

**UFPA**

**PPGEC**

**Universidade Federal  
do Pará**

---



Raisa Nicole Campos Cardoso

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE  
CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS  
NÃO POTÁVEIS EM DOIS PRÉDIOS DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor Claudio José Cavalcante  
Blanco, Ph.D.

Belém – Pará – Brasil  
2018

**RAISA NICOLE CAMPOS CARDOSO**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA PARA  
FINS NÃO POTÁVEIS EM DOIS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, na área de concentração em Engenharia Hídrica, linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.  
Orientador: Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.

**BELÉM/ PA  
2018**

**RAISA NICOLE CAMPOS CARDOSO**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA PARA  
FINS NÃO POTÁVEIS EM DOIS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, na área de concentração em Engenharia Hídrica, linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Orientador: Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.

DATA DE APROVAÇÃO: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/2018

BANCA EXAMINADORA:

\_\_\_\_\_ – Orientador

Professor Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.  
Doutor em Sciences de l'eau  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_ – Membro externo

Professor Eneir Ghisi Ph.D.  
Doutor em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Catarina

\_\_\_\_\_ – Membro interno

Professor Dr. Lindemberg Lima Fernandes  
Doutor em Ciências Ambientais  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_ – Membro interno

Professor Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa  
Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia  
Universidade Federal do Pará

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

Cardoso, Raisa Nicole Campos, 1990-

Viabilidade econômica de sistemas de captação de água da chuva para fins não potáveis em dois prédios da Universidade Federal do Pará /Raisa Nicole Campos Cardoso. - 2018.

Orientador: Claudio José Cavalcante Blanco

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2018

1. Águas pluviais - Belém (PA) - Aspectos econômicos  
2. Água - Captação 3. Desenvolvimento sustentável 4.  
Edifícios públicos - Abastecimento de água I. Título

CDD 22.ed.333.910098115

---

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter conseguido chegar até aqui após uma longa caminhada, a qual só ele sabe a trajetória. Aos meus pais, Sheyla Campos Almeida e Raimundo Nazareno Pereira Cardoso, que me deram a vida e me ensinaram a viver com dignidade, e não mediram esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos de uma forma mais tranquila e prazerosa até a chegada deste mestrado. Sou imensamente grata a Deus por ter tido o privilégio de conviver com eles nesta vida.

Sou eternamente grata a minha família que esteve ao meu lado contribuindo de todas as formas para o meu melhoramento pessoal, em especial, aos meus avós Maria José Campos Almeida e Domingos Rufino (*in memoriam*); as *minhas* tias Keyla Campos e Karyta Campos e meus irmãos Mikail Nicolas Campos Cardoso e João Pedro Campos Cardoso; que sempre procuraram iluminar meu caminho com muito afeto e dedicação.

Agradeço, ainda, ao meu orientador, Prof. Claudio José Cavalcante Blanco Ph.D., o qual sempre admirei pelo profissionalismo e orientação científica crítica e criteriosa. Sou imensamente grata pela oportunidade concedida e todos os conhecimentos repassados durante o desenvolvimento deste trabalho. Aos meus amigos do mestrado, que tiveram um papel muito importante com estudos e troca de conhecimentos diários, os quais foram essenciais ao longo deste processo, em especial ao Rodrigo Rodrigues e Igor Campos, por todo apoio e amizade ao longo desta caminhada.

Aos professores que contribuíram de forma significativa com a minha formação acadêmica e profissional, em especial ao Prof. Dr. Manoel Sena e Prof. Dr. Maurício Borges, pela oportunidade de ter participado de projetos de iniciação científica, que foram muito importantes para o meu desenvolvimento profissional. Agradeço imensamente pelos conhecimentos repassados.

*“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito”.*

*Chico Xavier*

## RESUMO

Com o aumento da demanda global, é importante que as entidades busquem alternativas de suprimento de água visando o uso sustentável, de forma a minimizar o consumo de água potável para usos que não precisam ser potáveis em prédios públicos, e, assim, cumprir com os critérios de sustentabilidade ambiental exigidos pela Instrução Normativa nº 01/2010 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – MPOG. Portanto, o objetivo principal deste trabalho é estudar a viabilidade econômica ao incorporar um sistema de captação de água da chuva em dois prédios de ensino superior da Universidade Federal do Pará – UFPA, um abastecido pela Estação de Tratamento de Água (ETA) da universidade e outro pela concessionária local. O dimensionamento do reservatório foi realizado através do método computacional Netuno 4.0. Este método é baseado em modelos comportamentais, e os dados de entrada necessários para utilização do algoritmo são: uma série histórica de precipitação diária, o volume de descarte inicial de primeiras chuvas; área de captação; o número de habitantes do prédio; a demanda diária de água per capita; o percentual de água potável a ser substituído por água pluvial; o coeficiente de escoamento superficial e; demais informações necessárias para o dimensionamento do volume dos reservatórios superior e inferior. A simulação determina uma relação entre potencial de economia de água potável e volume do reservatório, de acordo com o intervalo de volume inserido nos dados de entrada da simulação, o percentual de atendimento da demanda, o consumo de água pluvial e o volume extravasado. Além de realizar o dimensionamento, o Algoritmo do Netuno possibilita uma análise econômica considerando os indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback descontado. O Netuno possibilita uma modelagem detalhada, com a indicação de um volume ideal de reservatório inferior em função da demanda e do potencial de aproveitamento. Para determinação da demanda, foram obtidas informações sobre os hábitos de consumo dos ocupantes dos prédios do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA) e da Escola de Música da UFPA (EMUFPA), tipo de aparelhos sanitários, dentre outras informações. O resultado para o LAESA indicou que 76% do consumo de água são destinados para fins não potáveis, como lavagem do prédio, descarga sanitária e mictórios, sendo 73% destinados apenas aos dispositivos sanitários. No EMUFPA, o consumo não potável representa 69%, sendo 52% destinados aos usos do vaso sanitário e mictórios. O software Netuno apresentou como volume ótimo do reservatório 10.000 L para o LAESA e 8.000 L para o EMUFPA, com potencial médio de economia de água potável no período chuvoso de 100% e 87,34%, respectivamente. Na EMUFPA, o sistema apresentou-se viável, com tempo de retorno do capital investido em 10 anos, com uma taxa interna de retorno de 1,08% ao mês. No LAESA, considerando o abastecimento da ETA, não houve retorno financeiro dentro do horizonte analisado. Na simulação hipotética considerando que o LAESA fosse abastecido pela COSANPA, o tempo de retorno do capital investido seria de 6 anos e 4. A taxa interna de retorno seria de 1,80% ao mês. A partir da análise qualitativa, conclui-se que utilizar a água da chuva em prédios públicos que não subsidiam água das concessionárias, há retorno financeiro, tendo em vista que a água fornecida para a categoria pública se apresenta onerosa. Isso demonstra a importância dos prédios públicos se

adequarem aos critérios de sustentabilidade de forma a economizar nos gastos públicos, uma vez que, o desperdício de água em edificações públicas apresenta-se muito elevado, devido, principalmente, aos usuários não pagarem diretamente pelo uso da água. Ademais, é importante que as entidades públicas e privadas incorporem dentro de sua gestão, o conceito de segurança hídrica, que estabelece a busca de garantias para a disponibilidade hídrica nos diversos usos e aproveitar a água da chuva é uma maneira sustentável de diminuir a pressão do uso da água proveniente dos mananciais e aquíferos.

Palavras-chave: Sistema de Captação de água da chuva, Viabilidade econômica, prédios públicos, Desenvolvimento Sustentável.

.

## ABSTRACT

With increasing global demand, it is important for government entities to seek water supply alternatives for sustainable use in order to minimize the consumption of potable water for uses that do not have to be potable in public buildings, and thus comply with environmental sustainability criteria required by Normative Instruction No. 01/2010 of the Ministry of Planning, Budget and Management (MPOG). Therefore, the main objective of this work is to study the economical feasibility of incorporating a system of rainwater harvesting in two higher education buildings of the Federal University of Pará (UFPA), one supplied by the Water Treatment Station (WTS) of the university and another by the local municipal water utility. For the sizing of the reservoir, the computational method Neptune 4.0 was used to obtain an ideal volume that meets the demand efficiently and is economically viable. This method is based on behavioral models, and the input data needed for the algorithm are: historical daily precipitation; the initial discharge volume of first rains; catchment area; the number of inhabitants in the building; the daily demand for water per capita; the percentage of drinking water to be replaced by rainwater; the coefficient of surface efflux; necessary information for the dimensioning of the volume of the upper and lower reservoirs. The simulation determines a relationship between drinking water saving potential and reservoir volume, according to the volume range inserted in the input data of the simulation, the percentage of service demand, rainwater consumption, and the extravasated volume. In addition to modeling the sizing, the Neptune Algorithm enables an economic analysis considering the indicators: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Discounted Payback. To determine the demand, information was obtained on the consumption habits of the occupants of the LAESA and EMUFPA buildings, types of sanitary appliances, among other information. The result for LAESA indicated that 76% of the water consumption is destined for non-potable purposes, such as washing of the building, sanitary discharge and urinals, with 73% destined only for sanitary devices. In the EMUFPA, non-potable consumption represents 69%, with 52% destined to toilet uses and urinals. The Neptune software presented an optimum tank volume of 10.000 L for LAESA and 8.000 L for EMUFPA, with a mean drinking water saving potential of 100% and 87,34%, respectively. At EMUFPA, the system was viable, with a 10-year return on invested capital, with an internal rate of return of 1.08% per month. In LAESA, considering the supply of ETA, there was no financial return within the horizon analyzed. In the hypothetical simulation, assuming that LAESA was supplied by COSANPA, the return on invested capital would be 6 years and 4. The internal rate of return would be 1.80% per month. From the qualitative analysis, it is concluded that using rainwater in public buildings that do not subsidize water from utilities, there is a financial return, since the water supplied to the public sector is expensive. This demonstrates the importance of public buildings to comply with sustainability criteria in order to save on public expenditures, since the wasting of water in public buildings is very high, mainly due to users not paying directly for the use of Water. In addition, it is important that public and private entities incorporate within their management the concept of water security, which establishes seeking for guarantees for water availability for various uses and to take advantage of rainwater as a sustainable way to reduce the pressure for water us away from water sources, such as aquifers.

Keywords: Rainwater harvesting system, Economic viability, public buildings, Sustainable development.

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Projetos de Leis federais acerca do aproveitamento da água da chuva tramitando na Câmara dos Deputados .....	17
Tabela 2 - Taxa de água cobrada em Belém/PA .....	22
Tabela 3 - Porcentagem de consumo de água não potável em prédios públicos .....	23
Tabela 4 – Divisões no laboratório LAESA.....	34
Tabela 5 - Estatística descritiva em (mm/mês) .....	63
Tabela 6 - Amostra entrevistada .....	65
Tabela 7 - Consumo per capita de água .....	66
Tabela 8 - Consumo total de água potável e não potável por aparelho no EMUFPA67	
Tabela 9 – Amostra entrevistada.....	68
Tabela 10 – Consumo per capita de água.....	68
Tabela 11 - Consumo total de água potável e não potável por aparelho no LAESA.	69
Tabela 12 - Aparelhos sanitários em função dos pesos relativos. ....	75
Tabela 13 – Vazão calculada para cada trecho das tubulações .....	76
Tabela 14 –Velocidade da água em função do diâmetro.....	77
Tabela 15 – Resumo dos resultados do dimensionamento do sistema de recalque.	77
Tabela 16 – Dados para o dimensionamento da calha.....	78
Tabela 17 – Aparelhos sanitários em função dos pesos relativos. ....	79
Tabela 18 - Vazão calculada para cada trecho das tubulações .....	80
Tabela 19 - Velocidade da água em função do diâmetro.....	80
Tabela 20 - Resumo dos resultados do dimensionamento do sistema de recalque..	81
Tabela 21 - Dados de entrada para o fluxo de caixa .....	82
Tabela 22 - Custos para a instalação do sistema .....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões Hidrográficas do Brasil .....	10
Figura 2 – Distribuição da precipitação no Brasil .....	12
Figura 3 – Quantidade de água que cada país disponibiliza por habitante ao ano ...	13
Figura 4 – Vazão consumida no Brasil para as diversas classes de consumo .....	14
Figura 5 - Precipitação anual da cidade de Belém (1985-2015) .....	20
Figura 6 – Consumo de água pela concessionária na cidade de Belém.....	21
Figura 7 - Localização da Escola de Música da UFPA (EMUFPA) .....	33
Figura 8 - Mapa de Localização do prédio LAESA .....	33
Figura 9 - Precipitação diária na cidade de Belém (1996-2015) .....	37
Figura 10 - Área de captação do laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental ..	41
Figura 11 - Área de captação do novo prédio do EMUFPA .....	42
Figura 12 – Rotina de cálculo do programa Netuno .....	43
Figura 14 - Média das precipitações mensais na cidade de Belém (1996-2015) .....	63
Figura 15 - Histograma de classe e distribuição de frequência dos dados pluviométricos .....	64
Figura 16 - Consumo médio de água potável e não potável no EMUFPA .....	67
Figura 17 - Consumo médio de água no LAESA .....	70
Figura 18 - Potencial de economia e água potável em função do volume do reservatório .....	71
Figura 19 - Percentual de atendimento de água em função do volume do reservatório .....	71
Figura 20 - Consumo de água em função do tamanho do reservatório .....	72
Figura 21 - Volume extravasado em função do volume do reservatório .....	72
Figura 22 - Potencial de economia de água potável em função do volume de reservatório .....	73
Figura 23 - Percentual de atendimento da demanda por água pluvial em função do reservatório do LAESA .....	73
Figura 24 - Consumo de água pluvial em função do volume de reservatório.....	74
Figura 25 - Volume extravasado em função do volume do reservatório .....	74
Figura 25 - IPCA mensal no período de janeiro 2015 a dezembro de 2017.....	82
Figura 26 – Comparação do valor da conta de água com e sem o uso da água pluvial .....	84

Figura 27 - Economia mensal com utilização da água da chuva .....	84
Figura 28 - Economia mensal na conta de água ao utilizar água pluvial .....	86
Figura 29 - Comparação do valor da conta de água com e sem o uso da água pluvial .....	88

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
1.1.	OBJETIVOS .....	9
1.1.1.	<i>Geral .....</i>	9
1.1.2.	<i>Específicos .....</i>	9
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1.	DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO MUNDO .....	10
2.2.	USO DA ÁGUA NO MUNDO .....	13
2.3.	APROVEITAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL NO MUNDO .....	15
2.4.	LEGISLAÇÃO ACERCA DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	17
2.5.	RECURSOS HÍDRICOS NA CIDADE DE BELÉM/PA.....	19
2.6.	CONSUMO E O USO RACIONAL DE ÁGUA EM PRÉDIOS PÚBLICOS .....	22
2.7.	VIABILIDADE ECONÔMICA EM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA CHUVA .....	26
2.8.	MODELOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS.....	28
<b>3</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>36</b>
4.1	1ª ETAPA - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO .....	36
4.1.1	<i>Dados pluviométricos .....</i>	36
4.1.2	<i>Observação de consumo de água na EMUFPA e no LAESA .....</i>	37
4.1.3	<i>Área de captação LAESA e EMUFPA .....</i>	41
4.1.4	<i>Dimensionamento do reservatório via NETUNO 4.0 .....</i>	42
4.2	2ª ETAPA – PROJETO EXECUTIVO E ANÁLISE ECONÔMICA .....	48
4.2.1	<i>Projeto de dimensionamento das tubulações da rede predial de distribuição ...</i>	48
4.2.2	<i>Análise econômica via NETUNO 4.0.....</i>	57
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
5.1	1º ETAPA – DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO .....	63
5.1.1	<i>Análise dos dados de precipitação.....</i>	63
5.1.2	<i>Estimativa da Demanda de Água nas Edificações.....</i>	65
5.1.3	<i>Dimensionamento dos reservatórios do EMUFPA e LAESA .....</i>	70
5.2.	2ª ETAPA – PROJETO EXECUTIVO E ANÁLISE ECONÔMICA.....	75
5.2.1.	<i>Projeto da rede predial de distribuição de água pluvial .....</i>	75
5.2.2.	<i>Análise Econômica.....</i>	81

<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>89</b>
6.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	90
6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	91
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a crise hídrica no Brasil, especialmente nas regiões Sudeste e Nordeste, muitos estudos estão sendo apresentados com o objetivo de buscar alternativas que diminuam a pressão do uso da água dos mananciais. No ano de 2014 - 2015, o estado de São Paulo e parte do estado do Rio de Janeiro sofreram seriamente com escassez de água incitada pela estiagem na região devido, principalmente, aos efeitos climáticos. Em São Paulo, o abastecimento sofreu redução de aproximadamente 56% devido à falta de água do sistema Cantareira durante o período de crise hídrica (SABESP, 2015).

