the local water supply system.

**Key-words:** Rain. Water reuse. Water shortage.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Consumo de água no SENAI.....	19
Figura 2 –	Distribuição do uso de água por atividade na Escola Municipal de Educação Infantil e Ensino Fundamental João XXIII – Londrina PR .....	20
Figura 3 –	Fluxograma.....	26
Figura 4 –	Localização da região metropolitana de Araruna - PB.....	28
Figura 5 –	Planta de Coberta.....	29
Figura 6 –	Acesso ao campus VIII – CCTS.....	30
Figura 7 –	Representação da cobertura da UEPB.....	31
Figura 8 –	Simulação do volume calculado pelo método de Rippl feita através do programa Netuno.....	39
Figura 9 –	Simulação do volume calculado pelo método de Azevedo Neto feita através do programa Netuno.....	42
Figura 10 –	Simulação do volume calculado pelo método Prático Alemão feita através do programa Netuno.....	45
Figura 11 –	Simulação do volume máximo pelo Netuno.....	47
.....	.....	.....
Gráfico 1 –	Precipitação anual observada .....	33
Gráfico 2 –	Precipitações médias mensais da cidade de Araruna – PB .....	33

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 –	Volume de água de chuva aproveitável (Q) e volume do reservatório (S) .....	38
Tabela 2 –	Resultado mensal da simulação.....	40
Tabela 3 –	Resultado mensal da simulação.....	43
Tabela 4 –	Resultado mensal da simulação.....	46
Tabela 5 –	Resultado mensal da simulação.....	49
Tabela 6 -	Resumo das estimativas para o período analisado.....	50
.....		
Quadro 1 –	Volume de água pluvial, demanda de água potável e potencial de economia de água potável nas cinco regiões brasileiras.....	16
Quadro 2 –	Áreas da cobertura da UEPB – Campus VIII.....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
ANA	Agência Nacional de Águas
CAGEPA	Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
ETA	Estação de Tratamento de Águas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PURA	Programa de Uso Racional da Água
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SEIRHMA	Secretaria de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente
SIABI	Sistema Integrado de Automação de Bibliotecas.
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	14
2.1	<b>Geral</b> .....	14
2.2	<b>Específicos</b> .....	14
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
3.1	<b>O Aproveitamento de águas pluviais</b> .....	15
3.2	<b>O Processo de urbanização e a demanda de água</b> .....	16
3.3	<b>Gestão dos recursos hídricos</b> .....	17
3.4	<b>Gestão da demanda através do uso racional da água</b> .....	18
3.5	<b>Uso final da água</b> .....	19
3.6	<b>Reservatório de Água Pluvial</b> .....	21
3.6.1	<i>Métodos de dimensionamento</i> .....	22
3.6.1.1	<i>Método de Rippl</i> .....	22
3.6.1.2	<i>Método de Azevedo Neto</i> .....	24
3.6.1.3	<i>Método Prático Alemão</i> .....	24
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	26
4.1	<b>Caracterização da pesquisa</b> .....	27
4.2	<b>Caracterização da área de estudo</b> .....	27
4.2.1	<i>O município de Araruna</i> .....	27
4.2.2	<i>O Campus VIII da UEPB</i> .....	29
4.3	<b>Levantamento de dados</b> .....	30
4.3.1	<i>Áreas de cobertura</i> .....	30
4.3.2	<i>Precipitação</i> .....	32
4.3.3	<i>Consumo de água potável em Araruna – PB</i> .....	34
4.5	<b>Software Netuno 4.0</b> .....	34
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	37
5.1	<b>Método de Rippl</b> .....	37
5.2	<b>Método de Azevedo Neto</b> .....	41
5.3	<b>Método prático Alemão</b> .....	44
5.4	<b>Simulação para máxima eficiência</b> .....	47
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	51

<b>REFERÊNCIAS</b> .....	53
<b>ANEXO A</b> .....	69
<b>ANEXO B</b> .....	60
<b>ANEXO C</b> .....	61
<b>ANEXO D</b> .....	62

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por recursos hídricos associada de sua indisponibilidade, tem levado à adoção de práticas mais sustentáveis no uso da água, seja para reduzir o consumo potável, realizar o reuso em instalações prediais, ou buscar fontes alternativas de abastecimento (SOUZA, 2015).

Tendo em mente esse cenário, a captação das águas pluviais, como solução alternativa para usos menos nobres, demonstra viabilidade na redução da demanda por água potável e contribui diretamente para a economia dos recursos hídricos (LIMA; STEFFEN, 2018).

Avaliando a cadeia produtiva que sustenta as demandas do comércio e das indústrias, a água pode ser vista como fator de risco econômico, social e ambiental. Em janeiro de 1997 foi sancionada a Lei nº 9433, instituindo-se assim, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Essa política tem, dentre seus fundamentos, que a “água é um recurso natural limitado e dotado de valor econômico”, como também recomenda que em situações de escassez, o uso prioritário da água deve servir ao consumo humano e a dessedentação de animais (SILVA, 2018).

Em suas pesquisas Almeida e Gomes (2011); Viana e Costa (2015) sugerem soluções alternativas para minimizar o consumo de água potável, através do aproveitamento da água da chuva em áreas urbanas, para fins não-potáveis como: lavagem de banheiros, pátios, jardinagem e demais atividades de manutenção.

Assim, é necessário dispor de um reservatório e definir o seu volume é um dos maiores desafios para que seja possível o aproveitamento de águas pluviais (MIERZWA et al., 2007). As tubulações pluviais e condutores devem ser projetadas conforme a NBR 10.844:1989, que fixa as exigências necessárias ao sistema predial de água pluvial.

Em conjunto tem-se a norma NBR 15527:2007, que estabelece especificações para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para usos não-potáveis, a partir de uma avaliação prévia da qualidade desta água.

Estimar o potencial de aproveitamento do sistema de captação envolve informações preliminares, como o estudo do balanço hídrico, feito através de correlações entre a área de captação, demandas de água, coeficientes de escoamento, volumes dos tanques de armazenamento e séries de precipitação local (ROCHA, 2012).

A presente pesquisa traz consigo a avaliação do potencial de captação de água de chuva nas edificações do campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba, localizado na cidade de Araruna. O campus é formado por seis blocos, sendo cinco blocos menores correspondentes a

área da saúde e uma edificação maior para atender aos estudantes de exatas, tornando viável a possibilidade de contribuição para redução do cenário de escassez hídrica na região.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar a eficiência na captação de águas de chuva dos telhados do campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB a partir dos métodos propostos pela NBR nº 15527/2007 para reuso de água.

### **2.2 Específicos**

- Estimar o potencial de aproveitamento de água de chuva no campus por meio do estudo da precipitação na região com aplicação dos modelos matemáticos de Rippl, Azevedo Neto, Prático-Alemão;
- Observar o comportamento sazonal do sistema de captação de águas pluviais com o software Netuno 4;
- Dimensionar o volume ideal do armazenamento de água para usos não-potáveis na instituição;



### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 O Aproveitamento de águas pluviais

A coleta da água da chuva deve ser precedida de medidas adequadas para conservá-la e cuidados referentes à instalação e manutenção do sistema, sendo assim é interessante conhecer a NBR 15527:2007 que determina que as águas captadas pelo Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva devem ser destinadas a fins de uso não potável. Bezerra et al. (2010) afirmam que, em meio urbano, esse tipo de fonte alternativa deve ser instalado como complemento, portanto, separado da rede de distribuição de água potável.

Por sua vez, Dornelles (2012) destaca a importância da inclusão de um sistema de reuso desde o projeto inicial, evitando assim gastos elevados e limitações com a adaptação do sistema de abastecimento em edificações existentes.

Alguns aspectos positivos no uso dos sistemas de aproveitamento de água pluvial podem ser descritos como: preservação do meio ambiente; baixo impacto ambiental; água com qualidade aceitável para diversos fins, com pouco ou nenhum tratamento; aumento da segurança hídrica para atender o crescimento populacional ou para atender áreas deficientes em abastecimento; redução dos investimentos na captação da água em mananciais cada vez mais distantes das concentrações urbanas para atender a demanda diária e a de pico; redução do volume de água a ser captada e tratada, no uso de água tratada para fins secundários, nos custos energéticos de transporte e tratamento (MAY, 2004; HEBERSON; MARCÓRIO; RIBEIRO, 2009).

Segundo Marinoski (2007), o sistema de aproveitamento de água pluvial se dá a partir da captação da água que cai sobre as coberturas onde são conduzidas ao reservatório inferior, passando por equipamentos de filtragem e descarte de impurezas e bombeada a um reservatório elevado de onde é distribuída por tubulações. Assim, a viabilidade desse tipo de sistema depende principalmente da precipitação, área de captação e demanda de água. No entanto, devem-se levar em consideração as condições ambientais locais, clima, fatores econômicos, finalidade e usos da água, buscando não uniformizar as soluções técnicas.

Em uma análise mais geral Ghisi (2006) estimou o potencial de economia de água alcançado através desse tipo de sistema em diferentes regiões brasileiras conforme o Quadro 1.

**QUADRO 1:** Volume de água pluvial, demanda de água potável e potencial de economia de água potável nas cinco regiões brasileiras.

MACRORREGIÃO	VOL DE ÁGUA PLUVIAL (m³/per capita/ano)	DEMANDA DE ÁGUA POTÁVEL		POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL (%)
		L/per capita/dia	m³/per capita/ano	
Norte	<b>38,42</b>	<b>88</b>	<b>32,12</b>	<b>100</b>
Nordeste	<b>21,46</b>	<b>97</b>	<b>35,41</b>	<b>61</b>
Sudeste	<b>27,95</b>	<b>158</b>	<b>57,67</b>	<b>48</b>
Sul	<b>35,00</b>	<b>117</b>	<b>42,71</b>	<b>82</b>
Centro - Oeste	<b>32,61</b>	<b>120</b>	<b>43,80</b>	<b>74</b>

FONTE: Adaptado de Ghisi (2006)

Estas estimativas representam um cenário otimista para o Nordeste onde a margem de economia pode atingir os 61%, enquanto que o potencial de economia varia entre 40% e 100%. Mesmo com as diferenças espaciais de precipitação para cada região, o Sudeste abrange o maior polo metropolitano e industrial do Brasil, com taxa de urbanização elevada, sua demanda supera a das demais regiões, portanto seu potencial de economia é o menor entre elas.

### 3.2 O Processo de urbanização e a demanda de água

O processo de urbanização acelerado e o conseqüente crescimento das cidades foram marcantes para o aumento das demandas de água em locais com maior adensamento populacional. Durante o século XX, o Brasil passou pela Revolução Industrial, período este no qual a economia era baseada na produção agrícola, levando ao desenvolvimento de grandes centros urbanos de forma desordenada (OLIVEIRA, 2019).

Em 2010 a taxa de urbanização obtida pelo censo demográfico do IBGE foi de 84,4%, levando ao aumento da demanda sem a infraestrutura necessária e aumento da poluição dos próprios corpos hídricos existentes. Além disso, com a disponibilidade hídrica local fixa e consumo elevado dos mananciais existentes, surgem problemas com limitação no abastecimento de água, uma vez que a oferta passa a ser insuficiente para o atendimento das demandas (TUCCI; BERTONI, 2003).

A concentração das indústrias nas grandes cidades transformou-as em polos de desenvolvimento cultural, educacional e tecnológico e, enquanto provedoras de empregos, foram capazes de atrair significativo contingente populacional. Como conseqüência, o adensamento populacional e o desenvolvimento das atividades econômicas incorporaram uma

nova organização na configuração espacial dessas cidades, bem como novas estruturas sociais e econômicas (ROSSETTI et al., 2013)

A Agência Nacional de Águas - ANA (2010) afirma que, a oferta de água possui distribuição irregular e faltam investimentos na gestão de novos mananciais. Além disso, existem perdas devido às negligências com os sistemas de fornecimento e no tratamento deste recurso. Silva (2017) defende a importância de se investir em uma gestão eficiente, que identifique os pontos de vulnerabilidade a serem trabalhados e tenha como uma de suas principais metas as ações preventivas.

### **3.3 Gestão dos recursos hídricos**

Silva (2017) descreve um dos marcos importantes na história da gestão de recursos hídricos brasileira, que foi a instituição do Código das Águas em 10 de julho de 1934, por meio do decreto nº 24.643. A partir deste, foram criadas classificações para a água através de suas propriedades e usos, bem como, regulamentado o seu uso para geração de energia elétrica, uma das maiores problemáticas do país desde o séc. XX (CORRÊA, 2005).

Posteriormente em 1997, o decreto nº 24.643 foi revogado em virtude da criação da Lei das Águas (nº 9.433), que instituiu a nova Política Nacional de Recursos Hídricos, onde a definiu como um bem de domínio público e recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Essa lei tem como meta principal a garantia de disponibilidade hídrica para gerações futuras.

Mais recentemente em 17 de julho de 2000, a ANA criada por meio da lei nº 9.984, é uma entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, responsável pela instituição de normas de referência para regular os serviços públicos de saneamento a nível nacional.

A gestão em nível estadual, na Paraíba fica a cargo da Agência Executiva de Gestão das Águas - AESA, criada em 2005, o órgão é vinculado à Secretaria de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente – SEIRHMA.

Revisando o histórico de medidas tomadas, até então, Oliveira (2019) define a Política de Gestão de Águas como promotora da sustentabilidade hídrica no Brasil, e que deve ser feita através do uso racional de suas fontes existentes e de incentivos como subsídios, medidas de conservação, tratamento adequado e programas educacionais.

### 3.4 Gestão da demanda através do uso racional da água

Como recurso essencial à vida e de limites muito bem definidos, a água é afetada diretamente pelas elevadas densidades demográficas nas regiões metropolitanas, que também contribuem para a poluição dos corpos hídricos por meio de esgotos doméstico e industriais (ARAÚJO; RODRIGUES; NUNES, 2008).

O uso racional da água refere-se ao controle da demanda por meio da redução do consumo, visto que, atualmente é muito mais extenuante tratar de problemas como a poluição dos corpos hídricos.

Por sua vez, Dreher (2008) descreve algumas medidas eficazes na redução do desperdício de água em edifícios como:

- Ações econômicas de cunho financeiro, subsídios e redução de tarifas para implementação de sistemas economizadores de água, ou desincentivos como aumento das tarifas relacionadas ao consumo de água;
- Ações tecnológicas como substituição de sistemas tradicionais por sistemas híbridos de captação e utilização de água, reaproveitamento da água e controle tecnológico quantificando o consumo e corrigindo vazamentos no sistema de abastecimento através dos dispositivos de sensoriamento;
- Ações sociais transformando o comportamento individual por meio de campanhas educativas.

Em consequência da redução no consumo de água, também deverão ser reduzidos os custos com energia elétrica e na manutenção de equipamentos como bombas hidráulicas. Também haverá redução nos custos de operação dos sistemas de suprimento de água e esgotamento sanitário, prolongando a sua vida útil.

Além disso, pode-se destacar incentivos como o Programa de uso Racional da Água - PURA, criado em 1996, pela Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo, uma das medidas que visam a redução no consumo de água promovendo a utilização de dispositivos poupadores de água e a conscientização da população.

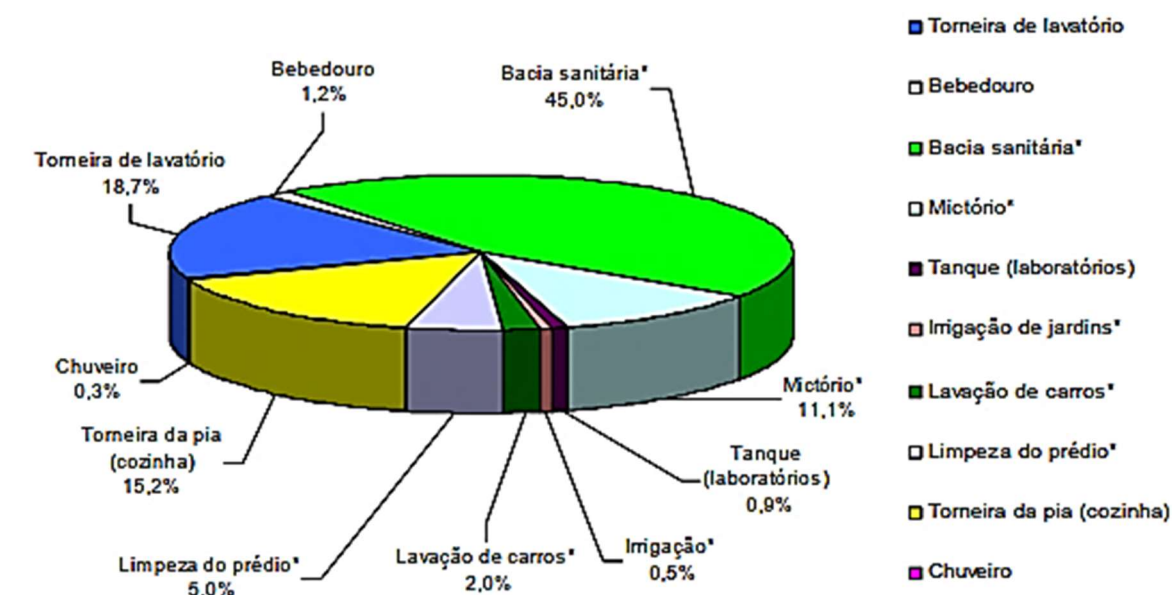
Há também registradas outras iniciativas por parte do poder público no Nordeste a fim de ampliar o acesso a água potável em comunidades mais carentes. Podemos citar a construção das adutoras no estado do Rio Grande do Norte, as técnicas de captação de água de chuva e armazenamento em cisternas e a contribuição da Petrobrás na perfuração de poços, entre outros (ARAÚJO; RODRIGUES; NUNES 2008).

### 3.5 Uso final da água

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) emite anualmente um diagnóstico a respeito dos serviços de água e esgoto. Através do diagnóstico de 2019 é possível ter uma noção a respeito dos consumos médios per capita de cada região do Brasil (Anexo A). No mesmo ano, no Estado da Paraíba, foi verificado um consumo médio per capita de 113,4 L/hab.dia, bem abaixo da média brasileira que é de 153,9 L/hab.dia.

Saindo do âmbito nacional e analisando o cenário das instituições de ensino, Marinoski e Ghisi (2008) em seu estudo sobre aproveitamento de água pluvial para fins não-potáveis, na instituição de ensino superior SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), verificou que os vasos sanitários foram responsáveis pela maior parcela de consumo de água, equivalente a 45% do total, seguido pelo uso de água nas torneiras dos lavatórios, consumindo 18,7% (Figura 1).

FIGURA 1: Consumo de água no SENAI



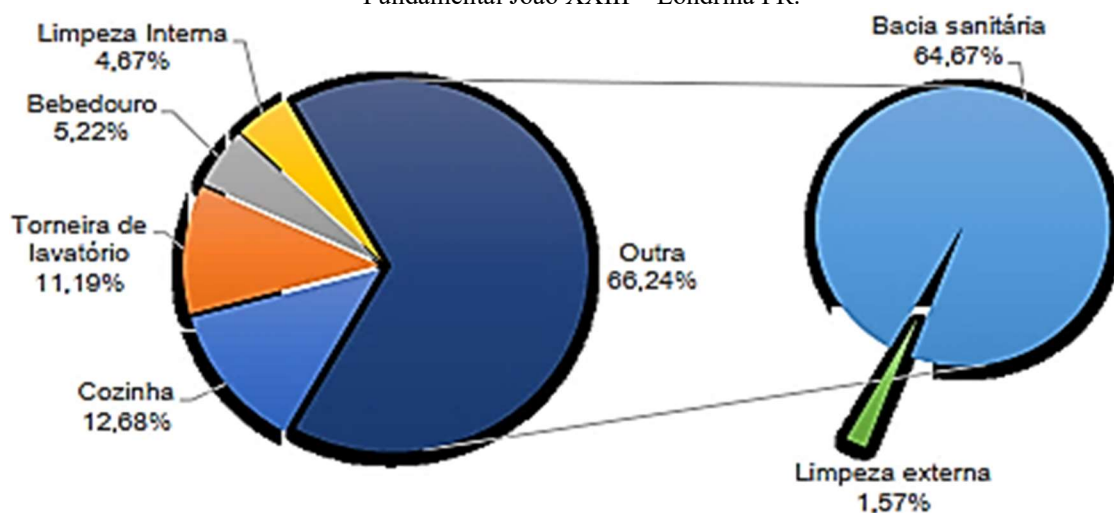
FONTE: Adaptado de Marinoski e Ghisi (2008)

Para fins de estimativa de redução no consumo de água, assim como realizado anteriormente por Cabral et al. (2017), adotam-se os percentuais de uso final encontrados no estudo de caso de Marinoski e Ghisi (2008), que somados resultam em 63,5%, referentes ao consumo não potável, após devidas correções.

Para Weiller e Santos (2020) este tipo de investigação científica aponta a necessidade de diminuir o consumo de água potável através do reuso em atividades não potáveis. Demonstrando em seus estudos em escolas de educação infantil (Figura 2), 66% do consumo

direcionado aos mictórios e vasos sanitários, estimativas realizadas de forma semelhante à de Ywashima et al. (2006), com 82% em escolas de ensino fundamental.

**FIGURA 2:** Distribuição do uso de água por atividade na Escola Municipal de Educação Infantil e Ensino Fundamental João XXIII – Londrina PR.



**FONTE:** Adaptado de Weiller e Santos 2020.

A utilização de dados percentuais referenciados por levantamentos estatísticos de autores em paralelo, se deu devido às dificuldades para levantamento de dados e estimativa dos valores de usos finais em tempo hábil na própria instituição. Além disso, os percentuais adotados, encontram-se próximos aos valores encontrados em pesquisas semelhantes (ALMEIDA; GOMES, 2011; BRANDÃO, 2018; CABRAL, 2017; DORNELLES, 2012).

Os pontos de consumo com uso para fins não potáveis são: as descargas de vasos sanitários, limpeza, totalizando 64% do uso final de água. Desta forma, qualquer tratamento da água pluvial é desnecessário, porém é recomendado um processo de filtragem para evitar o acúmulo de detritos no reservatório e, conseqüentemente danos aos equipamentos.

Para estimativa do volume de aproveitamento da água da chuva deve-se levar em consideração perdas devido a limpeza do telhado, evaporação, autolimpeza do sistema de captação e outras (MARINOSKI; GHISI, 2008). Dessa forma, o volume de chuva captado não é o mesmo precipitado. Para considerar esse fator nos cálculos, utiliza-se um coeficiente de escoamento superficial. Tomaz (2000) sugere um coeficiente de escoamento superficial igual a 0,80 (perdas iguais a 20%).

### 3.6 Reservatório de Água Pluvial

Os reservatórios de água da chuva podem ser construídos com os mais diversos materiais, desde os mais comuns como o concreto armado, aos compósitos em fibra de vidro e epoxy. O mais importante é garantir que estes atendam aos requisitos do projeto e possuam boa estanqueidade, garantindo um padrão de qualidade aceitável sem riscos de contaminação.

Como já foi discutido neste trabalho, as variáveis essenciais para determinar o volume final do reservatório são a precipitação pluviométrica local, a área de captação e a natureza das demandas de água potável e pluvial, além dos coeficientes de perdas relacionadas ao descarte para limpeza, filtragem e captação.

É procedimento padrão utilizar volume inicial de precipitação para efetuar a limpeza da área de captação, sendo que este primeiro contato também está sujeito a evaporação e/ou absorção, portanto, é necessário calcular um coeficiente redutor para o volume aproveitado, este coeficiente pode ser calculado através da seguinte equação (3.1) (ABNT, 2007):

$$V_{ap} = P \times A \times C_p \quad 3.1$$

Onde:

- $V_{ap}$  - Volume aproveitável de água pluvial no intervalo de tempo considerado (litros);
- $P$  - Precipitação pluviométrica da localidade no intervalo de tempo considerado (mm = litros/m<sup>2</sup>);
- $A$  - Área de captação (m<sup>2</sup>);
- $C_p$  - Coeficiente de aproveitamento de água pluvial (adimensional).

Podemos definir o coeficiente de aproveitamento de água pluvial em função do coeficiente de escoamento superficial da área de captação. Este último é calculado em função do material da área de captação e da eficiência do sistema de captação como indica a equação abaixo (3.2) (ABNT,2007):

$$C_p = C \times \eta f c \quad 3.2$$

Onde:

- $C_p$  - Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

$\eta_{fc}$  - Eficiência do sistema de captação, levando-se em conta o descarte dos dispositivos instalados no sistema e o desvio de escoamento inicial (adimensional).

Heberson, Marcório e Ribeiro (2009) destacam que para determinar o coeficiente de escoamento superficial, pode-se verificar não somente o material da superfície de captação, como também observar as considerações dos demais autores em pesquisas semelhantes como, Haught e Wyckhoff (2009) que consideram, para telhados cerâmicos, um coeficiente de 0,60, ou Frasier (1975) considerando entre 0,80 e 0,90. Para esse estudo adota-se um coeficiente de aproveitamento de 80%, supondo ser possível captar toda a água da chuva proveniente da cobertura da universidade, durante o período de um ano.

### **3.6.1 Métodos de Dimensionamento**

O reservatório para captação de água pluvial deve ser dimensionado de modo que não permaneça ocioso por longos períodos de tempo e evitando também o desperdício da água armazenada. A NBR 15527:2007 apresenta seis diferentes métodos para o dimensionamento do reservatório de armazenamento da água da chuva para fins não-potáveis. Entretanto, são apresentados neste trabalho apenas três e o software Netuno para simulação dos resultados desses métodos.

A partir da estimativa do consumo mensal, que fornece a demanda de água pluvial nas instalações da UEPB, e da variação dos dados pluviométricos é possível prosseguir com a aplicação dos métodos matemáticos.

#### 3.6.1.1 Método de Rippl

Conhecido como Diagrama de Massas, este método foi desenvolvido, a princípio, para grandes reservatórios, determinando o volume, ao considerar que toda a água precipitada não seja totalmente armazenada, correlacionando tal volume com a média de consumo mensal da edificação (CAMPOS, 2004).

Rocha (2006) destaca que o método de Rippl só deve ser aplicado quando o volume total demandado num determinado período é menor ou igual ao volume captado, suprimindo assim 100% da demanda de água pluvial durante a estiagem. Caso contrário recomenda-se igualar o volume total demandado ao captado, efetuando novamente o cálculo de percentual de suprimento da demanda para o período de estiagem.



A coleta de dados da pluviometria local torna-se proporcionalmente mais precisa ao período analisado, que, quanto maior, mais eficiente será o dimensionamento. O volume do reservatório é calculado pela diferença entre demanda e volume de chuva aproveitável, como indicado na equação (3.3):

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad 3.3$$

Onde:

**S(t)** - Volume de água no reservatório no tempo t;

**Q(t)** - Volume de chuva aproveitável no tempo t;

**D(t)** - Demanda ou consumo no tempo t.

O volume de chuva aproveitável no tempo t é calculado através da Equação (3.4).

$$Q(t) = C \times \text{precipitação da chuva (t)} \times \text{área de captação} \quad 3.4$$

**C** - Coeficiente de escoamento superficial.

A equação (3.5) finaliza o cálculo do volume do reservatório, sendo este valor o somatório dos volumes de água no reservatório no tempo t.

$$V = \sum S_{(t)}; \text{ somente para valores } S(t) > 0 \quad 3.5$$

Sendo que:  $\sum D(t) < \sum Q(t)$ ;

**V** - Volume do reservatório.

Esta formulação deve resolver o método de forma analítica. Todavia, o método Rippl pode ser aplicado tanto na forma analítica quanto na gráfica, não descrita na norma. As técnicas devem ter resultados aproximadamente iguais, quando aplicadas para uma mesma situação (TOMAZ, 2003).