Ainda, segundo a SABESP (2015), o enfrentamento de uma crise hídrica, dependendo da abrangência e da profundidade, exige planejamento não apenas da companhia de água e saneamento, mas também de diversas instituições públicas e privadas. É preciso que haja ação coordenada para mitigar os efeitos da seca. Diante disso, o uso de fontes alternativas de suprimento é citado como uma das soluções para o problema de escassez, o que torna o aproveitamento de água da chuva uma alternativa em potencial para suprir a demanda de água para fins não potáveis, como, por exemplo, em edificações públicas, em que o maior consumo é destinado para uso em banheiros sanitários e limpeza do prédio.

A alternativa de aproveitar a água da chuva apresenta muitos benefícios, podendo reduzir a demanda por água superficial em uma cidade e aliviar o estresse de água na região, além de minimizar o volume de escoamento superficial, conforme visto nos estudos de Villarreal e Dixon, (2005); Eroksuz e Rahman (2010); Ghimire e Jhonston (2013) e Campisano *et al.*, (2014).

Dentre os assuntos mais estudados em relação ao aproveitamento de água da chuva no mundo, destacam-se assuntos relacionados à análise financeira (FARRENY *et al.*, 2011a; PINZÓN *et al.*, 2012), a aspectos sociais (DOMÈNECH; SAURI, 2011); à análise ambiental (ANGRILL *et al.*, 2011; WALSH *et al.*, 2014) e, em menor proporção, a estudos sobre a qualidade da água da chuva para consumo humano (LEE *et al.* 2012; SANCHÉZ *et al.* 2015).

Para determinar o melhor aproveitamento de água da chuva, e, conseqüentemente, o maior potencial de economia, é necessário avaliar inúmeras variáveis, dentre elas a importância de escolher um tipo de telhado que permita um maior aproveitamento de água, como os inclinados, que apresentam aproveitamento 50% maior que os planos (FARRENY *et al.*, 2011b). Outra variável importante que afeta o tempo de retorno do investimento é o volume precipitado em determinada região, assim como a tarifa de água, a taxa de desconto e a taxa de inflação (KHASTAGIR e JAYASURIYA, 2011).

O custo do reservatório representa uma considerável parte dos gastos envolvidos, de 60 a 80%, pois, caso superdimensionado, o reservatório implicará na alocação de grandes espaços no terreno, altos custos de investimento e manutenção. Por outro lado, quando subdimensionado, não atenderá adequadamente a demanda, resultando em pouca economia de água potável e tornando o sistema inviável economicamente (YRUSKA *et al.*, 2010). Trabalhos como o de Zhang *et al.*, (2009); Ward *et al.*, (2010) e Ghisi e Schondermark (2013), e também demonstram casos sobre a viabilidade econômica do sistema. Porém, a viabilidade é intimamente dependente do dimensionamento do reservatório.

Diante disso, há estudos que desenvolveram modelos matemáticos para determinação do volume ideal de reservatórios de águas pluviais, baseando-se em balanço hídrico diário para atender a demanda de água não potável nas edificações, conforme visto nos estudos de Campisano e Modica (2012) na Itália; Imteaz *et al.*, (2012) na Nigéria e no Brasil por Ghisi e Cordova (2014) e Ilha e Campos (2014). Outros métodos para o dimensionamento de reservatórios de águas pluviais são citados na NBR 15.527 (ABNT, 2007) que são, em sua maior parte, baseados em análise de balanço hídrico mensal ou anual no reservatório, exceto o método de análise de simulação, que avalia em base diária.

Rupp *et al.*, (2011) avaliaram os diferentes tipos de métodos de dimensionamento previsto pela NBR 15.527 (2007), comparando-os com o método do programa computacional Netuno. Os métodos da NBR 15.527/2007 apresentaram reservatórios superdimensionados e subdimensionados. Já o método de simulação proposto pelo Netuno, relaciona o potencial de economia de água potável em função

do volume do reservatório, assim como a demanda não potável e o regime de precipitação, possibilitando obter um volume de reservatório mais otimizado.

Rocha (2009) realizou um levantamento de diversos métodos, disponíveis na literatura, para o dimensionamento de água da chuva; e constatou que o método mais apropriado é o de simulação computacional, desenvolvidos a partir de um algoritmo. Este método leva em consideração um volume inicial pré-estabelecido e analisa a variação do volume disponível no reservatório a partir de um balanço de massa. Outros trabalhos realizados em diversas localidades, como no Brasil (GHISI *et al.*, 2007), Reino Unido (WARD *et al.*, 2010) e Austrália (KHASTAGIR; JAYASURIYA, 2010) demonstram que a melhor prática a ser considerada para o dimensionamento de reservatórios de água chuva é a utilização de modelos de simulação computacional.

Conforme constatado nos trabalhos supracitados, os métodos empíricos disponíveis na NBR 15.527/2007 não conduzem a um correto dimensionamento. Portanto, nesta pesquisa, o dimensionamento do reservatório foi realizado através do software Netuno, que se trata de um modelo computacional desenvolvido para estimar o potencial de economia de água potável e o volume do reservatório, em sistemas de aproveitamento de água da chuva em edificações. Este software é baseado em modelos comportamentais. Além da simulação do balanço hídrico, o Netuno também permite a realização de análises econômicas, utilizando os principais indicadores de análise de investimento: valor presente líquido, taxa interna de retorno e *Payback* descontado (GHISI; CORDOVA, 2014).

Considerando que o consumo em edificações públicas é destinado em sua maioria para usos não potáveis, o presente estudo tem como principal objetivo analisar a viabilidade econômica ao incorporar um sistema de captação de água pluvial em dois prédios de ensino superior da Universidade Federal do Pará. Para esta análise, foi avaliada a substituição ou complementação do suprimento de água atual pelo suprimento via sistema de captação de água da chuva, somente para fins não potáveis.

A motivação da pesquisa consiste em analisar a implantação de um sistema de captação de água da chuva, a fim de suprir a demanda para fins não potáveis em

prédios públicos, de modo a cumprir com os critérios de sustentabilidade ambiental exigidos pela Instrução Normativa nº 01/2010 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – MPOG (BRASIL, 2010), que visa implementar a captação, o transporte, o armazenamento e o aproveitamento de água da chuva nas obras da Administração Pública Federal.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Geral

Analisar a viabilidade econômica e o dimensionamento de um sistema de captação de água da chuva para atendimento de fins não potáveis em dois prédios da Universidade Federal do Pará.

### 1.1.2. Específicos

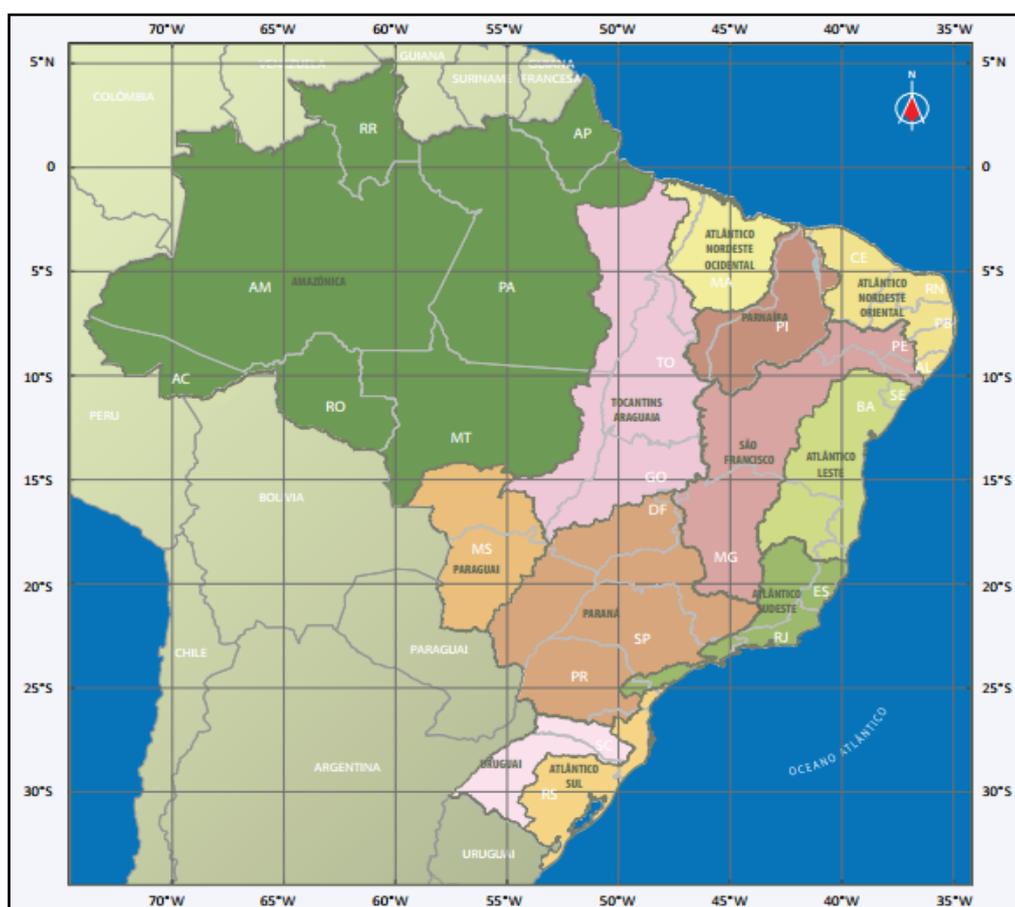
- Analisar estatisticamente a série histórica de precipitação para cidade de Belém;
- Estimar o consumo de água potável e não potável nos prédios do LAESA e do EMUFPA;
- Dimensionar o reservatório via código computacional *Netuno 4.0*;
- Dimensionar as calhas e as tubulações para o abastecimento de água da chuva nos prédios, de acordo com a NBR 5626/1998 e NBR 10844/89;
- Elaborar um projeto de instalações prediais de água pluvial em cada um dos prédios utilizando o Software AutoCAD 2012;
- Determinar os custos de instalação, operação e manutenção do sistema; e gerar um fluxo de caixa considerando o tempo de vida útil de 20 anos;
- Elaborar uma análise econômica utilizando as principais ferramentas de tomada de decisão para análise de investimento: valor presente líquido, taxa interna de retorno e *payback* descontado por meio do programa *Netuno 4.0*.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL E NO MUNDO

De toda a água do planeta 97,5% é salgada, estando basicamente nos mares e oceanos, e apenas 2,5% do total representa água doce, em sua maior parte nas calotas polares, com apenas 0,3% disponíveis e de fácil acesso em lagos, rios e lençóis subterrâneos pouco profundos; além de estar mal distribuída em todo o globo (TUCCI, 2012).

O Brasil é composto por 12 (doze) regiões hidrográficas (Figura 1). Possui 13% do escoamento total dos rios do planeta, que corresponde a 1,5 milhões de m<sup>3</sup>/s (KELMAN, 1999; GEO BRASIL, 2007), comum a área de aproximadamente 8.514.876 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), e 208 milhões de habitantes, sendo hoje o quinto país do mundo, tanto em extensão territorial como em população (NAÇÕES UNIDAS, 2015).



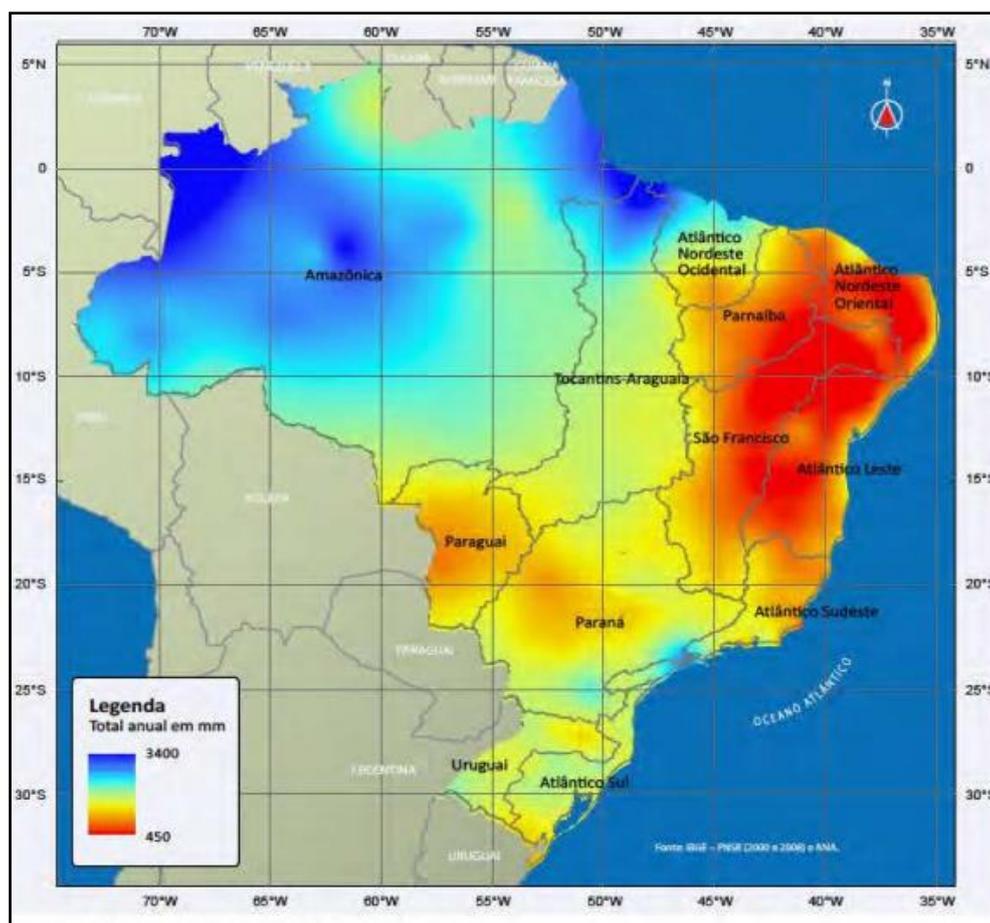
**Figura 1 – Regiões Hidrográficas do Brasil**  
Fonte: ANA (2014).

De maneira geral, o Brasil é um país privilegiado quanto ao volume de recursos hídricos. Se consideradas as vazões oriundas de território estrangeiro e que ingressam no país (Amazônia, 86.321 mil m<sup>3</sup>/s; Uruguai, 878 m<sup>3</sup>/s e Paraguai, 595 m<sup>3</sup>/s), a vazão média total atinge valores da ordem de 267 mil m<sup>3</sup>/s (18% da disponibilidade mundial) (GEO BRASIL, 2007). A disponibilidade hídrica superficial no país é 91.300 m<sup>3</sup>/s, com vazão média equivalente a 180.000 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2014).

A distribuição dos recursos hídricos superficiais é bastante heterogênea no território brasileiro: enquanto nas bacias junto ao Oceano Atlântico, que concentram 45,5% da população total, estão disponíveis apenas 2,7% dos recursos hídricos do país, já na região Norte, onde residem cerca de 5% da população brasileira, estes recursos são abundantes, representando cerca de 81%. A disponibilidade hídrica subterrânea (reserva explorável) no país corresponde a 11.430 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2014).

Segundo estudo de Ghisi (2006), que avaliou a projeção da disponibilidade hídrica per capita ao ano para todas as regiões do Brasil de 2000 a 2100, as regiões Nordeste e Sudeste, podem chegar a situações alarmantes, caso nenhuma atitude seja tomada no sentido de preservar a água para fins mais nobres. Evidências da falta de água já podem ser observadas há tempos no Nordeste e atualmente no Sudeste, devido, principalmente, a intempéries climáticas e falta de planejamento.