No método Rippl Gráfico, são traçadas as curvas dos volumes acumulados de água de chuva captada e das demandas de água pluvial acumuladas. O volume do reservatório é obtido por intermédio do traçado de duas paralelas à reta das demandas acumuladas: uma que tangencie o ponto mais alto da curva de volume captado acumulado e outra, o ponto consecutivo mais baixo da mesma curva, que representam os instantes de acumulação máxima e mínima,

respectivamente. A distância vertical entre essas duas paralelas é o volume do reservatório, ou seja, o máximo déficit do período analisado (BRANDAO; MARCON, 2018).

### 3.6.1.2 Método de Azevedo Neto

Este método também é conhecido como Prático Brasileiro, utiliza uma série de precipitação de forma anual relacionando-a com a quantidade de meses com pouca chuva ou seca e defende o aproveitamento máximo de 50% da precipitação anual, considerando o escoamento superficial e as perdas inerentes ao sistema. Desconsidera a influência da demanda de água, considerando apenas o volume captado e o período mensal de estiagem (SILVA, 2018).

O volume de chuva é então obtido pela equação (3.6), (ABNT, 2007).

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad 3.6$$

Onde:

- P** - Valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);
- T** - Valor do número de meses de pouca chuva ou seca;
- A** - Valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m<sup>2</sup>);
- V** - Valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

### 3.6.1.3 Método Prático Alemão

Trata-se de um método empírico (generalista) no qual se toma o menor valor do volume do reservatório que é de 6 % do volume anual de consumo ou 6 % do volume anual de precipitação aproveitável (ABNT, 2007), conforme a Equação (3.7):

$$V_{adotado} = \text{mín} [V ; D] \times 0,06 \quad 3.7$$

**V<sub>adotado</sub>** = mínimo de (volume anual precipitado aproveitável e volume anual de consumo) x 0,06 (6 %)

Onde:

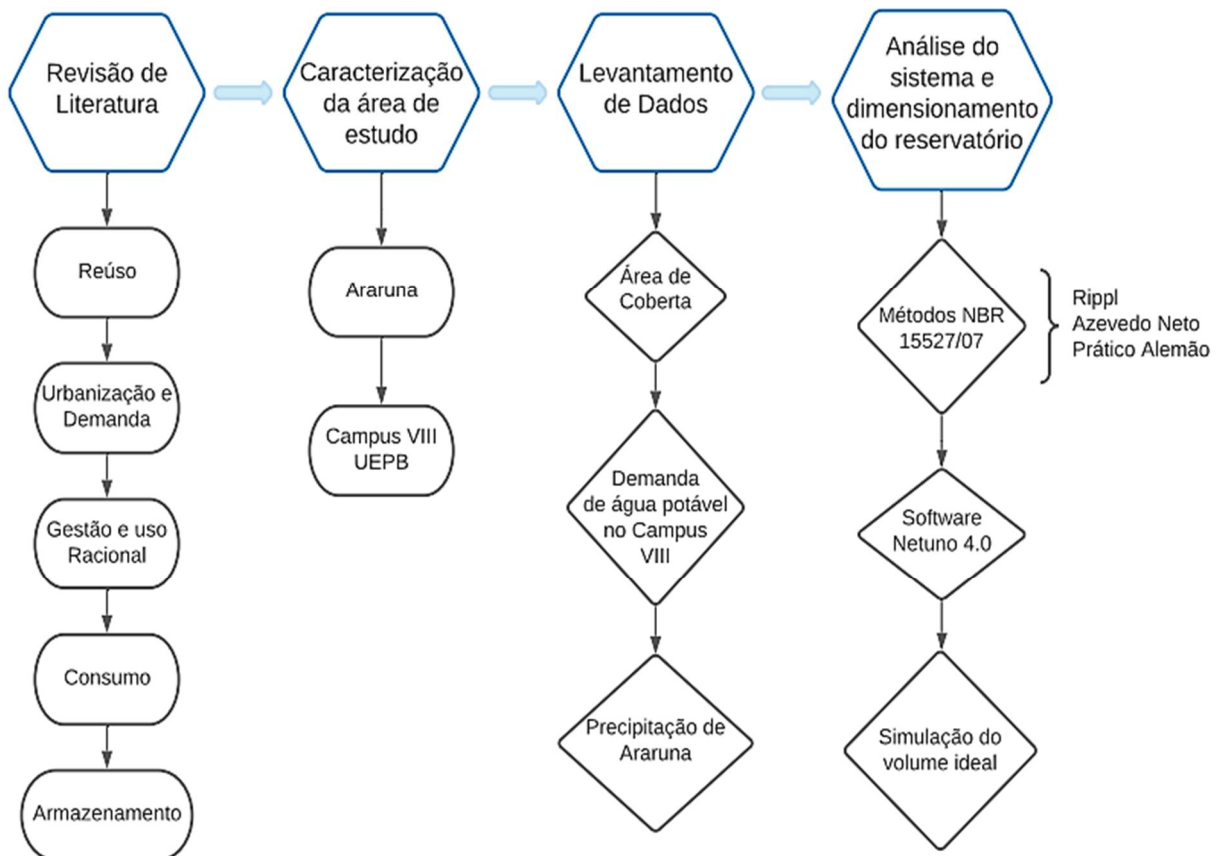
- V** - Valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros (L);
- D** - Valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);
- V<sub>adotado</sub>** - Valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

Ademais, os três métodos supracitados nesta seção (3.6.1) foram utilizados em prol do desenvolvimento desta pesquisa como pontos de referência na obtenção do volume mais adequado e que corresponde ao melhor potencial de utilização dos recursos captados, suas aplicações são demonstradas na última etapa da metodologia descrita adiante e, através dos seus resultados, podemos ter uma melhor compreensão de seu funcionamento.

## 4 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas (FIGURA 3). Na Etapa 1 realizou-se uma revisão de literatura a respeito do funcionamento e concepção dos sistemas de aproveitamento de água pluvial e das aplicações dos métodos propostos pela NBR 15527:2007 em artigos acadêmicos e monografias, juntamente com as suas referências, presentes no tópico 3 deste trabalho. A Etapa 2 consiste na caracterização da área de estudo, sendo a cidade de Araruna, localizada no estado da Paraíba (PB) e a instituição de ensino, UEPB. Após isso, foram feitos levantamento de dados necessários para a pesquisa, que consiste na Etapa 3. Por fim, a Etapa 4 realizou as aplicações dos métodos matemáticos propostos na norma supracitada, bem como as simulações com auxílio do software Netuno.

FIGURA 3: Fluxograma



FONTE: Elaboração própria

#### **4.1 Caracterização da pesquisa**

A pesquisa desenvolvida é de caráter investigativo, esta, reúne uma série de dados que materializam o estudo de uma região em relação ao seu balanço hídrico e características físicas para o projeto. Através da modelagem matemática e análise estatística do comportamento pluviométrico na região, é estimado um volume ideal para o reservatório, buscando o reuso da água pluvial em fins não potáveis dentro da instituição.

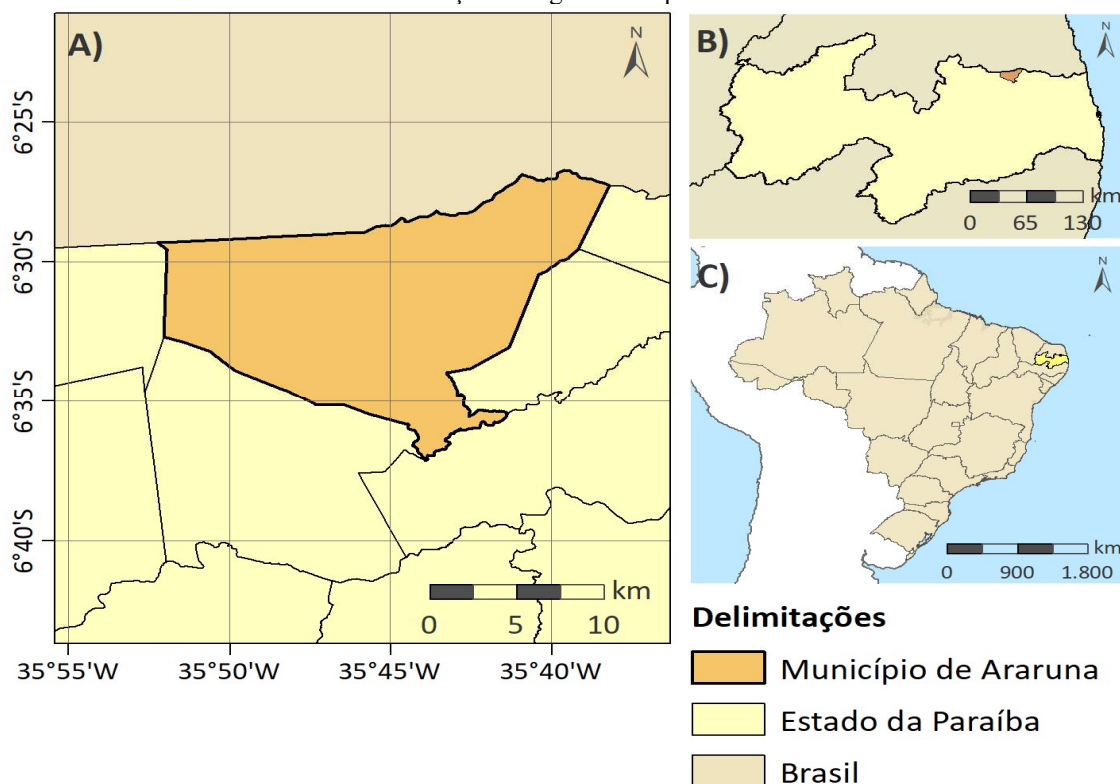
O trabalho é categorizado com pesquisa quantitativa devido ao uso dos métodos matemáticos e ferramentas técnicas de análise, como o software Netuno. Quanto aos objetivos gerais, classificou-se em uma pesquisa exploratória devido a necessidade de obtenção do potencial de captação e reuso de água na instituição de ensino, bem como o aprimoramento dessas ideias. Também como descritiva, em razão do estabelecimento de relações entre as variáveis obtidas em campo e os resultados das simulações matemáticas para o reservatório.

#### **4.2 Caracterização da área de estudo**

##### ***4.2.1 O município de Araruna***

O município de Araruna está localizado (Figura 4) a aproximadamente a 165 km da capital da Paraíba, João Pessoa, e a 100 km de Campina Grande, segunda maior cidade do estado. Sua fundação ocorreu em 10 de julho de 1876, e segundo o último censo feito pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no ano de 2010, a população ararunense correspondia a 18.879 habitantes. Por sua vez, no ano de 2018, esse órgão estima que aproximadamente 20.215 pessoas habitem essa cidade.

FIGURA 4: Localização da região metropolitana de Araruna-PB



FONTE: Elaborada a partir de IBGE (2019).

Em relação ao sistema de abastecimento de água da cidade, o manancial responsável pela alimentação deste é a Barragem Canafistula II, localizada no município de Borborema-PB, cuja capacidade máxima é de 4.102.626 m<sup>3</sup> (AESAs, 2018). Esta barragem foi projetada para abastecer plenamente as cidades de Solânea, Bananeiras, Cacimba de Dentro, Araruna, Riachão, Tacima, Dona Inês e Damião. O serviço de água é prestado pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba- CAGEPA.

Do manancial partem dois sistemas de abastecimento, com uma estação elevatória para cada, onde um desses sistemas alimenta a cidade de Araruna. A Estação de Tratamento de Água está localizada na cidade de Cacimba de Dentro-PB. A partir dessa ETA a água tratada é recalçada para Araruna em uma tubulação de 250 mm em ferro fundido até o reservatório de distribuição, localizado na zona urbana da cidade, com capacidade de 500 mil litros (CAGEPA, 2018).

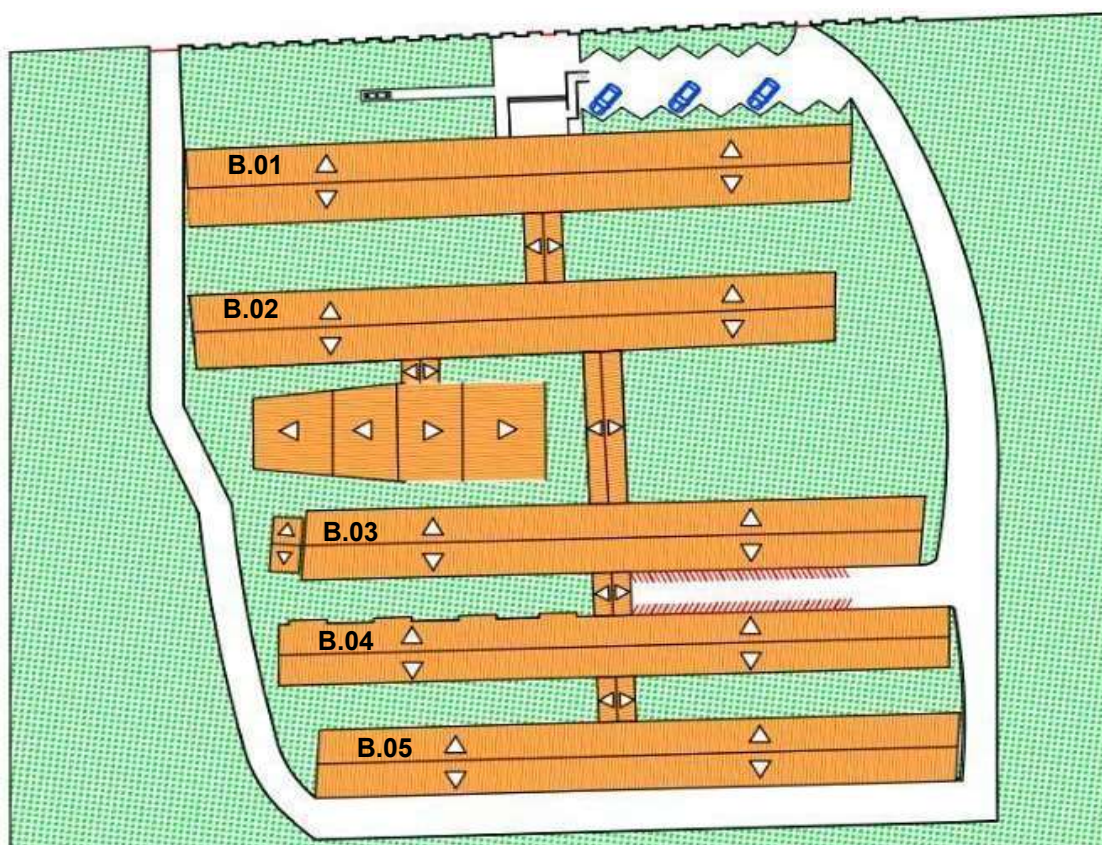
A atual situação de abastecimento de água da cidade de Araruna é precária, uma vez que a água disponibilizada pela CAGEPA chega apenas 2 a 3 vezes no mês, forçando a população a buscar fontes alternativas de abastecimento, como poços, cisternas de água de chuva, carros-pipa, entre outros. De acordo com Alves (2019) “a população da cidade vem buscando cada vez

mais sistemas de soluções alternativas de abastecimento humano, entres elas estão os poços, cisternas e caixas d'água”.

#### 4.2.2 O Campus VIII da UEPB

O campus VIII da UEPB administra os cursos de bacharelado em Odontologia, licenciatura em Física e bacharelado em Engenharia Civil. As salas e laboratórios e Odontologia possuem uma estrutura formada por cinco blocos. O pavimento térreo é composto por trinta e quatro salas, nove laboratórios, três clínicas e uma biblioteca, com um total de trinta e dois banheiros distribuídos. O estacionamento foi construído em frente ao bloco 1 e, entre os blocos 2 e 3, temos um auditório e cantina (Figura 5). Foi estimada a utilização do campus para uma média de 900 alunos e 100 funcionários, totalizando 1000 pessoas (CABRAL, 2017).

FIGURA 5: Planta de Coberta



FONTE: Elaboração própria

Há também um sétimo bloco de três pavimentos, no qual ficam concentrados os laboratórios e salas de aula do curso de Engenharia Civil (Figura 6), sendo o térreo composto por quatro laboratórios de: estruturas, hidráulica, informática e materiais; banheiros feminino e masculino. O primeiro andar com quatro salas para professores, laboratórios de física

experimental e dois banheiros. O segundo andar comporta laboratórios de física, biologia, química, topografia e geologia, três salas de aula e dois banheiros. O terceiro comporta doze salas de aula divididas entre os cursos de engenharia civil e física, e mais dois banheiros.

**FIGURA 6:** Acesso ao campus VIII - CCTS



**FONTE:** Imagens – Google Maps.

A cobertura dos blocos e demais instalações é constituída por telhado cerâmico e as calhas são construídas em concreto impermeabilizado por manta asfáltica.

Assim, para encontrar o consumo per capita de água no campus, adotou-se o valor do consumo médio diário da universidade a partir da distribuição do seu consumo mensal ao longo dos dias e divide-se este valor pelo número de estudantes e funcionários.

### **4.3 Levantamento de dados**

Os dados necessários para o desenvolvimento da pesquisa foram: dados de área de captação (cobertas), dados de precipitação de Araruna e de consumo de água na instituição de ensino.

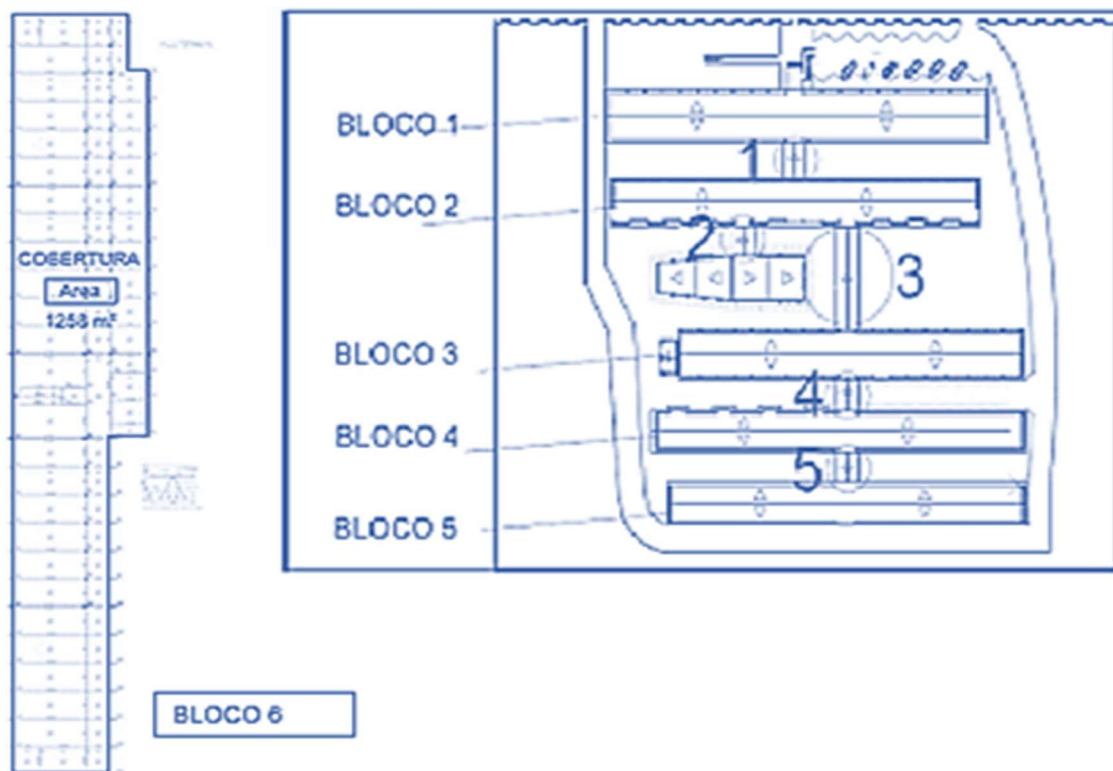
#### **4.3.1 Áreas de cobertura**

Em relação às áreas de cobertura, foi realizado o levantamento das áreas de telhado da instituição a partir da planta ilustrada na Figura 7, para os cálculos necessários da norma de



aproveitamento de águas pluviais. Estes dados calculados para determinar as áreas de contribuição estão apresentados no Quadro 2.

**FIGURA 7:** Representação da cobertura da UEPB



**FONTE:** Elaboração própria

**QUADRO 2 –** Áreas da cobertura da UEPB – Campus VIII

Local	Área (m <sup>2</sup> )	Local	Área (m <sup>2</sup> )
Bloco 1	1071	Bloco 3	910
Passagem 1	42	Passagem 4	35
Bloco 2	945	Bloco 4	865
Passagem 2	33	Passagem 5	33
Passagem 3	118	Bloco 5	830
Auditório	330	Bloco 6	1258
<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>	<b>6470</b>		

**FONTE:** Elaboração própria

Representadas pelas projeções horizontais da cobertura do campus o Bloco 6, de Engenharia e Física, sozinho tem área de 1258m<sup>2</sup>, enquanto que ao lado no térreo, a coordenação, salas de odontologia, biblioteca e demais estruturas representam 5212m<sup>2</sup> de área de captação. Estes dados presentes acima, juntamente com os dados de precipitação são

essenciais para a obtenção do potencial de captação de água e dimensionamento dos reservatórios.

#### **4.3.2 Precipitação**

A obtenção dos dados pluviométricos foi realizada a partir de consulta ao banco de dados de chuva da AESA, em forma de séries históricas de precipitação diárias, médias mensais e anuais, correspondentes aos anos de 1994 até 2020, garantindo uma estimativa sólida, baseada nos últimos 27 anos.

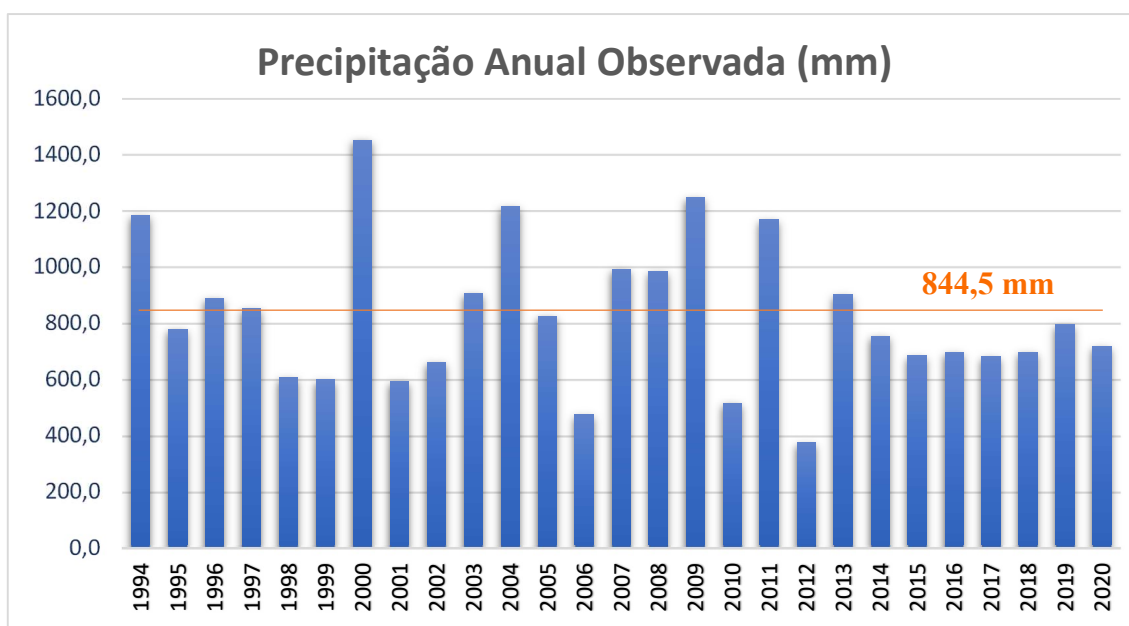
Analisar as precipitações médias mensais é fundamental para garantir exatidão no dimensionamento do reservatório e atender a demanda esperada (FILHO et. al, 2019).

A distribuição dessas precipitações influencia diretamente no dimensionamento dos reservatórios ou cisternas. Quanto mais regulares e distribuídas, menores os reservatórios de armazenamento de águas pluviais e conseqüentemente menores os custos de implementação e manutenção.

Moreira et al. (2015) em seu estudo de classificação climática e aptidão agroclimática da cidade de Araruna, classifica o clima como seco subúmido. Com temperatura média anual de 23,5°C, com mínimas de 21,5 °C nos meses de julho e agosto, e máximas em janeiro de 25,1 °C.

A precipitação média anual ilustrada no Gráfico 1 é de 844,5 mm, com maiores taxas de março a julho, oscilando de 105,8 a 133 mm. Enquanto os menores valores são de 12,5 a 68,1 mm e ocorrem de agosto a fevereiro.

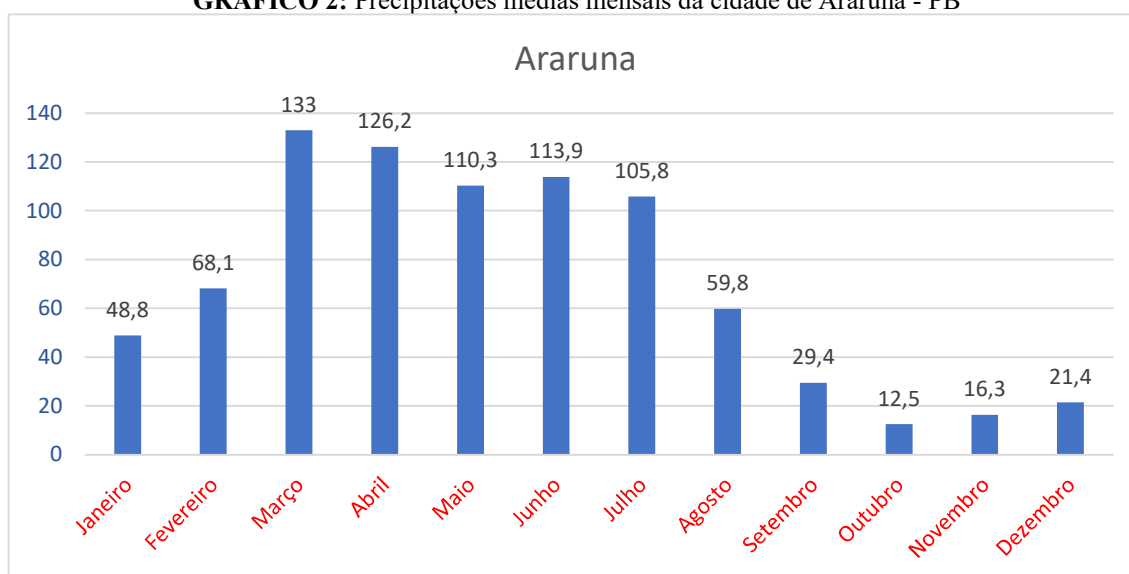
**GRÁFICO 1:** Precipitação anual observada



FONTE: AESA

O Gráfico 2 apresenta a precipitação média aritmética para uma série de médias mensais, obtidas pela AESA, até o presente momento, entre os anos de 1994 a 2020.

**GRÁFICO 2:** Precipitações médias mensais da cidade de Araruna - PB



FONTE: AESA

Com a precipitação média anual observada de 844,5mm/ano, também é possível observar máxima acumulada de 1451,7 mm no ano 2000 e mínimo de 376mm em 2012. O intervalo escolhido de 27 anos, deu-se pela falta da coleta de dados dos anos 1991 a 1993 para fechar a série histórica de 30 anos, definida pela Organização Meteorológica Mundial - OMM, como período mínimo para compreender e identificar as variabilidades climáticas e as suas tendências.