Na Figura 2, são apresentados os dados de precipitação média anual (1961 a 2007) provenientes da rede hidrometeorológica nacional, compilados e produzidos pela ANA (2012). A precipitação média anual brasileira é de 1.761mm, variando entre a faixa de 500 mm, característica do semiárido nordestino, e a faixa superior a 2.000mm, como constatado no domínio amazônico. Conforme demonstrado no mapa, os menores valores de precipitação no país ocorrem nas regiões hidrográficas do São Francisco (1.003 mm), Atlântico Leste (1.018 mm), Atlântico Nordeste Oriental (1.052 mm) e Parnaíba (1.064 mm). As maiores precipitações são observadas nas regiões Amazônicas (2.205 mm), Tocantins/Araguaia (1.774 mm), Atlântico Nordeste Ocidental (1.700 mm) e Atlântico Sul (1.644 mm).

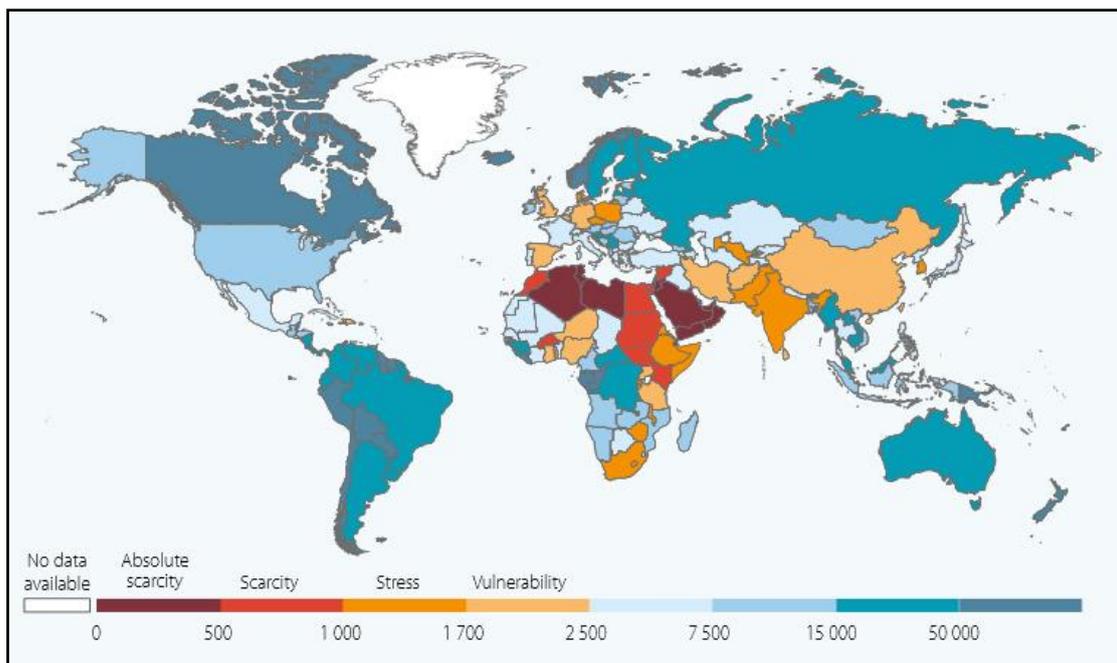


**Figura 2 – Distribuição da precipitação no Brasil**

Fonte: ANA (2012).

Tomando-se por base os valores de referência praticados pelas Nações Unidas, verifica-se que os estados brasileiros apresentam disponibilidade de recursos hídricos nos níveis Regular, Suficiente, Rico e Muito Rico. Todos os estados da região Norte são muito ricos, e, ao contrário, a maioria dos estados do Nordeste situa-se na classe Regular (CONEJO *et al.*, 2009).

Na Figura 3 é apresentada a quantidade de água que cada país disponibiliza por habitante ao ano, divulgado no Relatório Mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos Recursos Hídricos – WWDR (2015). Como observado, os países Europeus como Alemanha, Inglaterra e, principalmente, Polônia, sofrem de escassez de água. Ásia, China e Índia estão, também, em situação crítica, mas no Norte da África e Oriente Médio a situação é ainda mais grave.



**Figura 3 – Quantidade de água que cada país disponibiliza por habitante ao ano**

Fonte: WWDR (2015)

Em termos de distribuição per capita, a vazão média de água no Brasil é de aproximadamente 33 mil metros cúbicos por habitante por ano ( $m^3/hab/ano$ ); este volume é dezenove vezes superior ao piso estabelecido pela ONU, de 1.700  $m^3/hab/ano$ , abaixo disso um país é considerado em situação de estresse hídrico (GEO BRASIL, 2007).

Conforme encontrado no Relatório Anual de Desenvolvimento (PNUD, 2006), aproximadamente 700 milhões de pessoas de 43 países vivem abaixo do limite mínimo que define a situação de escassez. Dispondo de uma reserva anual média de, aproximadamente, 1.200  $m^3$  por pessoa, o Oriente Médio é a região do mundo mais atingida pela pressão da falta de água. Somente o Irã, o Iraque, o Líbano e a Turquia encontram-se acima do limite mínimo.

## 2.2. USO DA ÁGUA NO MUNDO

Segundo informações da ANA (2012), a maior demanda por tipo de uso consuntivo de recursos hídricos, em 2010, de vazão efetivamente consumida, foi para fins de irrigação, correspondentes a 54%, seguido do uso para abastecimento urbano (22%) e uso industrial (17%), conforme apresentado na Figura 4.



**Figura 4 – Vazão consumida no Brasil para as diversas classes de consumo**

Fonte: Adaptado de ANA (2012)

De acordo com dados do Relatório WWDR (2015), os principais usos da água no mundo são destinados para agricultura, seguido da indústria e por fim para uso doméstico e comercial. Há estimativas do aumento da demanda hídrica mundial em 55%, principalmente devido à crescente demanda do setor industrial, dos sistemas de geração de energia elétrica e dos usuários domésticos. Entre 2000 e 2050, é estimado um aumento de 400% da demanda global de água pela indústria manufatureira, o que afetará todos os outros setores, com a maior parte deste aumento ocorrendo em economias emergentes e em países em desenvolvimento.

Em relação ao consumo per capita de água no Brasil, o Sistema Nacional de Informação de Saneamento – SNIS (2013) fez um levantamento dos últimos três anos, e observou que Rio de Janeiro, Maranhão, Amapá, Espírito Santo, Distrito Federal, São Paulo e Rondônia são os únicos estados que apresentaram, em 2013, consumo maior que a média do país, que é de 166,3 l/hab.dia. Os estados da Bahia, Pernambuco e Alagoas apresentaram os menores valores de consumo médio do País. Alagoas apresentou um valor de 114 l/hab.ano. Vale ressaltar que o valor mínimo estipulado pela ONU é de 110 l/hab.ano.

De acordo com dados do relatório WWDR (2015), a demanda hídrica global é fortemente influenciada pelo crescimento da população, pela urbanização, pelas políticas de segurança alimentar e energética e pelos processos macroeconômicos,

tais como a globalização do comércio, as mudanças na dieta e o aumento do consumo. Mantendo os atuais padrões de consumo, em 2030, o mundo enfrentará um déficit no abastecimento de água de 40%.

Vale ressaltar que a disponibilidade de água em qualquer local é variável no tempo e no espaço, em razão das condições climáticas e antrópicas de cada região, seja pela demanda excessiva, ou por problemas de poluição. Desta forma, a produção de água com qualidade, dentro dos padrões de potabilidade, torna-se cada vez mais onerosa, o que exige maior atenção quanto às prioridades do uso dos recursos hídricos.

### 2.3. APROVEITAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL NO MUNDO

Fatos históricos apontam que a água da chuva vem sendo utilizada pelas civilizações há milhares de anos. Segundo Tomaz (2003), existem reservatórios escavados desde 3.600 a.C. e a Pedra Moabita, uma das inscrições mais antigas do mundo, encontrada no Oriente Médio e datada de 850 a.C., onde o rei Meshá dos Moabitas, sugere que as casas tenham captação de água de chuva.

No Brasil, a região Nordeste apresenta muitas experiências de aproveitamento da água da chuva (projetos consolidados como P1MC). Este projeto faz parte do Programa Um Milhão de Cisternas, uma das ações de mobilização social promovida pela Articulação do Semiárido–ASA, que objetiva possibilitar, ao nordestino, o acesso à água potável por meio da construção de cisternas de placas. Desde 2003, aproximadamente 420.000 cisternas já foram construídas (ASA, 2013).

No meio científico, também é possível encontrar um bom acervo de pesquisas acerca desta abordagem, como o estudo de Ghisi *et al.*, (2006<sup>a</sup>), que avaliaram o cenário de disponibilidade de água pluvial no Brasil. O estudo mostrou que a disponibilidade hídrica no Brasil variou de 5000 m<sup>3</sup> a 33.000 m<sup>3</sup>/hab/ano, com potencial de economia de água potável utilizando a água da chuva variando de 45 a 100%, dependendo da região geográfica.

Estudo similar foi feito por Ghisi *et al.*, (2006<sup>b</sup>) em Santa Catarina, onde encontraram um valor de 10.000m<sup>3</sup>/hab/ano de disponibilidade hídrica, mas que está previsto para ser inferior a 2000m<sup>3</sup>/hab/ano a partir de 2100 em diante. Quanto ao

potencial de economia de água potável, variou de 34% a 92%, dependendo da demanda de água potável verificada nos 62 municípios, com um potencial médio de economia de água de 69%.

Gois *et al.*, (2015) avaliaram em um shopping center em Londrina-PR, o potencial de aproveitamento de água pluvial e a viabilidade econômica do sistema em comparação com o reaproveitamento das águas cinzas. O resultado mostrou que o sistema de aproveitamento de água da chuva seria viável economicamente, apresentando um tempo de retorno curto, no entanto, a reutilização das águas cinzas apresentou-se inviável economicamente.

Para cidade de Belém/PA, encontraram-se alguns estudos, como de Veloso e Mendes (2014) e Leal *et al.*, (2014), que estudaram o panorama geral das experiências de aproveitamento da água da chuva nas regiões insulares da cidade de Belém, tais como as ilhas: Combú, Jutuba, Grande, Murutucu, Nova e Urubuoca. Nas Ilhas Combú, Grande e Murutucu, existem sistemas desde avançados, com reservatórios superior e inferior, reservatório de autolimpeza e filtros de água, assim como rudimentar operante e inoperante.

Na região metropolitana da cidade de Belém, encontrou-se o trabalho dos autores Flores *et al.*, (2012), que determinaram o potencial de aproveitamento da água da chuva para uso residencial. Concluíram que o abastecimento poderia ocorrer para pelo menos 18% da população.

Cardoso *et al.*, (2014) estudaram a viabilidade econômica para implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva no Aeroporto Internacional de Belém. De acordo com os resultados obtidos, por meio do Método Prático Australiano, seriam aproveitados, em média, 83 m<sup>3</sup> de água pluvial por ano, o que representa menos de 1% do volume de água consumida no Aeroporto (0,87%). Contudo, a área de captação considerada foi de apenas 360 m<sup>2</sup>, o que inviabilizou o aproveitamento de um maior volume de água pluvial.

Atualmente, a prática do aproveitamento da água da chuva é muito difundida em países desenvolvidos, a fim de atenuar os problemas de disponibilidade de água potável, inclusive, instituídas por leis. Na China (ZHANG *et al.*, 2014), EUA (THOMAS

*et al.*, 2014), Austrália (HAJANI; RAHMAN, 2014), Ásia (LEE *et al.*, 2016), Portugal (SILVA *et al.*, 2015) são exemplos de nações que utilizam a água pluvial em diversas aplicações: desde os fins menos nobres, em serviços de lavagens e rega de jardins, até fins mais nobres, como para beber.

Na Alemanha, a utilização da água da chuva começou na década de 80, como medida de conservação da água subterrânea, uma vez que em muitas cidades do país a principal alternativa de suprimento é o uso da água oriunda de lençóis freáticos confinados (FENDRICH; OLIYNIK, 2002).

O Japão é um dos países que mais empregam sistemas de aproveitamento de água pluvial e promove estudos e pesquisas nesta área. ZAIZEN *et al.*, (1999) relatam a experiência do aproveitamento de água da chuva nos estádios de Tokyo, Fukuoka e Nagoya, que possuem áreas de captação que variam de 16.000 a 35.000 m<sup>2</sup> e reservatórios para armazenamento da água captada com capacidade entre 1.000 e 1.800 m<sup>3</sup>. Mais recentemente, Kim e Furumai (2012), estudaram a viabilidade da implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva em diversos tipos de edificações para abastecimento unifamiliar; constatando, assim, sua aplicabilidade.

Nos Estados Unidos, pelo menos quinze Estados utilizam sistemas de aproveitamento de água pluvial. Alasca, Hawaí, Washington, Carolina do Norte, Pensilvânia e Texas somados, reúnem aproximadamente meio milhão de pessoas beneficiadas por algum tipo de sistema de aproveitamento de água da chuva para o suprimento de suas atividades diárias (KRISHNA, 2005; BASINGER *et al.*, 2010).

#### 2.4. LEGISLAÇÃO ACERCA DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

No Brasil, muitas iniciativas e projetos de lei vinham sendo tramitados junto ao Senado Federal desde a última década, conforme apresentado na Tabela 1. Entre estes, destaca-se a Lei Nº 13.501/2017, que altera o art. 2º da Lei nº 9.433/1997 para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos.

**Tabela 1 – Projetos de Leis federais acerca do aproveitamento da água da chuva tramitando na Câmara dos Deputados**

<b>Lei ou Projeto de Lei (PL)</b>	<b>Ementa</b>	<b>Situação de tramitação</b>
-----------------------------------	---------------	-------------------------------

<b>Lei nº 13.501/2017</b>	Altera o art. 2º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos.	Lei em vigor desde 2017
<b>PL 324/2015</b>	Institui obrigatoriedade para as novas construções, residenciais, comerciais, e industriais, público ou privado, a inclusão no projeto técnico da obra, item referente à captação de água da chuva e seu reuso não potável e dá outras providências.	Com relatoria desde setembro de 2015.
<b>PL191/2013</b>	Dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação de sistemas de aproveitamento de água da chuva na construção de prédios públicos bem como sobre a utilização de telhados ambientalmente corretos.	Aguardando designação de relator
<b>PL 1409/2012</b>	Institui o Programa Nacional de conservação, uso racional e reaproveitamento das águas.	Aguardando parecer na C. de Minas e Energia
<b>PL 2457/2011</b>	Altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 da Cidade e a Lei nº 4.380, de 21 de agosto de 1964, que dispõem, sobre o Sistema Financeiro da Habitação, para instituir mecanismos de estímulo à instalação de sistemas de coleta, armazenamento e utilização de águas pluviais em edificações públicas e privadas.	Aguardando designação de relator
<b>PL 1310/2011</b>	Dispõe sobre a Política Nacional de Gestão e Manejo Integrado de Águas Urbanas e dá outras providências	Apensada ao PL 4946/2001
<b>PL 682/2011</b>	Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos em lotes, edificados ou não, nas condições que menciona, e dá outras providências.	Apensada ao PL 2750/2003
<b>PL 242/2011</b>	Dispõe sobre a utilização de energia solar e reaproveitamento da água da chuva na construção de habitações populares.	Apensada ao PL 6250/2009

<b>PL 2565/2007</b>	Dispõe sobre a instalação de dispositivos para captação de águas de chuvas em imóveis residenciais e comerciais.	Apensada ao PL 2750/2003
<b>PL 1069/2007</b>	Dispõe sobre a contenção de águas de chuvas nas áreas urbanas.	Apensada ao PL 2750/2003
<b>PL 6250/2009</b>	Dispõe sobre a utilização de energia solar e reaproveitamento da água da chuva na construção de habitações populares.	Apensada ao PL 5733/2009
<b>PL 3322/2004</b>	Dispõe sobre a obrigatoriedade de reservatórios ou cisternas para o acúmulo de água da chuva no território brasileiro.	Apensada ao PL 2750/2003
<b>PL 2750/2003</b>	Estabelece o uso eficiente das águas e dá outras providências.	Apensada ao PL 1616/1999

Fonte: Adaptado de Veloso e Mendes (2013)

O poder executivo destaca-se com a iniciativa dada pela Instrução Normativa nº 1/2010 emitida pelo Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão – MPOG. Em seu Art. 4º, o normativo fornece uma série de especificações e exigências que visam à redução do consumo de energia e água, por meio de alternativas como aproveitamento da água da chuva, agregando ao sistema hidráulico elementos que possibilitem a captação, o transporte, o armazenamento e o aproveitamento em prédios públicos (BRASIL, 2010).

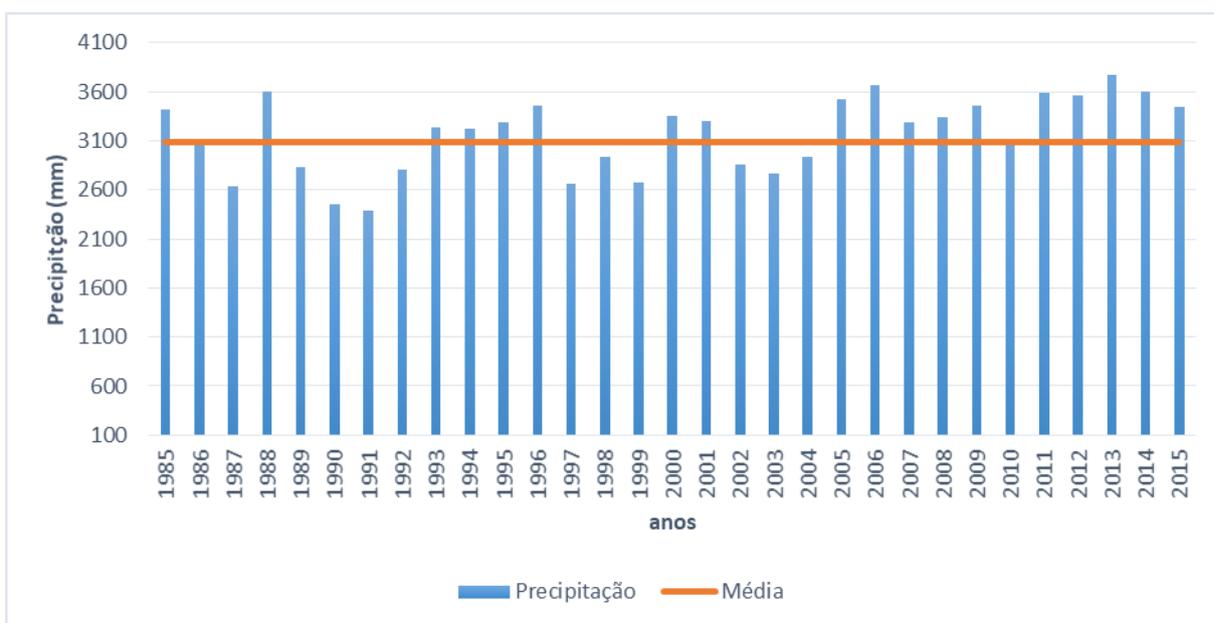
Muitos municípios já sancionaram projetos de lei e decretos para a captação e armazenamento de água da chuva ou amortecimento de cheias urbanas, sendo estes São Paulo, Vitória, Rio de Janeiro, Teresina, Salvador, Rio Branco, Recife, Porto Alegre, Manaus, João pessoa, Goiânia, Fortaleza, Florianópolis, Curitiba, Cuiabá e Belo Horizonte (PACHECO *et al.*, 2017). No início do ano de 2016, em Florianópolis, foi aprovado o projeto de Lei nº 1.231/2013 que obriga todas as novas edificações comerciais e residenciais com área acima de 200 m<sup>2</sup>, construídas no município, possuírem um sistema de captação de água da chuva para reuso.

## 2.5. RECURSOS HÍDRICOS NA CIDADE DE BELÉM/PA

A cidade de Belém possui um grande potencial hídrico, com cursos de água superficiais com mais de 50 km<sup>2</sup> de espelhos d'água (MENDES, 2005). Conforme

apresentado na Figura 5, o município de Belém apresenta um potencial pluviométrico médio em torno de 3169,2 mm/ano (INMET, 2015), que compreende ao período de (1985-2015). O menor total precipitado registrado foi em 1991, com 2385,8 mm, e o maior em 2013 com 3775,6 mm. Verifica-se no gráfico que, de 2005 a 2015, o volume precipitado apresentou-se acima ou igual a média.

A possibilidade de aproveitar água da chuva para complementar o abastecimento de água nas edificações depende diretamente do volume de precipitação local (GHISI, 2010). A região amazônica, em especial, possui um grande potencial de aproveitamento devido ao seu grande volume de precipitação pluviométrica.



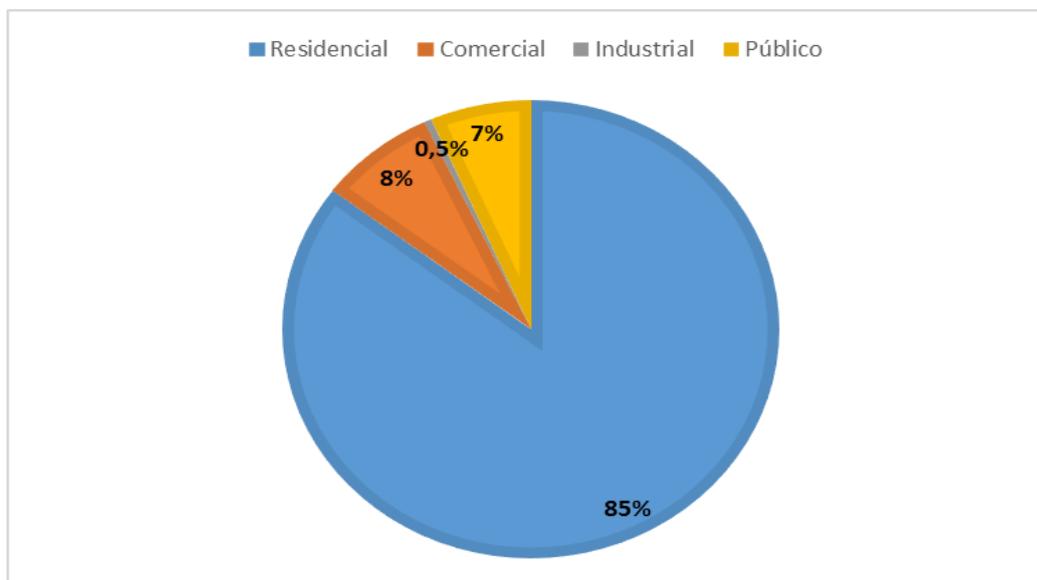
**Figura 5 - Precipitação anual da cidade de Belém (1985-2015)**

Fonte: INMET (2015)

Apesar do potencial hídrico, a região Norte apresenta sérios problemas. Dados mais recentes apresentados pelo SNIS - Sistema Nacional de Saneamento (SNIS, 2016) mostram que os piores serviços de atendimento de água e coleta de esgoto estão situados na região Norte. A cidade de Belém apresenta um índice de atendimento de água de 72% e 7,2% de coleta de esgoto.

Segundo levantamento do Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará (IDESP, 2012), o maior consumidor de água tratada via concessionária de abastecimento de água em Belém é a classe residencial (85%), seguido do comercial (8%) e o setor público (7%). A indústria (0,5%), é o menor

consumidor via concessionária (Figura 6). Ressalta-se que o consumo de água nas categorias industrial e público ocorrem, em muitos casos, por captação superficial ou subterrânea com autorização do Estado, por meio de Outorgas de Uso da Água.



**Figura 6 – Consumo de água pela concessionária na cidade de Belém**

Fonte: Adaptado do IDESP (2012)

Os valores cobrados pela concessionária COSANPA em 2017 são apresentados na Tabela 2. Verifica-se que a taxa de cobrança de água para os prédios públicos está entre R\$ 5,89 e 7,35/m<sup>3</sup>. A taxa de esgoto representa 60% da tarifa de água cobrada pela concessionária. Em junho de 2017, houve reajuste de 35% na tarifa (COSANPA, 2017).

Tabela 2 - Taxa de água cobrada em Belém/PA

CATEGORIA	FAIXA DE CONSUMO (M <sup>3</sup> )	VALOR DA ÁGUA (P/M <sup>3</sup> )	VALOR DO ESGOTO (P/ M <sup>3</sup> )
<b>RESIDENCIAL</b>	0-10	1,97	1,18
	11-20	2,82	1,69
	21-30	3,78	2,26
	31-40	4,25	2,54
	41-50	5,89	3,53
	> 50	7,66	4,59
<b>COMERCIAL</b>	0-10	5,89	3,53
	> 10	6,35	4,41
<b>INDUSTRIAL</b>	0-10	7,35	4,41
	> 10	9,42	5,65
<b>PÚBLICA</b>	0-10	5,89	3,53
	>10	7,35	4,41

Fonte: adaptado de COSANPA (2017)

## 2.6. CONSUMO E O USO RACIONAL DE ÁGUA EM PRÉDIOS PÚBLICOS

O consumo de água possui duas finalidades, como apresentado por Tomaz (2000), que classifica a água destinada para consumo humano em potável e não potável. A água dita como potável é indicada para beber, preparação de alimentos e higiene pessoal. A água não potável é utilizada para irrigação de jardins, lavagem de veículos/calçadas e descarga de vasos sanitários.

As categorias de consumo de água em instalações prediais podem ser classificadas como residencial, comercial, industrial e pública. Em edificações públicas ocorrem uma tendência de maior desperdício, pois os usuários não são responsáveis diretamente pelo pagamento da conta de abastecimento de água (TOMAZ, 2003).

Segundo o manual de conservação e reuso da ANA/FIESP (2005), nas edificações públicas, como escolas, universidades, hospitais, terminais de passageiros de aeroportos, entre outros, o uso da água é muito análogo ao das edificações comerciais, porém o uso dos ambientes sanitários é bem mais significativo, variando de 35% a 50% do consumo total. Kammers e Ghisi (2006) fizeram um estudo verificando o uso de água para fins não potáveis em edifícios públicos em Florianópolis (Tabela 3).

Tabela 3 - Porcentagem de consumo de água não potável em prédios públicos

<b>Edifícios</b>	<b>Vaso Sanitário (%)</b>	<b>Mictório (%)</b>	<b>Outros** (%)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>BADESC</b>	55,8	14,3	11,1	81,2
<b>CELESC</b>	31,9	32,8	6,6	71,3
<b>CREA</b>	23	47	3,9	73,9
<b>DETER</b>	66,6	-	1,8	68,4
<b>EPAGRI</b>	33,1	43,9	5	82
<b>Secretaria de agricultura</b>	27,9	16,4	7,9	52,2
<b>Secretaria da educação</b>	70	14,3	2,1	86,4
<b>Secretaria de seg. Pública</b>	78,8	-	2,5	81,3
<b>Tribunal de Contas</b>	36,4	45,9	2,6	84,9
<b>Tribunal de justiça</b>	53,2	29,9	5,8	88,9

Fonte: adaptado de Kammers e Guisi (2006)

\*Valor obtido através da média dos oito edifícios com mictórios

\*\*Limpeza, rega de jardins e lavagem de carros.

Os resultados encontrados por Kammers e Guisi (2006) indicam que a maior parte (em média 77%) da água utilizada nos edifícios não precisaria ser potável, e dessa maneira poderia ser substituída por água da chuva. Os autores mostram, também, que os principais usos finais nessas edificações são para vasos sanitários e mictórios.

Marinoski e Ghisi (2008) e Proença e Ghisi (2010) também apontam a viabilidade de utilização de água de chuva em bacias sanitárias e mictórios diante do elevado consumo nesses pontos. Vale salientar a importância de investimento em programas para o uso racional da água, bem como a implementação de alternativas de suprimento para fins não potáveis em prédios públicos, visando não só a redução de consumo, mas também a redução de fatores econômicos com a substituição da água potável pela água da chuva, para atividades de limpeza e instalações sanitárias.

Diversos programas nacionais foram instituídos pela esfera governamental com o intuito de otimizar o uso da água, como o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), coordenado pelo Governo Federal, que tem por finalidade promover o uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços dos sistemas (PNCDA, 2016).

De acordo com ANA/FIESP (2005), a implantação de Programas de Conservação de Água (PCA) em edificações públicas ou privadas deve subsidiar os gerentes na escolha das ações técnicas mais apropriadas e economicamente viáveis para otimizar o uso da água, resguardando a saúde dos usuários e o perfeito desempenho dos sistemas envolvidos. O Programa de Conservação de Água (PCA) possui como um dos grandes motivadores para sua implantação a economia gerada pela redução do consumo de água; o aumento da disponibilidade de água; a redução do efeito da cobrança pelo uso da água e a melhoria da visão da organização na sociedade.

No Estado de São Paulo existe o Programa de Uso Racional da Água (PURA), desenvolvido apenas no estado de São Paulo, criado em 1995 através de uma parceria entre a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Laboratório de Sistemas Prediais do Departamento de Construção Civil (LSP/PCC), Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), tendo como objetivos combater o desperdício de água, garantir o fornecimento de água e a qualidade de vida da população (PURA, 2016).

Salla *et al.*, (2013) e Fernandes *et al.*, (2013), objetivando diminuir o uso da água potável, determinaram o potencial de aproveitamento de água na Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e na Universidade Regional do Cariri - URCA, respectivamente, com o auxílio do software Netuno, tendo como principal objetivo a redução do consumo de água potável para usos que não precisam ser potáveis, como vaso sanitários e limpeza dos prédios. Os resultados indicaram que a implantação do sistema é viável do ponto de vista quantitativo, com potencial de economia de água potável de até 50%.

Estudo similar foi realizado na Universidade Federal do Pará por Silva *et al.*, (2013), com objetivo de avaliar o potencial de aproveitamento de água pluvial em 57 edifícios localizados no campus básico da UFPA, onde encontraram volumes mensais de acumulação variando de 3,33 m<sup>3</sup> a 1694.26 m<sup>3</sup>. Conceição (2014) também desenvolveu um projeto de sistema de aproveitamento de água de chuva para um prédio localizado no *Campus* Profissional da UFPA.

Yoshino *et al.*, (2014) avaliaram o potencial de aproveitamento de água e a viabilidade econômica para abastecer banheiros localizados no campus básico e profissional da UFPA. Os autores utilizaram o método Rippl para dimensionar o reservatório, encontrando um volume de 1417 m<sup>3</sup> para atender uma demanda mensal de 157 m<sup>3</sup>, com um nível de confiança de 75%. O sistema apresentou-se inviável economicamente, devido ao tempo de retorno do investimento ser maior que o ciclo de vida do sistema que é de 20 anos.

Nascimento *et al.*, (2016) estudaram o potencial de aproveitamento de água de chuva na Universidade Federal do Pará (UFPA), assim como a economia de água potável a partir de seu uso. Verificou-se que o potencial de economia de água potável médio obtido foi de 73,8% para o *Setor* Básico e 79,9% para o *Setor* Profissional. O mês de outubro apresentou o menor índice pluviométrico, com economia de 23% e 25% para os *Setores* Básico e Profissional, chegando a 100% no período chuvoso (dezembro a maio).

Nogueira *et al.*, (2016) estudaram a viabilidade de implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva no setor de Mecanização do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria. Com este sistema o consumo de água proveniente do subsolo foi diminuído em 100%. Os reservatórios foram o maior investimento, representando 63%, seguido da lavadora 27% e outros 10% do total dos custos. Obteve-se uma economia total de R\$ 2.009,66/ano e R\$ 83,74/mês.

Queiroz e Farias (2012) realizaram estudos para avaliar o potencial do aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis no Campus da Universidade Federal de Campina Grande em Pombal-PB. Os autores concluíram que a demanda ao longo do ano só será atendida plenamente se o volume dos reservatórios for cinco vezes maior que a demanda, devido à grande variabilidade pluviométrica do local.

Fasola *et al.*, (2011) apresentaram os usos finais de água estimados e o potencial de economia de água potável obtido por meio do aproveitamento de água pluvial, reuso de águas cinzas, uso de equipamentos economizadores e combinação entre essas duas medidas em duas escolas localizadas em Florianópolis, SC. A combinação que produziu melhor potencial de economia de água potável foi a

instalação de equipamentos economizadores em conjunto com o aproveitamento de água pluvial, chegando a 27,8% na escola municipal e a 72,7% na escola estadual.