É importante ressaltar que as mínimas de agosto a fevereiro representam uma redução significativa na quantidade de chuva da região, dificultando o potencial de economia de água gerado pelo sistema que podem levar a um dimensionamento menos econômico do reservatório.

#### **4.3.3 Consumo de água potável em Araruna - PB**

Em um levantamento de dados no município de Araruna – PB, Menezes e Nunes et al. (2015) aferiram, juntamente à população entrevistada, que 39% da origem da água que abastece as residências advém de fontes subterrâneas, por meio da perfuração de poços. Da mesma maneira, o campus da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB tem sido abastecido exclusivamente por este meio.

Como referência de consumo médio mensal de água na universidade foi utilizado por Cabral et al. (2017) através dos dados levantados por Tomaz (2000), que para escolas e universidades, este deve variar entre 10 a 50 litros/dia por aluno, sendo adotado para esta simulação 16 litros por dia por aluno, e 210 litros/dia por funcionários, consumo este que pode ser destinado a diversos usos incluindo a manutenção das instalações.

Adotando o aproveitamento de 80% e a área total de cobertura da universidade de 6470 m<sup>2</sup>, durante o período de um ano, em que a precipitação média acumulada é de 844,5 mm, chegaremos a um volume de 4371 m<sup>3</sup>. Valor que representa aproximadamente 49% do consumo médio anual da universidade, que é de 8920 m<sup>3</sup>, considerando 21 dias úteis por mês.

Após a coleta destes dados são feitas suas correlações por meio da aplicação dos modelos matemáticos escolhidos para a estimativa do volume do reservatório. Definindo o volume do reservatório como variável fixa utiliza-se o Netuno para fazer a ponte entre o método proposto na norma e o comportamento da precipitação local e demanda no campus.

#### **4.5 Netuno 4.0**

O Netuno 4.0 trata-se de um software desenvolvido pelo professor Enedir Ghisi, PhD da Universidade de Santa Catarina, com auxílio do engenheiro elétrico e programador Marcelo Marcel Cordova, sendo efetivamente validado pelo eng. Vinícius Luiz Rocha em seu trabalho de mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, sob orientação do prof. Ghisi, em 2009 (HEBERSON; MARCÓRIO; RIBEIRO, 2009).

O programa permite determinar o potencial de economia de água tratada por meio dos sistemas de aproveitamento de água pluvial. Nele é possível correlacionar dados e séries de

precipitações históricas em uma base diária e obter resultados que facilitam a análise de comportamentos sazonais do sistema de captação de águas pluviais. O algoritmo utilizado na simulação do Netuno considera dados diários de precipitação (HEBERSON; MARCÓRIO; RIBEIRO, 2009).

A área de captação é dada segundo a NBR 10844 (ABNT, 1989), como projeção horizontal da cobertura da edificação em metros quadrados.

A demanda diária total é função do número de usuários das instalações do campus, enquanto que a demanda diária de água pluvial pode ser calculada por meio da porcentagem de substituição da água pluvial.

O coeficiente de aproveitamento representa o descarte inicial para limpeza de detritos, e as perdas por absorção e evaporação no sistema de captação.

- No Netuno podemos considerar os dados de entrada do reservatório superior das seguintes maneiras:
  - I. Volume igual à demanda diária de água pluvial, de acordo com a equação (3.8).

$$V_{R.SUP} = P_{SUP} \times D \times n \quad 3.8$$

Onde:

$V_{R.SUP}$  é o volume do reservatório superior.

$P_{SUP}$  é a porcentagem de substituição.

$D$  é a demanda de água potável per capta.

$n$  é o número de moradores.

Obs. O cálculo do volume do reservatório superior desta maneira não é disponível em caso de demanda variável.

- II. Entrar com o volume desejado.
  - III. Sem reservatório superior.
- Para o reservatório inferior são feitas duas considerações.
    - i. Simulação para reservatório com volume conhecido:

Entrar com um valor de volume de reservatório para verificar o potencial de economia de água potável, o volume extravasado por ano e os percentuais de atendimento completo, parcial ou nulo da demanda de água pluvial.

**ii. Simulação para reservatórios com diversos volumes.**

Determina-se um intervalo de análise de volumes de reservatórios. Para isso, deve-se definir o volume máximo (litros) que se deseja analisar, assim como o intervalo entre cada volume simulado. Neste caso, o resultado da simulação será um gráfico de potencial de economia de água potável por meio do uso de água pluvial em função dos diversos volumes do reservatório inferior.

Para a simulação de diversos reservatórios, existe a possibilidade de se determinar o volume ideal do reservatório inferior. O critério usado para tal cálculo consiste em comparar o potencial de economia obtido para volumes de reservatórios adjacentes. Considera-se então, como volume ideal, aquele cujo acréscimo no potencial de economia do volume subsequente é igual ou inferior ao intervalo entre potenciais de economia de água potável adotado (HEBERSON; MARCÓRIO; RIBEIRO, 2009).

Neste trabalho, este intervalo foi definido como aquele em que o potencial de economia de água potável aumentasse 0,05% ou menos, quando houvesse o aumento do volume do reservatório em 1000 litros.

Além do gráfico de potencial de abastecimento por água pluvial também podem ser gerados gráficos de consumo de água pluvial, volume extravasado e atendimento da demanda de água pluvial.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dispondo das variáveis fixas necessárias para realizar este dimensionamento como: área de cobertura do telhado, coeficientes de descarte e escoamento, demanda total de água, percentual de substituição desejado para água pluvial. Foram utilizados alguns dos métodos propostos pela NBR 15527:2007, onde se considerou um período de 30 anos, que tiveram sua precipitação anual média de 844,5 mm conforme os dados descritos em (4.3.1). Sobre uma área de captação de 6470 m<sup>2</sup>, e coeficiente de escoamento superficial adotado de 0,80.

O filtro considerado foi do modelo VF1 fabricado no Brasil e desenvolvido pela empresa Alemã Technik. Em função deste modelo, utiliza-se o coeficiente de aproveitamento do sistema de 0,70, indicando uma perda de 30%.

Na intenção de avaliar se a demanda era totalmente atendida, considera-se que a água potável a ser substituída será destinada apenas às bacias sanitárias, visto que estas representam a maior parcela do consumo de água potável nas instituições de ensino (Item 3.5), almejando-se a priori um total de água potável a ser substituída pela água pluvial de 45%.

Para o preenchimento dos campos do Programa Netuno foi considerado:

- Reserva de consumo de água pluvial para 01 dia:

$$RS = (210 \text{ Litros} \times 100 \text{ Funcionários}) + (16 \text{ Litros} \times 900 \text{ Alunos}) = 35.400 \text{ L/dia}$$

### 5.1 Resultados obtidos pelo Método de Rippl

Também conhecido como diagrama de massas, este método é o procedimento mais comumente utilizado para dimensionar reservatórios em sistemas de aproveitamento de água de chuva. Geralmente utiliza-se uma série histórica de precipitações mensais que, quanto mais extensa melhor, entretanto também é possível utilizar séries de chuvas diárias.

O dimensionamento é realizado conforme as os parâmetros adotados a seguir:

$$C = 0,8;$$

$$\text{Precipitação anual da chuva} = 844,5 \text{ mm};$$

$$\text{Área de captação} = 6470 \text{ m}^2;$$

- Consumo anual de água potável do campus = 35.400 L/dia x 21 dias úteis x 12 = **8.920.800 litros/ano;**
- Consumo de água pluvial no período de 01 ano = consumo de água potável x porcentagem a ser substituída;

- Consumo de água pluvial no período de 01 ano =  $8.920.800 \times 0,45 = 4.014.360$  litros;
- Consumo de água pluvial mensal =  $4.014.360 \div (12 \text{ meses}) = 334.530$  litros.

Teoricamente, para efeito de projeto, este valor é constante durante todo o ano, ou seja, é o mesmo valor para o cálculo de todos os períodos.

O método de Rippl só se aplica quando o volume total captado em um determinado período é maior ou igual ao volume total demandado neste período. Assim, para as séries históricas mensais de chuva obtidas pela equação 3.4 (Tabela 1):

**TABELA 1:** Volume de água de chuva aproveitável (Q) e volume no reservatório (S)

Mês	Q (Litros)	S (Litros)
<b>Janeiro</b>	252.588	<b>81.941</b>
<b>Fevereiro</b>	352.482	<b>-17.955</b>
<b>Março</b>	668.408	<b>-353.878</b>
<b>Abril</b>	653.211	<b>-318.681</b>
<b>Mai</b>	570.912	<b>-236.382</b>
<b>Junho</b>	589.546	<b>-255.016</b>
<b>Julho</b>	570.620	<b>- 213.090</b>
<b>Agosto</b>	309.524	<b>25.005</b>
<b>Setembro</b>	152.174	<b>182.355</b>
<b>Outubro</b>	64.700	<b>269.830</b>
<b>Novembro</b>	84.368	<b>250.161</b>
<b>Dezembro</b>	110.766	<b>223.763</b>

FONTE: Elaboração própria

O volume do reservatório será a máxima de diferença acumulada positiva, ou seja, para os meses em que a demanda é completamente suprimida, valores de S(t) maior que zero:

$$V = S(1) + S(8) + S(9) + S(10) + S(11) + S(12) = 1.033.056,8 \text{ litros (1033 m}^3\text{)}$$

Com o método de Rippl estima-se o volume necessário ao reservatório, definindo-o como variável fixa no Netuno, onde a simulação facilitou a análise dos comportamentos sazonais desse sistema de captação. (GHISI, CORDOVA; 2014)

Neste estudo de caso, os cenários do sistema, com os valores obtidos e os registros diários de precipitação desde 1994, resultaram em um potencial médio de utilização de água pluvial, para o volume obtido no método Rippl de 29,96%, ficando acima nos meses de março a agosto, e o restante dos meses como período seco. Os resultados mensais complementares, da



simulação estão demonstrados na Tabela 2 abaixo, onde também é possível ver que 57,24% dos dias tem a demanda completamente atendida enquanto 37,88% não é atendida. A Figura 8 demonstra os dados de entrada utilizados.

**FIGURA 8:** Simulação do volume calculado pelo método de Rippl feita através do Programa Netuno

The screenshot shows the Netuno 4 software interface. The window title is "Netuno 4". The menu bar includes "Simulação", "Ajuda", "Citação", "Validação", and "Sobre".

On the left side, there are several input fields and buttons:

- A button: "Carregar simulação previamente salva"
- A table for precipitation data:
 

Carregar dados de precipitação	CHUVAS ARARUNÁ
Número de registros	9890
Data inicial (dd/MM/yyyy)	01/01/1994
Descarte escoamento inicial (mm)	1
- Input field: "Área de captação (m²)" with value "6470"
- Input field: "Demanda total de água (litros per capita/dia)" with value "35400" and a "Variável..." button.
- Input field: "Número de moradores" with value "1" and a "Variável..." button.
- Input field: "Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial" with a dropdown menu set to "Outro valor" and a value of "45".
- Input field: "Coeficiente de escoamento superficial" with a dropdown menu set to "0,7 (70% de aproveitamento)".
- Text area: "Observações" with the text: "Preencha este campo para consultas futuras, caso queira salvar a simulação. Este campo não afeta os cálculos."

On the right side, there are simulation settings and results:

- Buttons: "Reservatório superior" and "Reservatório inferior".
- Radio buttons for simulation type:
  - Simulação para reservatório com volume conhecido
  - Simulação para reservatórios com diversos volumes
- Input field: "Volume do Reservatório inferior (litros):" with value "1033056,8".
- Potencial de utilização de água pluvial: 26,96%**
- Text: "Percentual de dias no período de análise em que a demanda de água pluvial é atendida:"
  - Completamente: 57,24%
  - Parcialmente: 4,88%
  - Não atende: 37,88%
- Button: "Valores mensais" (highlighted with a blue border)
- Buttons: "Simular", "Salvar simulação atual", and "Limpar campos".
- Button: "Análise Econômica"

FONTE: Elaboração própria

TABELA 2: Resultados mensais da simulação no NETUNO 4

Resultado mensal da simulação								
Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (litros)	Volume consumido de água potável (litros)	Volume extravasado (litros)	Atendimento completo (%)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)	Média diária de recalques
Janeiro	18,26	6464,88	28935,12	1300,04	36,88	7,17	55,95	0,00
Fevereiro	25,57	9051,72	26348,28	3358,62	53,60	6,03	40,37	0,00
Março	35,69	12635,83	22764,17	373,17	77,30	3,94	18,76	0,00
Abril	37,89	13413,40	21986,60	1381,85	82,59	2,96	14,44	0,00
Mai	37,09	13130,31	22269,69	2418,46	80,17	4,06	15,77	0,00
Junho	40,07	14183,93	21216,07	2279,97	87,04	3,70	9,26	0,00
Julho	41,01	14517,77	20882,23	3581,59	89,37	2,99	7,65	0,00
Agosto	34,27	12132,97	23267,03	1649,86	73,36	5,50	21,15	0,00
Setembro	24,46	8657,45	26742,55	329,70	51,85	4,69	43,46	0,00
Outubro	11,69	4138,92	31261,08	0,00	22,82	5,85	71,33	0,00
Novembro	7,83	2771,73	32628,27	0,00	14,94	4,69	80,37	0,00
Dezembro	9,64	3412,90	31987,10	0,00	17,56	6,93	75,51	0,00
<b>Média</b>	<b>26,96</b>	<b>9544,34</b>	<b>25855,66</b>	<b>1377,54</b>	<b>57,24</b>	<b>4,88</b>	<b>37,88</b>	<b>0,00</b>
<b>Total ano</b>		<b>3,48368E6</b>	<b>9,43732E6</b>	<b>502804</b>				

FONTE: Elaboração própria

## 5.2 Resultados pelo Método Azevedo Neto

Empregando a equação (3.6), com os dados necessários a seguir, sendo T o período da estação seca definida pelos meses com potencial de utilização de água potável abaixo da média, temos:

$$P= 844,5 \text{ mm} \quad A= 6470 \text{ m}^2 \quad T= 6 \text{ meses}$$

$$V= 1.376.906 \text{ Litros } (\sim 1377 \text{ m}^3)$$

É necessário observar que para o dimensionamento do reservatório de água de chuva, este método não considera a demanda de água e isso é determinante para o superdimensionamento do reservatório.