O interesse de aproveitar a água da chuva no âmbito internacional é bastante evidente, Appan (2000) avaliou a viabilidade econômica de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em uma universidade de Singapura. Neste caso, aproveitar a água da chuva possibilitou uma economia de \$18.800/mês, o que representa 12,4% da despesa na universidade.

Na Faculdade de Engenharia da Universidade Teerthanker Mahaveer na Índia, Ali e Jain (2014) também avaliaram a possibilidade de aproveitamento de água para atender aos usos não potáveis de água no campus universitário. Isso evidencia, que as instituições de ensino público estão adotando medidas para utilizar a água de forma mais racional, porém ainda existe uma inércia no que diz respeito a utilização dos sistemas de aproveitamento de água pluvial, uma vez que as fontes de abastecimento de água potável continuam disponíveis (JONES; HUNT, 2010).

## 2.7. VIABILIDADE ECONÔMICA EM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Na maioria dos casos, a análise de viabilidade econômica é feita pela determinação do tempo de retorno (*payback*). Para isso, é necessário calcular o quociente entre o custo de implantação do reservatório e o custo do volume de água via concessionária. Porém, este indicador não leva em consideração reajustes tarifários, juros, entre outros (ROCHA, 1998).

Para que seja possível avaliar os indicadores que consideram os reajustes tarifários, é necessário definir um modelo adequado ao problema em estudo. Este modelo pode ser entendido como o fluxo de caixa onde se estabelece o horizonte do projeto (tempo de execução ou operação), e, dentro deste espaço temporal, são alocados seus respectivos custos e benefícios (ICHIHARA; DUARTE, 2008; CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000).

Para análise de investimento, comumente são utilizados os métodos determinísticos, tal como Valor Presente Líquido, Taxa interna de Retorno e *payback* descontado. Estes métodos são equivalentes, e, se bem aplicados, conduzem ao

mesmo resultado. A escolha do método a utilizar dependerá do problema a ser resolvido, cada um se adapta melhor a um determinado tipo de situação (CARVALHO, 2014).

Quando se pretende avaliar a variação do dinheiro no tempo, utiliza-se o *payback* descontado, que no fluxo de caixa, considera a aplicação da taxa de desconto nos valores futuros, trabalhando-se como Valor Presente Líquido (VPL). O VPL é usado para calcular a soma algébrica de todos os valores presentes (VP) no Fluxo de Caixa, seja com sinais positivos (entradas, receitas ou benefícios), quanto aos negativos (saídas, despesas ou custos), incluindo o investimento inicial, todos já descontados, isto é, aplicando taxa de desconto (ICHIHARA; DUARTE, 2008).

A avaliação de projetos de investimentos, comumente, envolve um conjunto de técnicas que buscam determinar sua viabilidade econômica, considerando uma determinada Taxa Mínima de Atratividade. Desta forma, normalmente esses parâmetros são medidos pelo *Payback* descontado (prazo de retorno do investimento inicial), pela TIR (Taxa Interna de Retorno) e/ou pelo VPL (Valor Presente Líquido) (CASAROTTO; KOPPITKE, 2000). Muitos estudos são desenvolvidos utilizando estes indicadores de investimento, como encontrado nos trabalhos de:

Moruzzi *et al.*, (2012), desenvolveram um método baseado em três variáveis, sendo essas a demanda de água, a eficiência do sistema e tempo de retorno. Várias simulações foram realizadas em diferentes cenários. Os autores concluíram que o tempo de retorno variou de 0,5 a 30 anos, em função do tamanho do reservatório, do tamanho da área e da demanda. Baixas demandas aumentam consideravelmente o tempo de retorno do capital.

Murça *et al.*, (2014) desenvolveram um modelo matemático para otimização do volume do reservatório de água pluvial, os quais conseguiram encontrar um volume ótimo e economicamente viável. A metodologia de dimensionamento proposta reduziu em até 51% o valor presente da opção de aproveitamento de água pluvial, quando comparado aos seis Métodos de dimensionamento de reservatório da NBR 15527/2007.

Ilha e Campos (2014) propuseram uma ferramenta para a análise da qualidade dos investimentos em um sistema de captação de água pluvial aplicado em um prédio público, baseada na otimização do valor presente líquido, por meio da técnica de *Particles Swarm Optimization*. Os autores verificaram que o modelo apresentou bons resultados, e que os reajustes mais elevados na tarifa de água, promovem maiores oportunidades, uma vez que permite ter retornos econômicos a curto prazo à medida em que se aumenta a tarifa cobrada pela concessionária.

Análise econômica de sistemas de captação de água da chuva também é estudada por vários autores (GHISI; OLIVEIRA, 2007; ZHANG *et al.*, 2009; CHIU *et al.*, 2009; GHISI *et al.*, 2009; TAM *et al.*, 2010; RAHMAN *et al.*, 2012 e GHISI *et al.*, 2014). Tais estudos buscaram alternativas para determinação do volume e o tipo de material que implicasse em um menor investimento e maior retorno econômico, de modo a tornar os sistemas de captação de água de chuva atrativos do ponto de vista dos investidores.

## 2.8. MODELOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS

No Brasil, os cálculos para o dimensionamento dos reservatórios de armazenamento de água pluvial são regidos pela NBR 15.527 (ABNT, 2007), que apresenta seis métodos práticos de cálculo de volume de reservatório de águas pluviais. Dentre os métodos mais empregados, destacam-se: Método Azevedo Neto, Método de Rippl, Método da Simulação, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano. A descrição de tais métodos pode ser encontrada em Tomaz (2003); Oliveira e Moruzzi (2007); Amorim e Pereira (2008) e Rupp *et al.*, (2011).

Atualmente, já existem alguns modelos computacionais, como o desenvolvido por Moruzzi e Oliveira (2010), o qual foi denominado REZZ, um software que utiliza os métodos citados na NBR 15.527 (ABNT, 2007). O modelo REZZ foi desenvolvido para auxiliar no cálculo do volume do reservatório para sistemas de aproveitamento de água pluvial considerando apenas os métodos empíricos apresentados na norma.

Na literatura encontram-se diversos métodos de dimensionamento de reservatórios para sistemas de aproveitamento de água da chuva. Segundo McMahon

e Mein (1978), os métodos de dimensionamento podem ser classificados em três categorias: método de Moran, período crítico e modelos comportamentais.

Conforme verificado por Rocha (2009), o método considerado mais adequado é o método de Simulação Computacional. Os modelos comportamentais são aqueles que simulam a operação do reservatório de água pluvial em função do tempo, considerando as condições de operação e as variáveis de entrada e saída de água (MCMAHON; MEIN, 1978).

A maioria dos modelos comportamentais adota o princípio de transferência de massa para prever a operação do reservatório de armazenamento de água da chuva. A partir desse princípio, e considerando também o balanço hídrico do sistema, uma ou mais equações são desenvolvidas para simular o funcionamento do reservatório frente a um conjunto de variáveis (ROEBUCK; ASHLEY, 2006).

Entre os modelos comportamentais conhecidos, destaca-se o desenvolvido por Jenkins *et al.*, (1978); Schiller e Lathan (1982), Chowdhury *et al.*, (1987), Fewkes e Frampton (1993), Fewkes (1999), Liaw e Tsai (2004) e Anecchini (2005). Nos Estados Unidos, Jones e Hunt (2010), apresentaram um estudo realizado em cidades do sudeste americano, para determinar o equilíbrio ideal entre a área de telhado, tamanho do reservatório e consumo de água utilizando um modelo computacional denominado Stormwater, desenvolvido pela North Carolina State University (2008).

No Brasil, foi desenvolvido por Ghisi e Cordova (2014) o Algoritmo Netuno baseado em modelos comportamentais, o qual tem como funcionalidade principal a determinação do volume ideal do reservatório, assim como o potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial. O algoritmo do programa Netuno realiza os cálculos em base diária, considerando a demanda e a disponibilidade de água pluvial, conforme o registro de dados pluviométricos da série histórica utilizada na simulação.

Na simulação realizada no Netuno é descontada a perda por evaporação, por meio do coeficiente de aproveitamento (coeficiente de runoff), e o descarte do escoamento inicial, o qual é definido, geralmente, em 2 mm. Como o volume inicial do reservatório é definido, realiza-se a análise entre consumo e demanda. Caso a

demanda de água pluvial seja menor que o volume de captação, a demanda é atendida em sua totalidade, e o excedente de água é extravasado. Caso a demanda seja maior que o volume coletado, a demanda é atendida parcialmente e a água potável fornecida pela concessionária complementa o atendimento (GHISI; CORDOVA, 2009).

O programa computacional Netuno possibilita a modelagem adequada dos resultados, os quais são representados por meio de gráficos, como a relação entre o potencial de economia de água potável, de acordo com o intervalo de volumes do reservatório inseridos nos dados de entrada da simulação; a capacidade do reservatório; o volume extravasado de água pluvial; o volume ideal e análise econômica.

Para o cálculo, o algoritmo do Netuno parte do primeiro dia de simulação com o reservatório vazio e, dia a dia, simula a saída de água por meio do consumo per capita e a entrada de água por meio da captação da água da chuva, quando há precipitação, considerando o volume remanescente dos dias anteriores e o percentual de substituição de água potável por água pluvial.

No mais, o algoritmo define um critério para determinar o volume ideal do reservatório e o seu potencial de economia. O critério utilizado é a diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial, em porcentagens por metro cúbico, em razão do volume do reservatório. Além do dimensionamento do reservatório, a simulação no Netuno possui um módulo que possibilita uma análise econômica envolvendo os principais indicadores de investimento: Valor Presente Líquido, Payback Descontado e Taxa interna de Retorno. Com a detalhada modelagem desenvolvida, podem-se obter estimativas precisas dos custos e economias.

Marinoski e Ghisi (2008) estudaram a viabilidade econômica de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em uma instituição de ensino localizada em Florianópolis, utilizando o programa computacional Netuno. Os resultados apresentaram um período de retorno do investimento de 4 anos e 10 meses. A construção do sistema de aproveitamento de água da chuva mostrou-se economicamente viável para a instituição de ensino. Este programa foi utilizado por

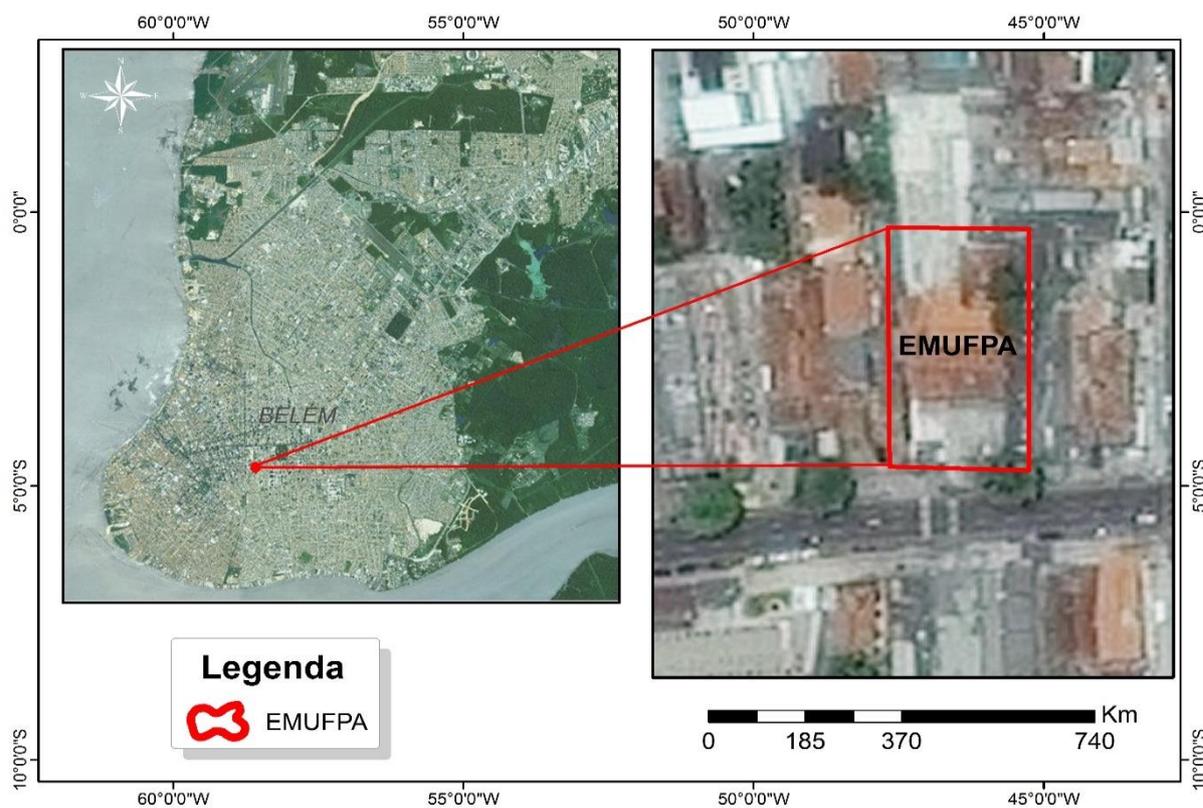
diversos autores no Brasil, como visto nos estudos de Ghisi e Oliveira (2007), Ghisi *et al.*, (2006, 2007, 2009, 2014, 2016), Rupp *et al.*, (2011); Fasola *et al.*, (2011) e Chaib *et al.*, (2015).

### 3 ÁREA DE ESTUDO

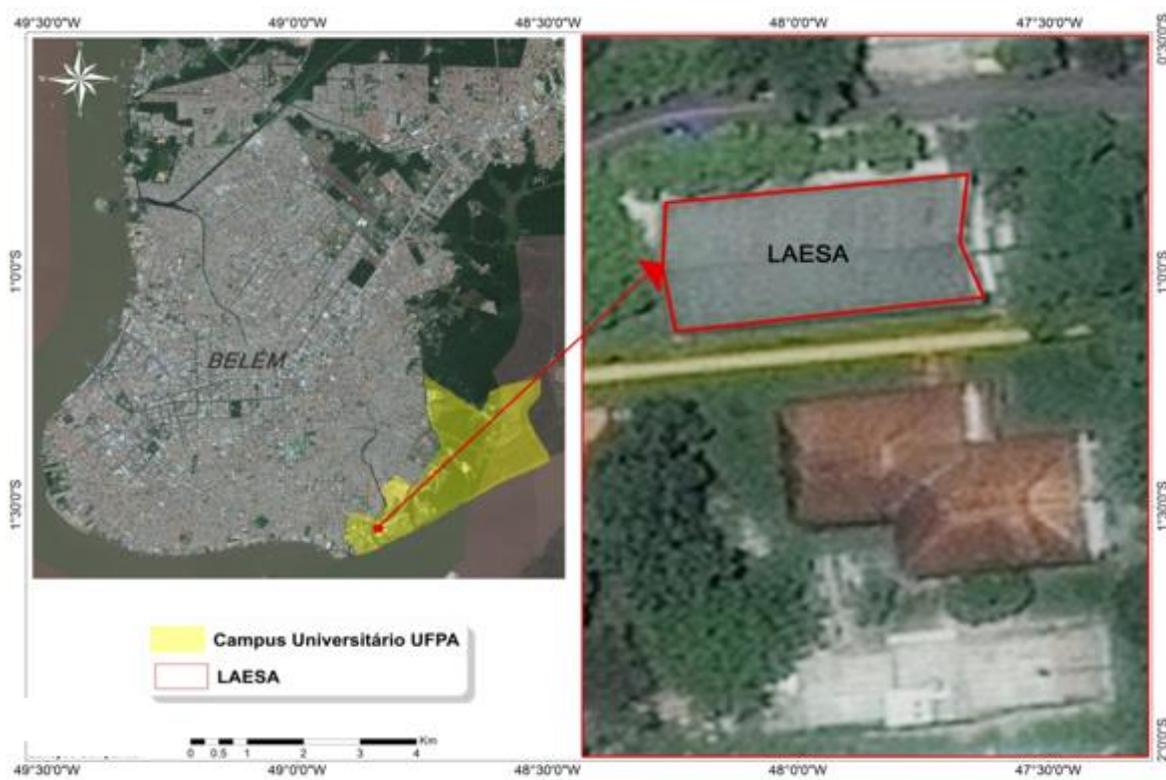
A UFPA é uma das universidades mais importantes do país e possui uma população de mais de 50 mil pessoas, sendo 2.522 professores, incluindo efetivos do ensino superior, ensino básico, substitutos e visitantes; 2.309 servidores técnico-administrativos; 7.101 alunos de cursos de pós-graduação, sendo 4.012 estudantes de cursos de pós-graduação stricto sensu; 32.169 alunos matriculados nos cursos de graduação, 18.891 na capital, e 13.278, distribuídos pelo interior do Estado (UFPA, 2014). A Universidade Federal do Pará está localizada no Bairro do Guamá - Cidade Universitária – às margens direitas do principal manancial que abastece a cidade de Belém (Rio Guamá), acerca de 10 km do centro da cidade de Belém.

O estudo foi aplicado na Escola de Música da Universidade Federal do Pará (UMUFPA) localizada fora do Campus universitário (Figura 7), e no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA) localizado no campus profissional da universidade (Figura 8). A Escola de Música da UFPA foi fundada em 1964. A escola oferece cursos de nível básico, técnico e tecnólogo, superior e pós-graduação. O prédio é abastecido exclusivamente pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA).

O prédio da EMUFPA possui 4 andares, cada um medindo 385 m<sup>2</sup>, totalizando 1540 m<sup>2</sup>. A população que frequenta o local é de 466 alunos, 27 funcionários, que inclui 12 técnicos administrativos, 1 de limpeza, 2 porteiros, 2 seguranças e 10 bolsistas, totalizando 520 pessoas. O prédio possui 1 biblioteca, 9 banheiros, 1 coordenação, 1 secretaria e 1 depósito; 33 salas de aula, totalizando 46 compartimentos.



**Figura 7 - Localização da Escola de Música da UFPA (EMUFPA)**  
 Fonte: Autor (2016)



**Figura 8 - Mapa de Localização do prédio LAESA**  
 Fonte: Autor (2016)

O LAESA é o antigo laboratório de hidráulica, o qual foi construído para abrigar salas de aula, salas dos professores e secretaria da faculdade, bem como laboratórios de hidráulica, Recursos Hídricos, Qualidade da água, Qualidade do Ar, Resíduos Líquidos e Resíduos Sólidos. Em 2012, a Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA) do Instituto de Tecnologia (ITEC) inaugurou o novo Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental “Professor Alírio César de Oliveira” (LAESA), sendo o primeiro laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da Amazônia (UFPA, 2012).

O prédio possui 961 m<sup>2</sup> de área construída, com dois andares, divididos em 62 compartimentos (Tabela 4). Cada banheiro feminino possui duas torneiras e duas bacias sanitárias, enquanto o banheiro masculino possui duas torneiras, duas bacias sanitárias e dois mictórios. O bebedouro localiza-se no segundo andar. A população de alunos, professores e funcionários alocados no laboratório é de 401 pessoas, sendo 376 alunos, 18 professores e 7 funcionários.

**Tabela 4 – Divisões no laboratório LAESA**

<b>Local</b>	<b>Quantidade (unid.)</b>
<b>Almoxarifado</b>	1
<b>Auditório</b>	1
<b>Banheiros</b>	10
<b>Biblioteca</b>	1
<b>Copa de professores</b>	2
<b>Copiadora/Lanchonete</b>	2
<b>Laboratórios</b>	12
<b>Sala bolsista doutorado</b>	1
<b>Sala bolsista mestrado</b>	1
<b>Salas de professores</b>	21
<b>Salas de secretaria/diretoria</b>	4
<b>Sala para chefe dos laboratórios</b>	1
<b>Salas de aula</b>	5
<b>TOTAL</b>	62

A cidade universitária possui um sistema próprio de abastecimento de água que está em funcionamento desde sua fundação, em 1957, no entanto, a Estação de Tratamento de Água - ETA passou a operar a partir da década de 1980, até os dias

atuais. A capacidade inicialmente seria com três módulos, com capacidade de 240 m<sup>3</sup>/h, mas acabou sendo projetada com dois módulos, capaz de atender uma vazão de 160m<sup>3</sup>/h. A água da ETA é de origem subterrânea, através de seis poços, sendo que três já foram desativados (SILVA, 2012). Atualmente o sistema atende totalmente o campus básico e profissional. A concessionária local atende alguns prédios localizados no campus básico e em anexos da UFPA que estão localizados fora do campus universitário, como a Escola de Música, localizada no centro da cidade de Belém.

## 4 MATERIAL E MÉTODO

O desenvolvimento do método foi fundamentado por pesquisa qualitativa e quantitativa com base em trabalhos da literatura que realizaram análises com objetivos semelhantes, como o trabalho desenvolvido por Marinoski e Ghisi (2008). A estratégia é um estudo de caso em dois prédios de ensino superior da Universidade Federal do Pará. O método foi desenvolvido dividindo os objetivos específicos em duas etapas principais:

### 1ª ETAPA - Dimensionamento do Reservatório

Foram realizadas análises dos dados hidrológicos, determinação do consumo de água potável e não potável nas edificações e o dimensionamento do reservatório pelo software Netuno 4.0.

### 2ª ETAPA – Projeto Executivo e Análise Econômica

Nesta etapa, foi realizado a elaboração do projeto de dimensionamento das instalações prediais de água pluvial, o levantamento dos custos de instalação, construção e manutenção do sistema e, por último, a análise econômica por meio do programa Netuno, considerando para análise o Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno e o Payback descontado.

Foram elaborados 3 (três) cenários de simulação para análise econômica, considerando duas categorias tarifárias: a tarifa de água cobrada pela concessionária, e a tarifa por m<sup>3</sup> de água tratada na estação de tratamento de água autônoma da UFPA. O primeiro cenário simulado foi considerado o modelo atual de abastecimento na Escola de Música, que ocorre pela concessionária local. O segundo cenário, foi no LAESA, abastecido pela ETA e no terceiro cenário foi criado um caso hipotético, considerando que o LAESA fosse abastecido pela água da concessionária.

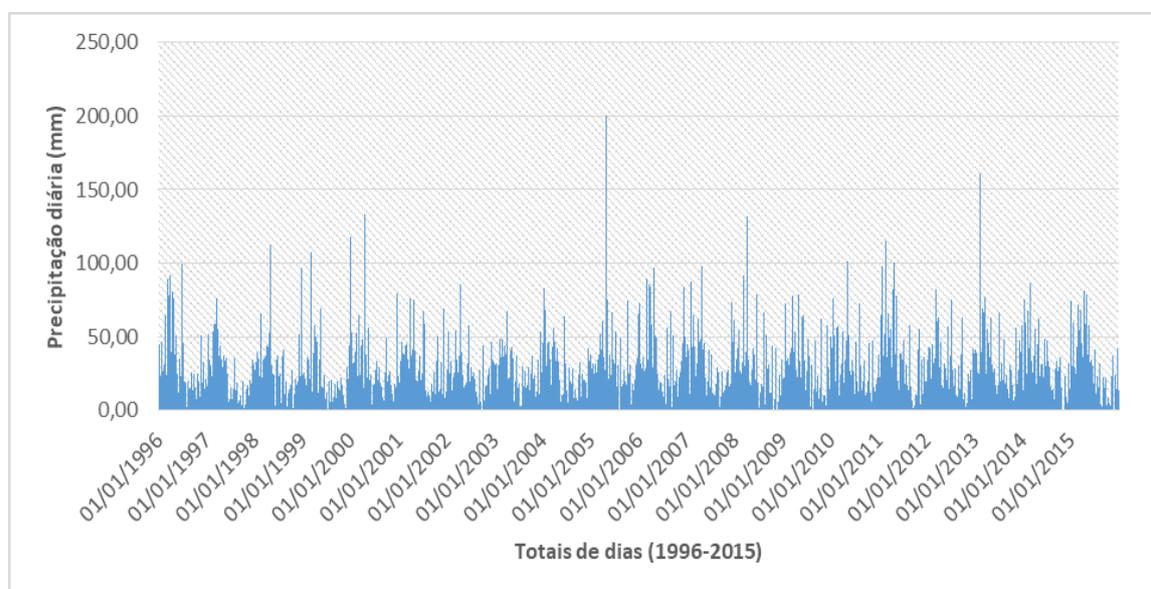
## 4.1 1ª ETAPA - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

### 4.1.1 Dados pluviométricos

Foi realizado um levantamento dos pluviômetros localizados na cidade de Belém, disponíveis no Hidroweb. Ao avaliar o histórico de precipitação das estações,

verificou-se que os dados que apresentaram maior consistência foram os disponibilizados pelo INMET (Estação 82191), mais conhecida como estação pluviométrica da Ceasa. Essa estação está localizada nas coordenadas geográficas 1° 24' 40.4" S e 48° 26' 22,2"W, na região metropolitana de Belém. A estação está a uma distância de 4 km do LAESA e 7 km do EMUFPA. As áreas de estudo estão situadas dentro do raio de 100 km da estação pluviométrica, o que permite utilizar os dados de precipitação, conforme recomendações da Organização Mundial de Meteorologia (2010) para regiões planas.

Os dados de precipitação utilizados para simulação no programa Netuno foram diários (Figura 9). Neste gráfico são apresentados os 7304 dias observados correspondentes à série histórica de 1996 a 2015, sem falhas.



**Figura 9 - Precipitação diária na cidade de Belém (1996-2015)**

Fonte: Adaptado INMET (2015)

Como um histórico de precipitação diária não segue o comportamento de uma distribuição normal, a análise estatística foi realizada, considerando os valores médios mensais de 1996 a 2015. Foi realizada a estatística descritiva e a elaboração de um histograma de frequência de precipitação.

#### 4.1.2 Observação de consumo de água na EMUFPA e no LAESA

Para a estimativa de consumo de água nos prédios, inicialmente, foi realizado um levantamento do número de ocupantes, período de funcionamento, hábitos de

consumo de água e quantidades de pontos de consumo: banheiros, lavabos, copas, laboratórios, verificação dos tipos de aparelhos sanitários (acionamento automático e válvula de descarga), quais as atividades de higiene e limpeza realizadas, como elas são desempenhadas e quais os tipos de equipamentos são utilizados para a lavagem dos prédios.

#### 4.1.2.1 Questionários de consumo de água

Para se estimar os usos finais de água e entender o consumo por cada usuário, foram aplicados questionários (Apêndice A) em uma amostra da população de alunos (masculino e feminino) que pudesse representar de forma satisfatória a realidade de consumo de água nas edificações. Como a maior população é de alunos, o cálculo da amostra foi aplicado somente para a população de alunos. Para os funcionários e professores, buscou-se entrevistar a todos.

Neste trabalho, adotou-se um erro amostral de 10% para definição da amostra de alunos a ser entrevistada nas edificações. De acordo com a metodologia de Barbetta (2003), é possível estabelecer uma amostra com um erro amostral de 1 a 20% (Equações 1).

$$n \geq \frac{no \times N}{no + N} \quad (1)$$

Sendo:

$$no \geq \frac{1}{\varepsilon^2}$$

Em que:

$n$  é o número de amostra de pessoas a serem entrevistadas;

$N$  é o número total de pessoas;

$\varepsilon^2$  é o erro amostral desejado.

Os questionários continham perguntas como tempo (segundos/vez) para aparelhos com válvula de descarga ou (acionamento/vezes) nos aparelhos

automáticos, e frequência (vezes/dia) de uso dos aparelhos sanitários, limpeza do prédio, dentre outras atividades relacionadas aos usos de água potável e não potável.

#### 4.1.2.2 Cálculo da demanda

A demanda de água potável e não potável nas duas edificações foi estimada por meio da metodologia de cálculo apresentada por Fasola *et al.*, (2011). O primeiro cálculo leva em consideração o consumo em bacias sanitárias com válvula de descarga, mictórios, torneiras e bebedouros, conforme Equação 2.

$$C_{ap} = f \times t \times Q \quad (2)$$

Em que:

$C_{ap}$  é o consumo de água de cada usuário por aparelho sanitário (L/dia);

$f$  é a frequência média de utilização (vezes/dia);

$t$  é tempo médio de cada utilização (s/vez);

$Q$  é a vazão média de cada dispositivo (L/s).

A vazão das torneiras e bebedouros foi calculada cronometrando-se o tempo para encher um determinado recipiente graduado. A determinação da vazão das bacias sanitárias com caixa de armazenamento foi determinada por meio do volume das caixas e buscando informações com os fabricantes.

O segundo cálculo de consumo leva em consideração os dispositivos com fechamento automático (Equação 3). O volume da caixa de armazenamento das bacias de descargas é de 6 L/acionamento.

$$C_{ap} = f \times A \times V \quad (3)$$

Em que:

$C_{ap}$  é o consumo de água por cada usuário em cada aparelho (L/dia);

$f$  é a frequência média de utilização para cada aparelho (vezes/dia);

$A$  é o número médio de acionamento do dispositivo ao utilizá-lo (acionamento/vez);

$V$  é o volume médio de água armazenado na bacia sanitária ou despejado pela torneira automática (L/acionamento).

Para o cálculo do volume de água utilizado para limpeza, foi adotado um cálculo que utiliza uma medida de consumo referente a um balde de 4 L, por ser a forma utilizada para armazenar a água destinada para a limpeza nas edificações. (Equação 4).

$$C_{lim} = f \times B \times V \quad (4)$$

Em que:

$C_{lim}$  é o consumo diário para limpeza (L/dia);

$f$  é a frequência com que é feita a limpeza (vezes/dia);

$B$  é a quantidade de baldes contendo água utilizados para a limpeza (B/dia);

$V$  é o volume do balde utilizado (L).

Portanto, o consumo médio diário nos prédios da instituição de ensino é estimado por meio da Equação 5.

$$C_d = (C_{aluno} \times N_{alunos}) + (C_{prof} \times N_{prof}) + (C_{func} \times N_{func} + C_{lim}) \quad (5)$$

Em que:

$C_d$  é o consumo diário no prédio (L/dia);

$C_{aluno}$  é o consumo diário de água pelos alunos (L/dia.aluno);

$C_{prof}$  é o consumo diário de água pelos professores (L/dia.professor);

$C_{func}$  é o consumo diário de água pelos funcionários (L/dia.funcionário);

$C_{lim}$  é o consumo diário de água com limpeza do prédio (L/dia.limpeza).

Logo, a estimativa de consumo mensal foi realizada por meio do produto do consumo diário e o número de dias de um mês (Equação 6).

$$C_{mensal} = C_d \times 30 \quad (6)$$

Em que:

$C_{mensal}$  é o consumo mensal de água (L/mês);

$C_d$  é o consumo diário (L/dia).

#### 4.1.3 Área de captação LAESA e EMUFPA

Para determinar a área de superfície de captação do Prédio de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA), foi analisada a planta do projeto arquitetônico disponibilizada pela Prefeitura da UFPA. A cobertura possui 51,90 m de comprimento e 22,64 m de largura, 3,5 m de altura com 15° de ângulo de inclinação, que representa uma área de 1216,47 m<sup>2</sup> (Figura 10).

A superfície de captação do LAESA é composta por material de fibrocimento, o qual possui coeficiente de *runoff* de 0,8 a 0,9 (TOMAZ, 2003).