Para simular os cenários do sistema de captação de água de chuvas, neste caso, os valores obtidos foram inseridos no programa através da interface exibida na Figura 9, que resultaram em um potencial médio de utilização de água pluvial de 27,57% ficando acima disso nos meses de março a agosto conforme os resultados mensais da simulação são demonstrados na Tabela 3 onde também é possível ver que 58,63% dos dias tem sua demanda completamente atendida enquanto 36,58% não é atendida. Este resultado muito se aproxima do volume obtido após aplicação do método de Rippl, comportamento que também pode ser observado em pesquisas semelhantes, mesmo que para outras regiões e que fundamentam este estudo.

FIGURA 9: Simulação do volume calculado pelo método de Azevedo Neto feita através do Programa Netuno

The screenshot shows the Netuno 4 software interface. The window title is "Netuno 4". The menu bar includes "Simulação", "Ajuda", "Citação", "Validação", and "Sobre".

Buttons: "Carregar simulação previamente salva", "Reservatório superior", "Reservatório inferior", "Salvar simulação atual", "Limpar campos", "Análise Econômica".

Inputs and Data:

Carregar dados de precipitação	CHUVAS ARARUNA
Número de registros	9890
Data inicial (dd/MM/yyyy)	01/01/1994
Descarte escoamento inicial (mm)	1

Área de captação (m<sup>2</sup>): 6470

Demanda total de água (litros per capita/dia): 35400 (Variável...)

Número de moradores: 1 (Variável...)

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial: Outro valor (dropdown) 45

Coefficiente de escoamento superficial: 0,7 (70% de aproveitamento) (dropdown)

Observações: Preencha este campo para consultas futuras, caso queira salvar a simulação. Este campo não afeta os cálculos.

Reservatório inferior:

- Simulação para reservatório com volume conhecido
- Simulação para reservatórios com diversos volumes

Simulação:

Volume do Reservatório inferior (litros): 1376906,4

**Potencial de utilização de água pluvial: 27,57%**

Percentual de dias no período de análise em que a demanda de água pluvial é atendida:

- Completamente: 58,63%
- Parcialmente: 4,78%
- Não atende: 36,58%

Valores mensais (button)

Simular (button)

FONTE: Elaboração própria

TABELA 3: Resultados mensais da simulação no NETUNO 4

Resultado mensal da simulação								
Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (litros)	Volume consumido de água potável (litros)	Volume extravasado (litros)	Atendimento completo (%)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)	Média diária de recalques
Janeiro	18,45	6530,76	28869,24	454,81	37,23	7,28	55,49	0,00
Fevereiro	25,57	9051,72	26348,28	1382,52	53,60	6,03	40,37	0,00
Março	35,69	12635,83	22764,17	0,00	77,30	3,94	18,76	0,00
Abril	37,89	13413,40	21986,60	0,00	82,59	2,96	14,44	0,00
Mai	37,09	13130,31	22269,69	969,82	80,17	4,06	15,77	0,00
Junho	40,07	14183,93	21216,07	1223,90	87,04	3,70	9,26	0,00
Julho	41,01	14517,77	20882,23	3252,79	89,37	2,99	7,65	0,00
Agosto	34,27	12132,97	23267,03	1441,09	73,36	5,50	21,15	0,00
Setembro	25,00	8851,39	26548,61	329,70	53,33	4,20	42,47	0,00
Outubro	13,67	4837,86	30562,14	0,00	27,48	5,38	67,14	0,00
Novembro	11,47	4059,62	31340,38	0,00	22,96	4,57	72,47	0,00
Dezembro	10,61	3755,63	31644,37	0,00	19,83	6,69	73,48	0,00
<b>Média</b>	<b>27,57</b>	<b>9760,20</b>	<b>25639,80</b>	<b>753,40</b>	<b>58,63</b>	<b>4,78</b>	<b>36,58</b>	<b>0,00</b>
<b>Total ano</b>		<b>3,56247E6</b>	<b>9,35853E6</b>	<b>274993</b>				

FONTE: Elaboração própria

### 5.3 Resultados pelo método Prático Alemão

O Método Prático Alemão considera o volume adotado como o mínimo de (volume anual de consumo e volume anual precipitado aproveitável) x 0,06 (6 %).

- Volume Anual de Consumo

Consumo de água pluvial no período de 01 ano =  $8.920.800 \times 0,45 = 4.014.360$  litros.

**Volume anual do consumo: 4014,36 m<sup>3</sup>.**

- Volume Anual de Precipitação Aproveitável

$$C_p = 0,70$$

$$P = 844,5 \text{ mm}$$

$$A = 6470 \text{ m}^2$$

$$V_{ap} = 0,70 \times 844,5 \times 6470$$

$$\mathbf{V_{ap} = 3824740,5 \text{ litros (3824,74 m}^3\text{)}}$$

Como o valor mínimo entre 4.014.360 e **3.824.740,5 litros** é igual à **3.824.740,5**, o Volume Adotado é:

$$\text{Volume Adotado} = \mathbf{3.824.740,5} \times 0,06$$

$$\mathbf{\text{Volume Adotado} = 229.484,4 \text{ litros (229,5 m}^3\text{)}}$$

Para simular os cenários do sistema de captação de água de chuvas neste estudo de caso, os valores obtidos foram inseridos no programa através da interface exibida na Figura 10, que resulta em um potencial médio de utilização de água pluvial de 22,30% ficando acima nos meses de março a agosto conforme os resultados mensais da simulação demonstrados na Tabela 4, onde também é possível ver que 45,85% dos dias tem a demanda completamente atendida, enquanto 47,31% não é atendida.

FIGURA 10: Simulação do volume calculado pelo método Prático Alemão através do Programa Netuno

The screenshot shows the Netuno 4 software interface. The window title is "Netuno 4". The menu bar includes "Simulação", "Ajuda", "Citação", "Validação", and "Sobre".

Buttons: "Carregar simulação previamente salva", "Reservatório superior", "Reservatório inferior", "Salvar simulação atual", "Limpar campos", "Análise Econômica".

Carregar dados de precipitação	CHUVAS ARARUNA
Número de registros	9890
Data inicial (dd/MM/yyyy)	01/01/1994
Descarte escoamento inicial (mm)	1

Área de captação (m<sup>2</sup>): 6470

Demanda total de água (litros per capita/dia): 35400 Variável...

Número de moradores: 1 Variável...

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial: Outro valor 45

Coefficiente de escoamento superficial: 0,7 (70% de aproveitamento)

Observações: Preencha este campo para consultas futuras, caso queira salvar a simulação. Este campo não afeta os cálculos.

Reservatório inferior:  Simulação para reservatório com volume conhecido

Simulação: Volume do Reservatório inferior (litros): 229484,4

**Potencial de utilização de água pluvial: 22,30%**

Percentual de dias no período de análise em que a demanda de água pluvial é atendida:

- Completamente: 45,85%
- Parcialmente: 6,84%
- Não atende: 47,31%

Valores mensais

Simular

FONTE: Elaboração própria

TABELA 4: Resultados mensais da simulação no NETUNO 4

Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (litros)	Volume consumido de água potável (litros)	Volume extravasado (litros)	Atendimento completo (%)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)	Média diária de recalques
Janeiro	17,28	6117,86	29282,14	5351,33	34,57	7,40	58,03	0,00
Fevereiro	23,24	8226,25	27173,75	7287,58	47,84	7,21	44,95	0,00
Março	31,19	11042,08	24357,92	9989,66	66,55	5,14	28,32	0,00
Abril	35,03	12402,38	22997,62	8596,11	74,69	5,19	20,12	0,00
Maiο	33,18	11745,06	23654,94	5147,92	70,37	6,81	22,82	0,00
Junho	36,74	13007,24	22392,76	7671,34	78,15	6,54	15,31	0,00
Julho	36,51	12926,02	22473,98	7773,76	77,42	6,45	16,13	0,00
Agosto	24,53	8685,38	26714,62	2373,74	48,75	10,87	40,38	0,00
Setembro	11,15	3947,82	31452,18	1164,93	20,12	8,52	71,36	0,00
Outubro	3,42	1210,05	34189,95	0,00	4,54	5,97	89,49	0,00
Novembro	6,35	2246,70	33153,30	565,55	11,60	4,81	83,58	0,00
Dezembro	9,06	3205,92	32194,08	2140,10	16,25	7,05	76,70	0,00
<b>Média</b>	<b>22,30</b>	<b>7894,15</b>	<b>27505,85</b>	<b>4822,09</b>	<b>45,85</b>	<b>6,84</b>	<b>47,31</b>	<b>0,00</b>
<b>Total ano</b>		<b>2,88136E6</b>	<b>1,00396E7</b>	<b>1,76006E6</b>				

FONTE: Elaboração própria



## 5.4 Simulação para máxima eficiência

Considerando a ausência de reservatório superior e efetuando os cálculos para um único reservatório inferior, pode-se observar, na Figura 11, a janela principal do Netuno, com o resultado da simulação referindo-se a uma média anual. O programa também dispõe de uma visão mais detalhada com base mensal (Tabela 5) na qual é possível notar que durante o decorrer dos meses, o potencial de economia de água potável varia dos 8,86% aos 36,13%, quando o máximo para tal estimativa é de 45%. Este comportamento também pode ser verificado através da coluna “Atendimento completo” que atingiria 100% caso a substituição fosse completa.

FIGURA 11: Simulação do volume máximo pelo Netuno

The screenshot shows the Netuno 4 software interface. The window title is "Netuno 4". The menu bar includes "Simulação", "Ajuda", "Citação", "Validação", and "Sobre".

Buttons: "Carregar simulação previamente salva", "Reservatório superior", "Salvar simulação atual", "Limpar campos", "Análise Econômica".

Carregar dados de precipitação	CHUVAS ARARUNÁ
Número de registros	9890
Data inicial (dd/MM/yyyy)	01/01/1994
Descarte escoamento inicial (mm)	1

Área de captação (m<sup>2</sup>): 6470

Demanda total de água (litros per capita/dia): 35400 Variável...

Número de moradores: 1 Variável...

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial: Outro valor 45

Coefficiente de escoamento superficial: 0,7 (70% de aproveitamento)

Observações: Preencha este campo para consultas futuras, caso queira salvar a simulação. Este campo não afeta os cálculos.

Reservatório inferior:  
 Simulação para reservatório com volume conhecido  
 Simulação para reservatórios com diversos volumes

Intervalo da simulação:  
Volume máximo (litros): 2000000  
Intervalo entre volumes (litros): 10000  
 Indicar volume ideal para o reservatório inferior  
Diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial (%/m<sup>3</sup>): 0,05

Buttons: "Simular" (highlighted with a blue dashed border), "Salvar simulação atual", "Limpar campos", "Análise Econômica".

FONTE: Elaboração própria

O volume ideal é aquele cujo acréscimo no potencial de economia para volumes subsequentes é igual ou inferior ao adotado de 0,05% para intervalos de 10.000 L.

Foi aplicada a simulação para o volume máximo de 2.000.000 L (2.000 m<sup>3</sup>) e assinalada a opção “indicar volume ideal para o reservatório inferior”. Assim, foram obtidos resultados em um gráfico de potencial de economia de água potável, por meio do uso de água pluvial em função dos diversos volumes testados para o reservatório inferior, com a determinação do volume ideal do reservatório (ponto preto) no Anexo B, que indica até onde o potencial de economia é significativo em relação ao tamanho final do reservatório. O comportamento do atendimento da demanda de água pluvial em função do volume se encontra no Anexo C.

As simulações indicaram uma melhor eficiência do sistema para um reservatório em torno de 200 m<sup>3</sup>, valor muito próximo ao obtido pelo método Prático Alemão (229 m<sup>3</sup>).

Atingiu-se 44,47% do potencial médio mensal de dias com atendimento completo da sua demanda. Além disso, o potencial de utilização de águas pluviais para este reservatório teve média anual de 21,74%.

O Anexo D apresenta uma tabela com mais detalhes desta simulação como: o potencial de economia de água potável (%), volumes consumido e extravasado (L/dia), demanda de água pluvial que é atendida completamente, parcialmente ou não atendida e diferença entre potenciais de atendimento pluvial (%/m<sup>3</sup>).

Após a comparação (Tabela 6) com o método Prático Alemão, este se mostrou o mais adequado e coerente com o comportamento da curva: volume x potencial de substituição, apresentada pelo programa, e com volume 5 vezes menor em relação ao de Azevedo Neto, apresentando 22,3 % de economia em relação aos 27,7% do Azevedo Neto. Sendo assim, o volume que representa melhor relação entre custos e benefícios, recomendado para o Centro de Ciências Tecnologia e Saúde da UEPB, é em torno dos 200 m<sup>3</sup>.