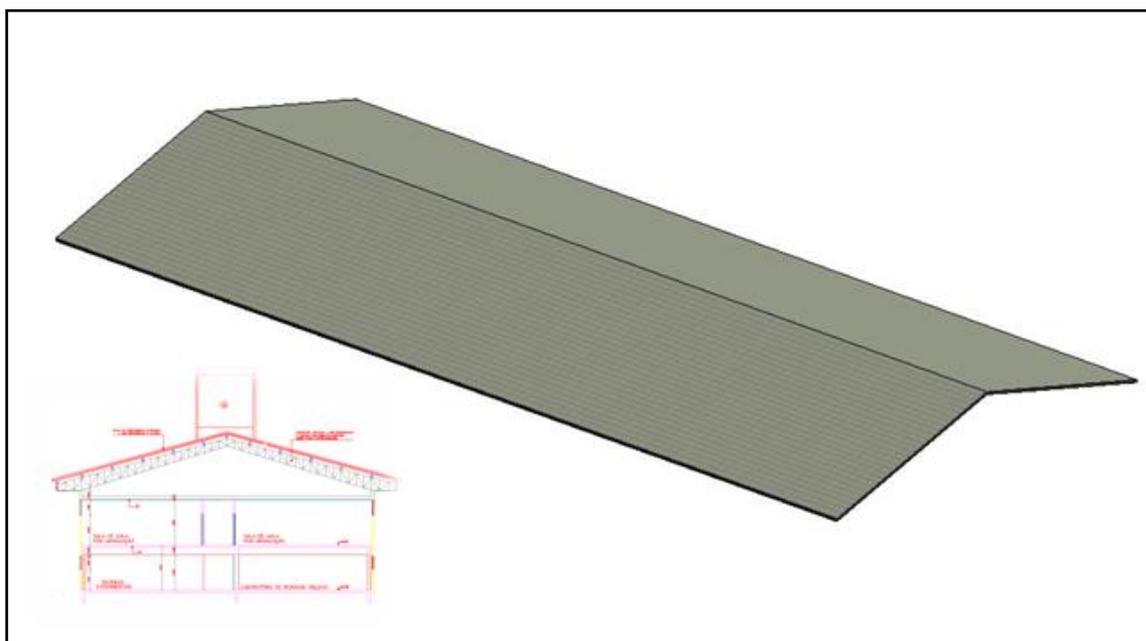
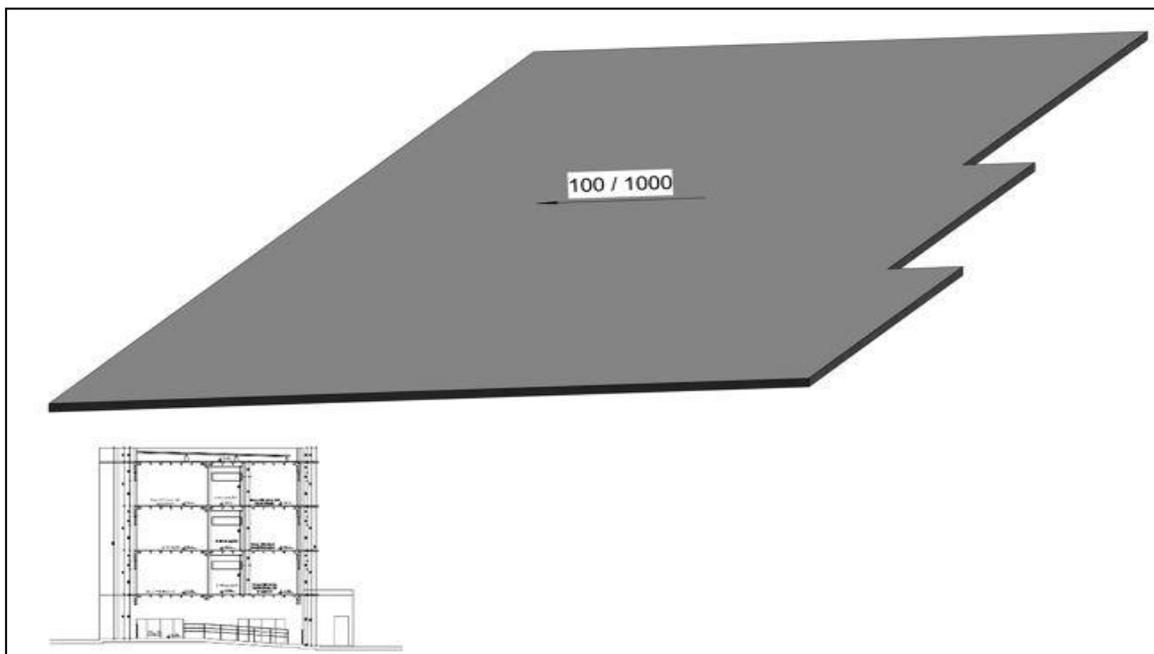


Figura 10 - Área de captação do laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental  
Fonte: Autor (2015)

Para determinar a área de superfície de captação do Prédio da Escola de Música da UFPA (EMUFPA), foi analisada a planta do projeto arquitetônico também

disponibilizada pela Prefeitura da UFPA. A cobertura possui 300 m<sup>2</sup>, com 10% de inclinação (Figura 11). O material da cobertura é composto de metal. Segundo Tomaz (2003), o coeficiente de *runoff* para este tipo de material é de 0,9 a 0,95.



**Figura 11 - Área de captação do novo prédio do EMUFPA**  
Fonte: Autor (2016)

#### 4.1.4 Dimensionamento do reservatório via NETUNO 4.0

##### 4.1.4.1 Reservatório Inferior

Todas as orientações da NBR 12217 (ABNT, 1994) devem ser observadas para a caracterização do reservatório. Este representa o item mais oneroso do sistema de captação e utilização de água pluvial, por isso deve ser dimensionado com bastante critério. O *Netuno 4.0* realiza os cálculos em base diária, considerando a demanda total per capita de água para usos potáveis e não potáveis e a disponibilidade de água pluvial. Os dados de entrada são os seguintes:

- a) Precipitação pluviométrica diária;
- b) Área de captação;
- c) Coeficiente de aproveitamento;
- d) Demanda diária de água potável per capita;
- e) Número de moradores;
- f) Percentagem de água potável que pode ser substituída por pluvial.

A simulação no software foi realizada considerando a “simulação para reservatórios com diversos volumes”, o qual foi definido como 20.000 L o volume máximo e 1000 L o intervalo entre volumes. Neste trabalho, foi utilizado o critério de 2%, quando houvesse aumento de 1000 L no reservatório do LAESA e 1% para o EMUFPA.

Após a definição dos parâmetros supracitados, a sequência de cálculos do algoritmo para dimensionar o reservatório inferior e encontrar um volume ideal é apresentado nas etapas a seguir (Figura 12), conforme apresentado no Manual do Netuno (GHISI; CORDOVA, 2014):

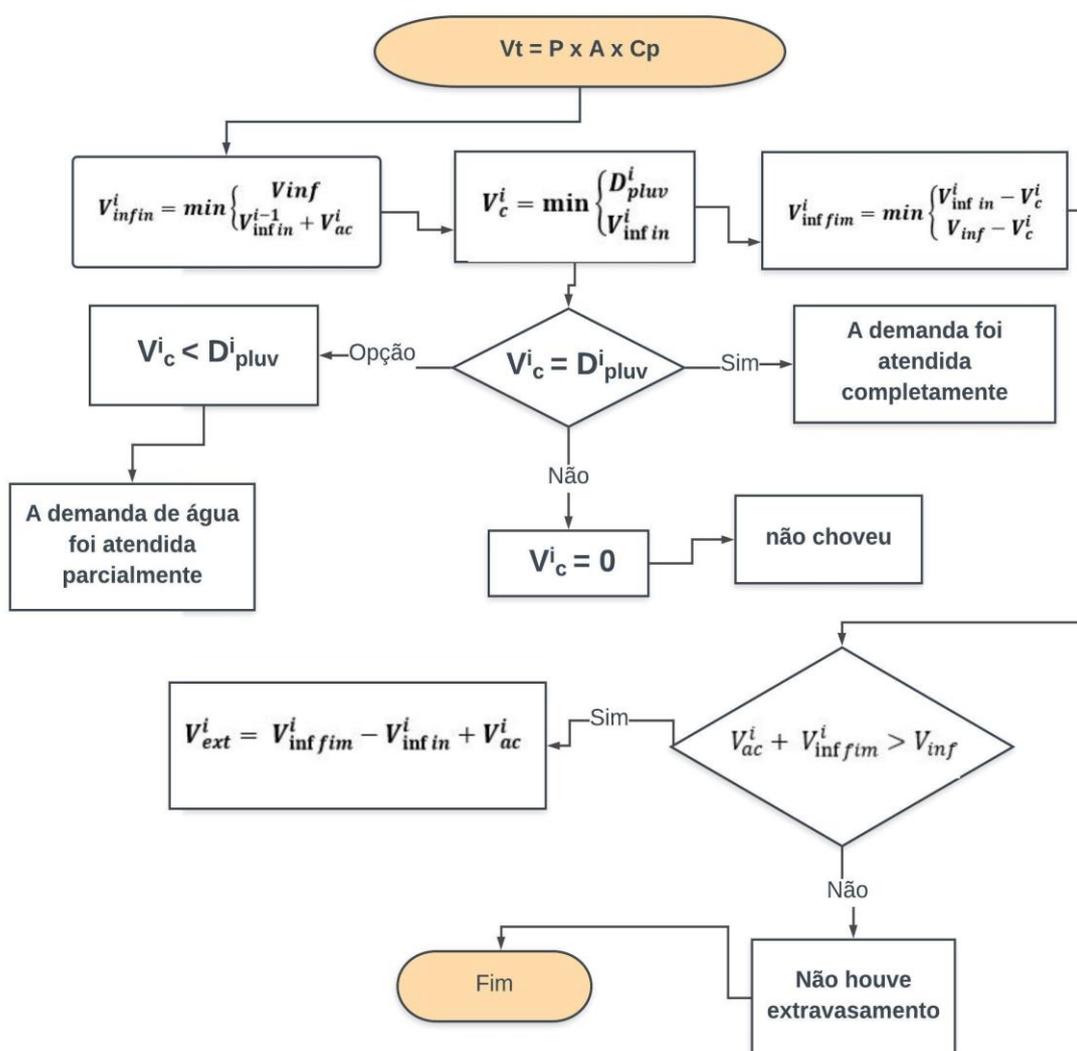


Figura 12 – Rotina de cálculo do programa Netuno

Fonte: Autor (2017)

A princípio, é determinado o volume de água pluvial que escoo pela superfície de captação diariamente, calculado através da Equação 7.

$$Vt = P \times A \times Cp \quad (7)$$

Em que:

$Vt$  é o volume de água pluvial captada no tempo  $t$  (L/dia);

$P$  é a precipitação pluviométrica diária (mm/dia = L/m<sup>2</sup> por dia);

$A$  é a área de captação em cada residência (m<sup>2</sup>);

$Cp$  é o coeficiente de aproveitamento (-), adotado como 0,80 para o LAESA e 0,90 para o EMUFPA.

Após a determinação do volume possível de ser aproveitado pela cobertura, é calculado por meio da equação 8, o volume de água pluvial disponível no reservatório inferior no início do dia, após a captação de água pluvial e antes do consumo.

$$V_{infin}^i = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{inf} \\ V_{infin}^{i-1} + V_{ac}^i \end{array} \right. \quad (8)$$

Em que:

$V_{infin}^i$  é o volume disponível no reservatório no início do dia (L);

$V_{inf}$  é o volume do reservatório (L);

$V_{infin}^{i-1}$  é o volume disponível no reservatório no final do dia anterior (L);

$V_{ac}^i$  é o volume de água que escoo pela superfície de captação em um dado dia  $i$  (L).

O volume consumido de água pluvial em um determinado dia foi calculado por meio da equação 9. É o valor a ser descontado do volume disponível no reservatório.

$$V_c^i = \min \left\{ \begin{array}{l} D_{pluv}^i \\ V_{infin}^i \end{array} \right. \quad (9)$$

Em que:

$V_c^i$  é o volume de água pluvial consumido no dia  $i$  (L);

$D_{pluv}^i$  é a demanda pluvial no dia  $i$  (L);

$V_{infin}^i$  é o volume disponível no reservatório no início do dia (L).

Após a definição do volume consumido, é calculado por meio da equação 10 o volume do reservatório inferior após o consumo, ou seja, o volume disponível no final do dia.

$$V_{infim}^i = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{infin}^i - V_c^i \\ V_{inf} - V_c^i \end{array} \right. \quad (10)$$

Em que:

$V_{infim}^i$  é o volume de água pluvial disponível no reservatório ao final do dia (L);

$V_{infin}^i$  é o volume de água pluvial disponível no reservatório no início do dia (L);

$V_c^i$  é o volume de água pluvial consumido no dia  $i$  (L);

$V_{inf}$  é o volume do reservatório (L);

$V_c^i$  é o volume de água consumido no dia  $i$  (L).

O algoritmo estabelece algumas condições, que definem se o atendimento foi completo, parcial ou nulo, conforme descrito a seguir:

Se  $V_c^i$ , for igual ao  $D_{pluv}^i$ , a demanda de água pluvial foi atendida completamente no dia  $i$ .

Se  $V_c^i$  for menor que o  $D_{pluv}^i$ , a demanda de água pluvial foi atendida parcialmente no dia  $i$

Se  $V_c^i$  for igual zero, a demanda de água pluvial não foi atendida no dia  $i$ .

O Volume extravasado foi dado pela condição, se  $V_{ac}^i + V_{inf\ fim}^i > V_{inf}$ . Dado esta condição, o algoritmo irá determinar o volume extravasado por meio da Equação 11.

$$V_{ext}^i = V_{inf\ fim}^i - V_{inf\ in}^i + V_{ac}^i \quad (11)$$

Em que:

$V_{ac}^i$  é o volume de água escoada pela superfície de captação em um dado dia  $i$  (L);

$V_{inf\ fim}^i$  é o volume de água pluvial disponível no reservatório no final do dia (L);

$V_{inf\ in}^i$  é o volume disponível no reservatório no início do dia (L);

$V_{inf}$  é o volume do reservatório (L);

$V_{ext}^i$  é o volume extravasado (L).

Além do dimensionamento, é calculado o potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial (Equação 12)

$$E_{pot} = 100 \times \sum_{i=1}^N \frac{V_c^i}{D_{tot}^i} \quad (12)$$

Em que:

$E_{pot}$  é o potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento da água pluvial (%);

$V_c^i$  é o volume de água pluvial consumido no dia  $i$  (L);

$D_i^{tot}$  é a demanda total de água no dia  $i$  (L).

Para a determinação do Volume ideal do reservatório inferior, foi definido o percentual de utilização da água pluvial ( $P_{pluv}$ ), obtido pela razão do percentual de economia de água potável por meio do aproveitamento da água pluvial ( $E_{pot}$ ), e o percentual de demanda total de água que pode ser suprida por água pluvial  $P_{subst}$  (Equação 13).

$$P_{pluv} = 100 \times \frac{E_{Pot}}{P_{subst}} \quad (13)$$

No netuno, o volume ideal do reservatório inferior é determinado por meio de tentativas, impondo a condição de que o acréscimo no potencial de economia do volume subsequente é igual ou inferior à diferença entre potenciais de economia de água potável adotado neste trabalho, o qual foi de 2% ( $\Delta_{ideal}$ ), conforme apresentado na Equação 14.

$$\frac{\Delta P_{pluv}}{\Delta V_{inf}} = \leq \Delta_{ideal} \quad (14)$$

Em que:

$\Delta P_{pluv}$  é a variação do percentual de utilização de água pluvial (%);

$\Delta V_{inf}$  é a variação do percentual do volume do reservatório inferior (%);

$\Delta_{ideal}$  é o parâmetro indicado pelo usuário, que representa o intervalo de simulação, indicando a diferença entre potenciais de atendimento por água pluvial (%/L).

Como já informado, o Netuno sugere um volume ideal de reservatório inferior. No entanto, neste trabalho, foi definido que o volume ideal indicado só seria adotado se o mesmo atendesse, pelo menos, 2 (dois) dias de consumo nas edificações, conforme recomendado por Creder (1991).

#### 4.1.4.2 Reservatório Elevado

O volume de reservatório superior é um dos dados de entrada do programa para realização das simulações. Neste trabalho, optou-se por um tipo de reservatório que ocupe pouco espaço físico para sua instalação, tendo em vista que as edificações do LAESA e EMUFPA não dispõem de estrutura física para suportar reservatórios elevados acima de 5 m<sup>3</sup>, conforme constatado na planta estrutural das edificações.

## 4.2 2ª ETAPA – PROJETO EXECUTIVO E ANÁLISE ECONÔMICA

### 4.2.1 Projeto de dimensionamento das tubulações da rede predial de distribuição

De modo geral, um sistema de aproveitamento de água da chuva deverá atender à NBR 15527 (ABNT, 2007), bem como a concepção do projeto deve atender aos requisitos da NBR 10844/89 – Instalações Prediais de Águas Pluviais e NBR 5626/98 – Instalações Prediais de Águas Frias.

Foram realizados os dimensionamentos das calhas, das tubulações horizontais e verticais, de sucção e recalque do sistema de captação de água da chuva no LAESA e no EMUFPA. Tendo em vista que as edificações já estão construídas, optou-se por utilizar as tubulações existentes; que abastecem os pontos de consumo de água não potável: sanitários, mictórios e uma torneira destinada somente para a limpeza dos prédios.