TABELA 5: Resultado mensal da simulação

Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (litros)	Volume consumido de água potável (litros)	Volume extravasado (litros)	Atendimento completo (%)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)	Média diária de recalques
Janeiro	17,09	6050,15	29349,85	5661,46	34,10	7,40	58,50	0,00
Fevereiro	22,47	7954,19	27445,81	7656,48	45,74	7,60	46,66	0,00
Março	30,65	10851,56	24548,44	10615,59	65,35	5,26	29,39	0,00
Abril	34,06	12058,25	23341,75	8954,22	72,10	6,05	21,85	0,00
Mai	32,26	11421,25	23978,75	5360,38	67,86	7,41	24,73	0,00
Junho	36,13	12789,00	22611,00	8429,97	76,42	7,04	16,54	0,00
Julho	35,74	12653,47	22746,53	8565,25	75,27	7,05	17,68	0,00
Agosto	23,54	8334,73	27065,27	2563,92	46,71	10,87	42,41	0,00
Setembro	10,69	3785,38	31614,62	1431,34	19,38	8,64	71,98	0,00
Outubro	3,32	1174,82	34225,18	0,00	4,30	5,97	89,73	0,00
Novembro	6,16	2181,56	33218,44	565,55	11,11	4,81	84,07	0,00
Dezembro	8,86	3135,47	32264,53	2252,55	15,77	7,05	77,18	0,00
<b>Média</b>	<b>21,74</b>	<b>7697,01</b>	<b>27702,99</b>	<b>5154,54</b>	<b>44,47</b>	<b>7,10</b>	<b>48,43</b>	<b>0,00</b>
<b>Total ano</b>		<b>2,80941E6</b>	<b>1,01116E7</b>	<b>1,88141E6</b>				

FONTE: Elaboração própria

**TABELA 6:** Resumo das estimativas para o período analisado

Método	Volume do reservatório (m <sup>3</sup> )	Dias de demanda atendida (%)	Dias de demanda não atendida (%)	Utilização de água pluvial ao ano (%)
<b>Netuno</b>	200	44,47	48,43	21,74
<b>Prático Alemão</b>	229	45,85	47,31	22,30
<b>Rippl</b>	1033	57,24	37,88	26,96
<b>Azevedo Neto</b>	1377	58,63	36,58	27,57

FONTE: Elaboração própria

Em edificações com grandes áreas de cobertura é possível observar uma boa relação entre o volume captado e o potencial de aproveitamento. A utilização da água pluvial é facilitada por necessitar de pouco ou nenhum tratamento de purificação, ainda assim, seria algo simples de realizar em um campus de ciências e tecnologia.

A escolha do método de dimensionamento para o reservatório de água pluvial tem impactos diretos na eficiência do sistema e na sua viabilidade econômica, principalmente quando o reservatório inferior representa maior parte dos gastos. Neste estudo, foi possível verificar uma grande variação entre as dimensões dos reservatórios calculados.

Pelo método de Rippl o reservatório calculado possui volume de 1033 m<sup>3</sup>, que através do programa Netuno e da inserção dos dados diários de precipitação coletados, levou a um rendimento médio de 57,24% dos dias com atendimento pleno da demanda. O potencial de economia alcançado, representando a substituição da demanda total pela fração de água pluvial coletada, ficou na média de 26,96% ao ano.

No método de Azevedo Neto o volume do reservatório calculado foi de 1377 m<sup>3</sup> onde o programa Netuno apresentou um potencial de dias de atendimento completos de 58,63% e um potencial de economia de 27,57%, para um mesmo consumo mensal do método de Rippl.

Para o método Prático Alemão o volume obtido foi de 229,5 m<sup>3</sup>, que pelo programa Netuno apresentou um potencial de dias em atendimento completo de 45,85% representando um potencial de economia de 22,3%, também para o mesmo consumo mensal.

Se o sistema fosse atender todo o consumo de água que é substituída pela água pluvial o potencial de economia atingiria os 45%, representando, segundo a simulação efetuada, o total da água que o sistema pretende suprir. Entretanto, o método de dimensionamento que atingiu a maior eficiência foi o método do Azevedo Neto, com 27,57%, porém, é necessário um reservatório de volume extremamente grande, se tornando economicamente e tecnicamente inviável.

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, foi possível observar uma grande variabilidade dos volumes de reservatórios dimensionados por meio dos métodos de Azevedo Neto, Rippl e Prático Alemão propostos pela NBR nº 15.527/2007.

Percebeu-se que quanto maior o volume do reservatório, mais próximo chega-se de atender a parcela de substituição da água almejada, entretanto através dos parâmetros adequados e por influência do regime de precipitação local, o software Netuno juntamente aos métodos matemáticos utilizados, possibilitaram uma análise adequada para este sistema, indicando um volume de melhor aproveitamento como o mais próximo aos 200 m<sup>3</sup> sendo semelhante ao sugerido pelo método Prático Alemão (230m<sup>3</sup>), que dispõe de uma taxa de utilização de água pluvial de 22,3 % ao ano, enquanto que para o método de Azevedo Neto, que teve o maior volume estimado (1377 m<sup>3</sup>), quase cinco vezes maior, representou um ganho para 27,57 % da utilização de água pluvial ao ano. Como indicado no ANEXO B, a curva do volume ideal demonstra que mesmo extrapolando o volume do reservatório o sistema não conseguiria render nada além dos 30% de potencial de economia perante os 45% desejados.

Já o método de Rippl mensal apresentou resultados de utilização de água pluvial intermediários sendo de 26,96% ao ano, ainda assim, deve ser observado que este método tem suas variantes para dados diários e gráfica (Diagrama de Massas), que levariam a uma precisão maior. É importante ressaltar que o método de Rippl conforme sua descrição na NBR 15527/07 tem sua definição incompleta e sua aplicação pode gerar volumes de armazenamento não tão precisos (MIERZWA et al. 2007).

Embora a pluviometria local seja um pouco mais elevada que a de um clima tropical semiárido, onde para tal classificação deveria estar abaixo dos 800mm acumulados ao ano, a escolha do método mais adequado também depende dos interesses de utilização do sistema. Em regiões com baixo índice pluviométrico, utilizar preferencialmente métodos que levam a um reservatório superdimensionado seria um caso da aplicação do método de Rippl, que considera em sua metodologia o volume do reservatório pensando nos períodos de seca. Algo um tanto contraditório, já que em regiões com alto índice pluviométrico, a literatura indica a utilização de métodos conservadores como o Prático Alemão, e que se mostrou o mais adequado para o Campus VIII.

Embora o reservatório definido como ideal para este método pelo programa computacional “Netuno 4” não atenda a demanda total do volume de água potável consumido

pela instituição, a economia proporcionada através do uso de água pluvial e o percentual de atendimento da demanda justificam a implantação do sistema.

Deve-se observar que o regime pluviométrico de Araruna não é plenamente favorável ao aproveitamento de água de chuva tendo em vista a existência de um período seco de aproximadamente 06 meses (setembro a fevereiro).

É importante ressaltar que determinar a capacidade ótima do reservatório, apesar de ser um desafio para viabilidade econômica, não representa a totalidade deste estudo, visto que ainda estão disponíveis no próprio software ferramentas de análise da economia gerada e tempo de retorno do investimento, havendo necessidade de aprofundar-se nesse tema desde a concepção teórica aos métodos empíricos. É possível realizar uma pesquisa para quantificar de forma racional a demanda de água no campus bem como seus fins de utilização, ou realizar uma análise complementar, quantificando os benefícios econômicos proporcionados pela captação de água da chuva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10844 - **Instalações prediais de águas pluviais** - Rio de Janeiro, 1989.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527 - **Água de Chuva - Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas Para Fins Não potáveis** - Requisitos, 2007.

AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/leis/>>, Acesso em: Fev. 2021.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS (AESA). **Relação dos açudes monitorados**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/volumediario>>. Acesso em: 07 nov. 2020.

ALMEIDA, H. A. de & GOMES, M. V. A. **Potencial para a captação de água da chuva: Alternativa de abastecimento de água nas escolas públicas de Cuité, PB**. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Guarapari – ES, 2011.

ALVES, Renilson Pinto. **Cadastramento das soluções alternativas de abastecimento de água para consumo humano da zona oeste da cidade de Araruna – PB**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2019.

ANA. *Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água*. Panorama Nacional, Volume 1, 2010.

ARAÚJO, Eliete Pinho; RODRIGUES, Rodrigo Pinho; NUNES, Riane. **O gerenciamento da demanda de água é o caminho para propiciar a sua preservação**. Universitas: Arquitetura e Comunicação Social, 2008.

BEZERRA, Stella Maris da Cruz et al. **Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527: 2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR.** 2010.

BRANDÃO, João Luiz Boccia; MARCON, Priscila. **Análise dos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais sugeridos pela NBR 15527/07 com base na simulação diária.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, 2018.

BRASIL. **Código de Águas** – Decreto nº 24.643, de 10 de outubro de 1934. Disponível em: <[https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-24643-10-julho-1934-498122\\_publicacaooriginal-1-pe.html](https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-24643-10-julho-1934-498122_publicacaooriginal-1-pe.html)>, Acesso em: Dez. 2020.

BRASIL. **Lei nº 9433** de 1997, Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm)> , Acesso em: Fev. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.984** – Dispõe sobre a criação da Agencia Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Brasília, 17 de Julho de 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19984.htm)>, Acesso em: Dez. 2020.

BUENO, C., PENNA, N., PERISSINOTTO, N., PINHEIRO, P., MITSUHARA, T. **Trabalho de monografia da disciplina de saneamento e meio ambiente para Arquitetura.** 2012. Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, SP.

CABRAL, Alex Pereira et al. **Estimativa de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis: estudo de caso na universidade estadual da paraíba localizada em Araruna - PB.** Anais II CONIDIS... Campina Grande: Realize Editora, 2017. Disponível em: <<http://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/33495>>. Acesso em: Fev. 2021.

CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. **Conceitos técnicos.** Disponível em: <[http://ew3.com.br/cagepa/informacoes\\_conceitos.shtml](http://ew3.com.br/cagepa/informacoes_conceitos.shtml)>. Acesso em: 28 set. 2020.

CAMPOS, M.A.S. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.



CORRÊA, Maria Letícia. Artigo: **Contribuição para uma história de regulamentação do setor de energia elétrica no Brasil: o Código de Águas de 1934 e o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica**. Política & Sociedade, 2005.

DORNELLES, Fernando. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012.

DREHER, V.L.P.. **Possíveis Soluções Para O Uso Racional Da Água Na Edificação Da Câmara Municipal De Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 2008.

FRASIER, G.W. **Proceedings of water harvesting symposium**. Berkeley: USDA (United States Agricultural Research Service), 1975.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno: Manual Do Usuário**. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/Manual-Netuno-4\\_Junho2014.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/Manual-Netuno-4_Junho2014.pdf)> Acesso em: 25,Dez;2020.

GHISI, Eneidir. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, 2006.

GOOGLE MAPS. **Localização do município de Araruna**. Disponível em <<https://www.google.com.br/maps/@-7.1153436,-34.8513787,15z>>. Acesso em: Fev 2021.

HAUGHT, D; WYCKOFF, I. **Water Project**. Disponível em: <<http://www.awishhellas.org/publications.html>>. 2009.

HEBERSON, Artur Schervier de; MARCÓRIO, Isabela Araújo; RIBEIRO, Rafael Zanelati. **Estudo de metodologias de dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água de chuva**. 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/?loc=0,0U&cat=-1,1,2,-2,-3,128&ind=4710>>

ANA. **Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água. Panorama Nacional, Volume 1**, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Downloads - Geociências, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: abr. 2021.

LIMA, C. A. de. **Barragem de Canafistula II e o abastecimento hídrico em Araruna - PB.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira, 2016.

LIMA, Ana Paula Souza; STEFFEN, Patrícia Cristina. **Comparação entre métodos de dimensionamento de cisternas para aproveitamento de águas pluviais.** 2018.

MARINOSKI, Ana Kelly; GHISI, Enedir. **Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC.** Ambiente construído, 2008.

MATOS, Rigoberto Moreira de; et al. **Classificação climática e aptidão agroclimática de culturas para Araruna-PB.** (2015)

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.** 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MIERZWA, José Carlos et al. **Águas Pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado.** Revista de Gestão de Águas da América Latina, v. 4, p. 29-37, 2007.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. SNIS – **Sistema Nacional de Informação em Saneamento,** Brasília; 2006. Disponível em < [http:// www.snis.gov.br](http://www.snis.gov.br)> Acesso em: Dez 2020.

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.

NUNES, Pedro Souza dos Santos Leitão et al. **Levantamento e classificação de fontes de abastecimento por águas subterrâneas no Curimataú Oriental Paraibano.** Águas Subterrâneas, 2015.

OLIVEIRA, Laís Marques de et al. **Modelagem dinâmica e cenários urbanos de demanda de água: simulações em Campina Grande-PB.** 2019.

PURA - **Programa de uso Racional da Água**, (1996), Disponível em: <<http://www.pura.usp.br/pura-usp/historico/>>, Acesso em: Dez. 2020.

REZENDE, Jozrael Henriques; TECEDOR, Natália. **Aproveitamento de água de chuva de cobertura em edificações: dimensionamento do reservatório pelos métodos descritos na NBR 15527.** Revista Ambiente & Água, v. 12, n. 6, p. 1040-1053, 2017.

ROCHA, V.L. **Análise comparativa entre o método de Rippl e o programa computacional Netuno para dimensionamento de reservatórios destinados ao armazenamento de águas pluviais.** Trabalho apresentado à disciplina de Uso Racional de Água em Edificações, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

ROCHA, Vinicius Luis et al. **Validação do algoritmo do programa netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações.** 2012.

ROSSETTI, L. A. F. G.; ALMEIDA, C. M.; PINTO, S. A. F. **Análise de mudanças no uso do solo urbano e rural com a aplicação de modelagem dinâmica espacial.** In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, p. 6316 - 6323, 2013.

SENAI – **Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial**, Disponível em: <<https://senaiac.org.br/>> , Acesso em: Jan. 2021.

SILVA, R. A. S. e. **Gestão da demanda de água a partir do uso de aparelhos poupadores em escolas de ensino fundamental e médio na cidade de Campina Grande – PB.** Trabalho

de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, 2017.

SILVA, Rubenildo Campos da et, al. **O potencial de captação de água de chuvas: uma proposta para o uso de modelagem matemática.** 2018.

SOUZA, T. J. **Potencial de aproveitamento de água de chuva no meio urbano: o caso de Campina Grande – PB.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil e Ambiental – UFCG, 2015.

TOMAZ, Plínio. **Previsão de consumo de água: interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos.** Navegar, 2000.

TUCCI, Carlos; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações urbanas na América do Sul.** Ed. dos Autores, 2003.

VIANA, V. B. e Costa, C. T. F. 2015. **Dimensões da Sustentabilidade Envolvidas com a Questão da Água.** *Revista NAU Social - v.6, n.10, p. 23-33 Maio/Outubro 2015 ISSN - 2237-78406.*

WEILLER, Giovana Cristina Buso; DOS SANTOS, Latiara Remigio. **Viabilidade no aproveitamento de Água Pluvial para usos não potáveis: Estudo de Caso em Instituição de Ensino de Londrina-Pr.** *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, p. 935-953, 2020.

WIKIPEDIA. **Região metropolitana de Araruna.** Disponível em <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%A3o Metropolitana de Araruna](https://pt.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%A3o_Metropolitana_de_Araruna)>, Acesso em: Fev 2021.

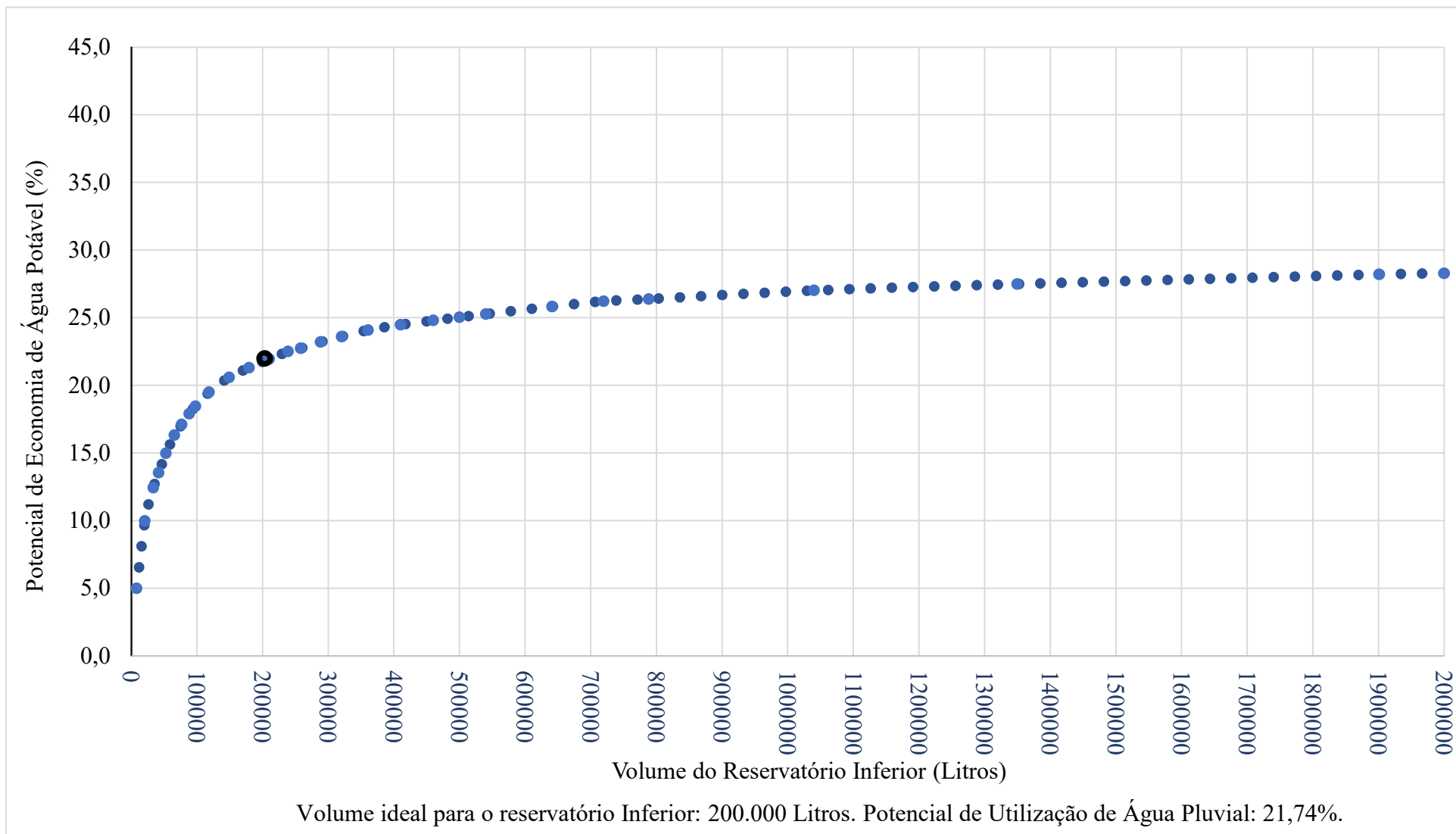
YWASHIMA, Laís Aparecida et al. **Método para Avaliação da Percepção dos Usuários para o Uso Racional de água em Escolas.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. Anais... Porto Alegre: ANTAC. Disponível em: <[www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006\\_3480\\_3489.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_3480_3489.pdf)>. Acesso em 4 abr. 2021.

**ANEXO A:** Tabela de valores do consumo médio per capita de água (IN022) dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2017, 2018 e 2019 segundo estado, macrorregião geográfica e Brasil.

Estado / Macrorregião	IN022 (L/hab/dia)			Variação entre 2017 e 2019 (%)
	Ano 2017	Ano 2018	Ano 2019	
Acre	156,4	150,2	151,3	-3,3%
Amapá	183,9	178,6	164,2	-10,7%
Amazonas	95,7	92,1	94,8	-0,9%
Pará	154,2	153,9	148,5	-3,7%
Rondônia	138,6	140,2	143,6	-3,6%
Roraima	132,7	132,1	130,2	-1,9%
Tocantins	128,9	124,5	126,3	-2,0%
<b>Norte</b>	<b>132,3</b>	<b>131,8</b>	<b>129,1</b>	<b>-2,5%</b>
Alagoas	95,8	143	158,4	65,4%
Bahia	115,6	115,6	115,4	-0,2%
Ceará	117,6	126,7	137,4	16,8%
Maranhão	141,3	136,5	140,9	-0,3%
Paraíba	116,3	115,3	113,4	-2,5%
Pernambuco	95,5	95,3	101,3	6,0%
Piauí	132,5	105,5	123,8	-6,6%
Rio Grande do Norte	112	108,1	103,5	-7,6%
Sergipe	111,9	112,3	132,9	18,7%
<b>Nordeste</b>	<b>113,6</b>	<b>115,4</b>	<b>120,6</b>	<b>6,1%</b>
Espírito Santo	156,5	160,6	173,2	10,7%
Minas Gerais	154,1	155,2	159	3,2%
Rio de Janeiro	249,7	254,9	207	-17,1%
São Paulo	167,8	169,3	174,4	4,0%
<b>Sudeste</b>	<b>180,3</b>	<b>182,6</b>	<b>177,4</b>	<b>-1,6%</b>
Paraná	139,7	137,9	141,1	1,0%
Rio Grande do Sul	147,7	149,9	148,2	0,4%
Santa Catarina	151	154	152,3	0,9%
<b>Sul</b>	<b>145,2</b>	<b>146,1</b>	<b>146,4</b>	<b>0,8%</b>
Distrito Federal	132,4	135,2	145,9	10,2%
Goiás	142	139,2	135	-4,9%
Mato Grosso	160,4	161,2	168,7	5,1%
Mato Grosso do Sul	157,7	152,5	158,2	0,3%
<b>Centro - Oeste</b>	<b>146,1</b>	<b>144,9</b>	<b>147,8</b>	<b>1,2%</b>
<b>Brasil</b>	<b>153,6</b>	<b>154,9</b>	<b>153,9</b>	<b>0,2%</b>

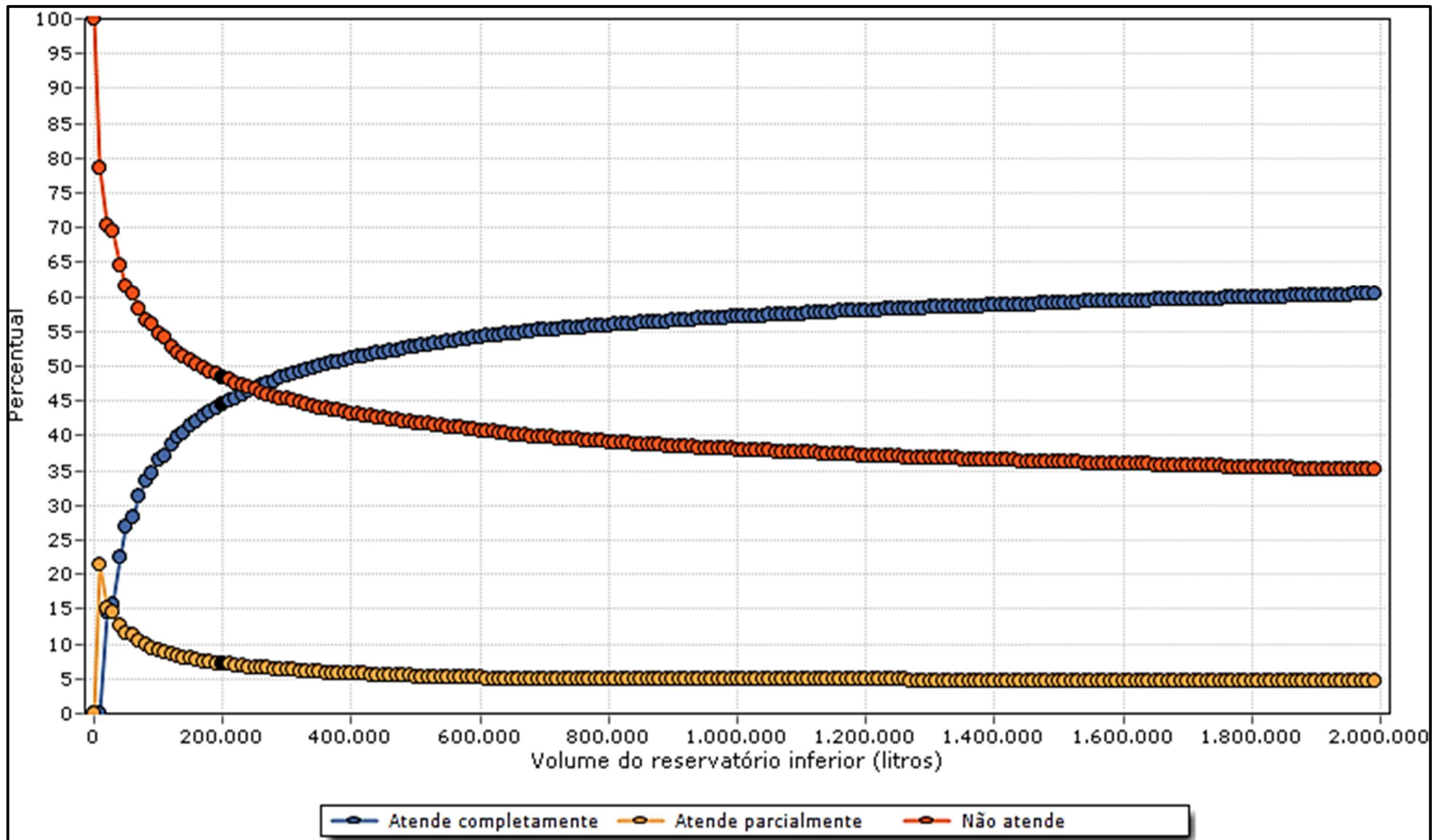
**FONTE:** SNIS

**ANEXO B:** Gráfico da simulação pelo Netuno, (curva do Potencial de economia de água potável X Volume do reservatório em litros)



**FONTE:** Elaboração própria

ANEXO C: Gráfico do Atendimento de água pluvial X Volume do reservatório



FONTE: Elaboração própria

**ANEXO D:** Planilha de dados (*Potencial de economia de água potável (%); Volumes consumidos e extravasado (L/dia); Demanda de água pluvial que é atendida completamente, parcialmente ou não atendida; e Diferença entre potenciais de atendimento pluvial (%/m<sup>3</sup>)*)

Volume (L)	Potencial de economia de água potável (%)	Volume consumido de água pluvial (L/Dia)	Volume consumido de água potável (L/Dia)	Volume extravasado (L/Dia)	Demanda de água pluvial atendida completamente (%)	Demanda de água pluvial a tendida parcialmente (%)	Demanda de água pluvial não é atendida (%)	Diferença entre potenciais de atendimento pluvial (%/m <sup>3</sup> )
0	0	0	35400	10068	0	0	100,0	0
10000	5,7	2025	33374	8042	0,00	21,53	78,5	1,27
20000	9,4	3337	32062	7100	14,66	15,10	70,2	0,82
30000	11,6	4116	31283	7046	15,78	14,68	69,5	0,49
40000	13,2	4694	30705	6957	22,65	12,77	64,6	0,36
50000	14,6	5163	30236	6831	26,97	11,59	61,5	0,29
60000	15,6	5544	29855	6717	38,27	11,20	61,5	0,24
70000	16,5	5857	29542	6598	31,32	10,31	58,4	0,20
80000	17,3	6123	29276	6438	33,62	9,76	56,6	0,17
90000	17,9	6346	29053	6321	34,68	9,40	55,9	0,14
100000	18,5	6547	28853	6237	36,43	9,01	54,6	0,13
110000	19,0	6725	28674	6080	37,14	8,83	54,0	0,11
120000	19,4	6886	28513	5966	38,70	8,53	52,8	0,10
130000	19,8	7025	28374	5848	39,73	8,28	52,0	0,09
140000	20,2	7148	28251	5741	40,44	8,08	51,5	0,08
150000	20,5	7259	28140	5643	41,37	7,84	50,8	0,07
160000	20,8	7362	28037	5521	42,14	7,62	50,2	0,06
170000	21,0	7454	27945	5421	42,78	7,46	49,8	0,06
180000	21,3	7541	27858	5294	43,41	7,36	9,2	0,05
190000	21,5	7622	27777	5214	43,89	7,26	48,9	0,05
200000	21,7	7697	27702	5154	44,47	7,10	48,4	0,05
210000	21,9	7768	27631	5033	44,99	7,02	48,0	0,05
220000	22,1	7835	27564	4939	45,45	6,95	47,6	0,04
230000	22,3	7897	27502	4791	45,87	6,83	47,3	0,04

**FONTE:** Elaboração própria