Prevendo possível falta de abastecimento de água da chuva no período de estiagem, optou-se por instalar um realimentador <sup>3/4</sup>, dentro do reservatório superior de água da chuva, conectando-o à rede de distribuição de água potável. Através de uma eletro-boia o nível de água é identificado, quando este está abaixo do recomendado, uma válvula solenoide é automaticamente acionada, permitindo o abastecimento do reservatório superior com água potável. Vale ressaltar que a interligação do realimentador deve ser realizada somente com o reservatório elevado de água da chuva, pois o reservatório inferior deve estar sempre livre, caso venha a chover.

#### 4.2.1.1 Dimensionamento das calhas

Para o dimensionamento das calhas e condutores verticais e horizontais, é preciso tomar conhecimento da vazão de projeto, ou seja, a vazão de referência para o dimensionamento de condutores e calhas, conforme recomendações da NBR 10844 (ABNT, 1989). Para o projeto de instalações prediais de águas pluviais no LAESA e no EMUFPA, utilizou-se a intensidade pluviométrica de 157 mm/h estabelecida pela referida norma para a cidade de Belém, com um período de retorno de 5 anos (sugerido para coberturas). A vazão de projeto é dada pela equação 15.

$$Q = \frac{I \times A}{60} \quad (15)$$

Em que:

Q é a vazão de projeto (L/min);

I é a intensidade pluviométrica da cidade de Belém/PA (mm/h);

A é a superfície de captação (m<sup>2</sup>).

Para calcular a vazão das calhas, a NBR 10844 (ABNT, 1989) indica o uso da fórmula de Manning, conforme a Equação 16. Portanto, a recomendação para o correto dimensionamento é que a vazão da calha seja maior que a vazão de projeto.

$$Q = K \times \frac{S}{n} \times R_H^{2/3} \times i^{1/2} \quad (16)$$

Em que:

Q é vazão na calha (L/s);

K é coeficiente de Strickler fixado em 60000 (m<sup>1/3</sup>/s).

S é área da seção molhada (m<sup>2</sup>);

n é o coeficiente de manning (-);

R<sub>H</sub> é raio hidráulico (m);

i é a declividade da calha (m/m).

#### 4.2.1.1 Dimensionamento dos condutores verticais

Após dimensionar as calhas, a próxima etapa consiste no dimensionamento do condutor vertical que, segundo a ABNT NBR 10844/89, é a tubulação vertical destinada a conduzir a água coletada nas calhas até o reservatório inferior. Suas dimensões dependem do tipo de calha que se faz presente. Para dimensionamento do condutor vertical, utilizou-se o ábaco disponível na NBR 10844/89.

#### 4.2.1.2 Dimensionamento dos condutores horizontais

Como já informado, optou-se por utilizar a tubulação existente que abastece os vasos sanitários e mictórios, porém, foi realizado o dimensionamento da tubulação de distribuição com objetivo de verificar se o diâmetro da tubulação atual está adequado para a vazão na tubulação.

Para determinação da vazão para o dimensionamento dos condutores horizontais destinados a coletar e conduzir as águas pluviais até os dispositivos, foi adotado o método da Somatória dos pesos por pavimento ( $\Sigma P$ ), conforme recomendado na norma da NBR 5626 (ABNT, 1998), que institui procedimentos técnicos para o projeto de instalações prediais de água fria.

Foram dimensionadas as colunas de distribuição das estruturas de reuso para o aproveitamento da água pluvial, tais como a cisterna, caixa de areia, filtro de autolimpeza, bomba de sucção e recalque para reservatório elevado. Feito o projeto de dimensionamento das tubulações e acessórios, foram plotados os dados no programa AutoCAD 2012 com a utilização do HidroCAD para quantificação dos componentes do sistema. As etapas do projeto são apresentadas a seguir:

O método por somatória dos pesos, sugere uma unidade de peso relativo para o dimensionamento da coluna de distribuição de água pluvial para cada aparelho sanitário. Os pesos relativos são estabelecidos empiricamente pela vazão de projeto. A quantidade de cada tipo de peça de utilização alimentada pela tubulação, que está sendo dimensionada, é multiplicada pelos correspondentes pesos relativos. E a soma dos valores obtidos nas multiplicações de todos os tipos de peças de utilização constituem a somatória total dos pesos ( $\Sigma P$ ). Essa metodologia é denominada método de Hunter (CREDER, 1991).

#### 4.2.1.3 Cálculo da vazão por trecho (Q)

De acordo com a norma 5626 (ABNT, 1998), é adotada a Equação 17 para determinação da vazão de água nas tubulações em cada pavimento. Essa equação representa a vazão máxima provável considerando todas as peças de utilização sanitária. Quando se aplica esta equação em edificações verticais, ocorre a adição de

um novo pavimento, e o peso relativo é multiplicado a cada novo andar, para que a demanda seja calculada corretamente.

$$Q = 0,3 \times \sqrt{\sum p} \quad (17)$$

Em que,

$Q$  é a vazão estimada na seção considerada (L/s);

$\sum P$  é a soma dos pesos relativos de todas as peças de utilização alimentadas pela tubulação considerada.

#### 4.2.1.4 Cálculo da velocidade ( $V$ )

Segundo a NBR 5626 (ABNT, 1998), a velocidade em conduto forçado deve ser menor que 3 m/s, para preservação da tubulação e dos acessórios. A velocidade foi determinada através da equação da continuidade (Equação 18), aplicada a condutos circulares.

$$V = \frac{\left(\frac{Q}{1000}\right) \times 4}{\pi \times D^2} \quad (18)$$

Em que,

$v$  é a velocidade (m/s);

$Q$  é a vazão estimada (L/s);

$d$  é o diâmetro interno da tubulação (mm).

Muitos problemas em tubulações estão associados às velocidades dos escoamentos dos líquidos nos condutos. A deposição de sedimentos na parede do tubo, por exemplo, ocorre a velocidades inferiores a 0,6 m/s. Esta deposição pode provocar incrustações de partículas na parede do tubo, reduzindo sua seção de escoamento e conseqüentemente a sua capacidade de vazão (BAPTISTA, 2010). Segundo recomendações da NBR 5626/98, as tubulações devem ser dimensionadas de modo que a velocidade da água, em qualquer trecho de tubulação, não atinja valores superiores a 3 m/s.

#### 4.2.1.5 Dimensionamento do Sistema de Recalque – Água Pluvial

O projeto nos dois prédios adotou o sistema indireto de distribuição, com bombeamento. Segundo Creder (1991), esse sistema é adotado geralmente quando a pressão é insuficiente com descontinuidade no abastecimento, o que torna necessário utilizar um reservatório inferior e superior para garantir a reservação de água, caso ocorra desabastecimento.

Uma instalação elevatória consiste no bombeamento de água de um reservatório inferior para um reservatório superior. Nesta etapa, foi determinada a vazão de sucção da bomba, ou seja, sua capacidade (Equação 19). Com (V) sendo o volume do reservatório superior em m<sup>3</sup> e tempo (t) sendo o intervalo de tempo para encher o reservatório em horas.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (19)$$

A NBR 5626/98 recomenda que, no caso de grandes reservatórios, o tempo de enchimento pode ser de até 6 horas dependendo do tipo de edifício. As recomendações são de 4 horas de funcionamento para prédios de escritórios, 5 horas para prédios de apartamentos e 6 horas para hospitais e hotéis.

Neste trabalho, como os reservatórios elevados são relativamente pequenos, foi adotado o tempo de 2,5 horas para o prédio do EMUPFA e 2 horas para cada reservatório elevado no LAESA, os quais podem trabalhar simultaneamente ou não. As instalações elevatórias devem possuir no mínimo dois conjuntos motobomba independentes para garantir o abastecimento de água no caso de falha de uma das unidades.

#### 4.2.1.6 Perda de carga localizada para as tubulações de recalque (J)

Nas instalações hidráulicas prediais, a perda de carga localizada é mais importante do que a perda de carga contínua, devido ao grande número de conexões e aparelhos, relativamente ao comprimento da tubulação (BAPTISTA, 2010). Assim, para determinação da perda de carga das tubulações de sucção e recalque, foi adotada a Equação de Hazen-Williams (Equação 20).

Adotou-se esta equação por ter apresentado melhores resultados. A equação foi desenvolvida pelo Engenheiro Civil e Sanitarista Allen Hazen e pelo Professor de Hidráulica Garden Williams. É a fórmula prática mais empregada pelos calculistas para condutos sob pressão, pelo seu amplo uso com limites de aplicação para diâmetros acima de 50 mm e velocidades de até 3 m/s para vários materiais (BAPTISTA, 2010).

$$J = \frac{10,64 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \quad (20)$$

Em que,

J é a perda de carga unitária (m/m);

Q é a Vazão (L/s);

C é o Coeficiente de Rugosidade de Tubo PVC (-);

D é o Diâmetro (mm).

#### 4.2.1.7 *Contabilização dos acessórios de tubulação e seus comprimentos equivalentes (LF)*

Nesta etapa, foram contabilizados os comprimentos equivalentes, considerando a perda de carga com as conexões dos acessórios nas tubulações. Para tanto, foi adotada a tabela disponível em Ferraz (2011), sendo multiplicado o quantitativo das peças com a sua respectiva perda de carga, obtendo, assim, seu comprimento equivalente.

#### 4.2.1.8 *Cálculo da perda de carga distribuída ( $\Delta H$ )*

Para o cálculo da perda de carga distribuída, foi adotada a Equação 21. Tal perda acontece ao longo dos tubos retos, diferentemente da perda de carga localizada, pois essa ocorre em seção constante, devido ao atrito das próprias partículas do fluido entre si. Nessa situação, a perda de carga só será considerável se houver trechos relativamente longos de condutos, pois o atrito acontecerá de forma distribuída ao longo deles (BRUNETTI, 2008).

A soma dos comprimentos equivalentes, acrescida do comprimento real é chamada de comprimento virtual ( $L_v$ ), que multiplicado pela perda de carga unitária

(J) proporciona a perda de carga de carga total ou distribuída na tubulação ( $\Delta h$ ) (BAPTISTA, 2010).

$$\Delta h = J \times L_V \quad (21)$$

Em que,

$\Delta h$  é a perda distribuída (m/m);

J é a perda de carga unitária (m/m);

$L_V$  é o comprimento virtual (m).

#### 4.2.1.9 Altura Manométrica

As bombas são projetadas para trabalhar com vazões e alturas manométricas previamente estabelecidas. A determinação desta variável é de fundamental importância para a seleção da bomba hidráulica adequada ao sistema em questão. Matematicamente, é a soma da altura geométrica (diferença de cotas) entre os níveis de sucção e descarga do fluido, com as perdas de carga distribuídas e localizadas ao longo de todo o sistema (altura estática + altura dinâmica) (FERRAZ, 2011).

Portanto, os sistemas elevatórios devem vencer a diferença de nível entre o ponto de sucção e o ponto de recalque, mais as perdas de carga da tubulação e acessórios. A altura manométrica foi determinada pela equação 22 (AZEVEDO NETTO, 1998).

$$H_{man} = H_S + H_r + Hf_S + Hf_r \quad (22)$$

Em que,

$H_{man}$  é a altura manométrica, que corresponde a perda de carga total (m)

$H_s$  é a altura de sucção (m);

$H_r$  é a altura de recalque (m);

$Hf_s$  é a perda de carga na sucção (m);

$Hf_r$  é a perda de carga no recalque (m);

#### 4.2.1.10 Potência provável da bomba

No método matemático adotado no Netuno, a bomba hidráulica deve ter sua potência dada em CV (cavalo vapor). Portanto, adotou-se a Equação 23, que está disposta no Manual de Hidráulica (AZEVEDO NETO, 1998).

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H_{man}}{75 \times \eta} \quad (23)$$

Em que,

$\gamma$  é o Peso específico da água (kgf/m<sup>3</sup>)

Q é a Vazão (m<sup>3</sup>/s);

H<sub>man</sub> é a Altura Manométrica (m);

$\eta$ : Rendimento da bomba (Bibliografias de hidráulica recomendam o uso de 67% de rendimento).

#### 4.2.1.11 Pressão estática e dinâmica

De acordo com a Norma 5626/98, em condições dinâmicas, a pressão da água nos pontos de caixa de descarga a pressão pode ser de até um mínimo de 5 kPa (0,5 mca). A pressão estática não pode ser maior que 40 mca. A pressão disponível é calculada através da equação 24.

$$PD = PE - \Delta Hf \quad (24)$$

Em que

PE é a pressão estática

$\Delta Hf$  é a somatória das perdas de carga.

#### 4.2.1.12 Cavitação

A cavitação é o fenômeno de cavas num líquido devido ao abaixamento da pressão para valor menor ou igual à pressão de vapor. Nesse caso, parte deste se vaporiza, formando bolhas. Deste modo, para não haver cavitação, é necessário que

a pressão reinante no líquido seja superior à pressão de vapor. Portanto, para análise de cavitação em bombas, é aplicado a equação de Bernoulli, entre os pontos (0) e (1), conforme Equação (25).

O ponto (0) está localizado na superfície do nível d'água de um reservatório sujeito a pressão atmosférica e o ponto (1) corresponde ao local de menor pressão na instalação de recalque. No caso das bombas centrífugas, este ponto está localizado na região de entrada do rotor, ou seja, antes de receber a energia cinética do movimento do rotor e logo após o escoamento ter perdido carga na sucção e na entrada da bomba, onde podem surgir bolhas microscópicas de vapor de água (BAPTISTA, 2010).

$$Z_0 = \frac{P_0}{\gamma} + \frac{U_0^2}{2g} = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} + \Delta h_{0-1} \quad (25)$$

Com base na Equação 25, considera-se que:

- $Z_1 - Z_0 = h_s$
- Reservatório de sucção está sujeito à pressão atmosférica, ou seja,  $P_0 = P_{atm}$ ;
- A velocidade na superfície de água do reservatório é desprezível ( $U_0 = 0$ );
- A perda de carga entre 0 e 1 ( $\Delta h_{0-1}$ ) é a soma das perdas de carga na tubulação de sucção ( $\Delta h_s$ ) e no trecho compreendido entre o fim desta tubulação e a entrada do rotor ( $\Delta h$ ), ou seja,  $\Delta h_{0-1} = \Delta h_s + \Delta h$ ;
- A cavitação inicia quando a pressão no ponto 1 é igual a pressão de vapor ( $P_1 = P_v$ ).

Desta forma, a equação 25 transforma-se na equação 26 que dá o valor da altura de sucção, a partir da qual há formação das bolhas de vapor.

$$h_s = \frac{P_{atm}^{abs}}{\gamma} - \left( \frac{P_v^{abs}}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} + \Delta h_s + \Delta h \right) \quad (26)$$

Vale a pena ressaltar que na Equação 26 somente a pressão atmosférica tem sinal positivo, mostrando que esta grandeza facilita a sucção, enquanto as demais grandezas, de sinal negativo, dificultam. Portanto, para que não haja cavitação é necessário posicionar o eixo da bomba numa altura inferior à altura  $h_s$  (tubulação de sucção). Outra maneira de se verificarem as condições de cavitação é separando na Equação 26, os termos que dependem da instalação ou do líquido bombeado dos

termos que dependem da bomba, constituindo, assim, os lados, esquerdo e direito (Equação 27).

$$\frac{p_{atm}^{abs}}{\gamma} - \left( h_s + \frac{p_v^{abs}}{\gamma} + \Delta h_s \right) = \frac{U_1^2}{2g} + \Delta h \quad (27)$$

O lado esquerdo da equação, é normalmente denominado NPSH<sub>d</sub> (disponível), e representa a carga existente na instalação para permitir a sucção do fluido. O lado direito da Equação 27 recebe a denominação de NPSH<sub>r</sub> (requerido), e é interpretado fisicamente como sendo a carga energética que a bomba necessita para succionar o líquido sem cavitatar. O lado direito da equação 27 mostra que o NPSH, depende da velocidade e, conseqüentemente, aumenta com a vazão. Para que não ocorra cavitação na bomba, o NPSH<sub>r</sub> deve ser menor que o NPSH<sub>d</sub>. O NPSH<sub>r</sub> está contido no catálogo da bomba, por meio de um gráfico em função da vazão. Portanto, o NPSH<sub>d</sub> é obtido a partir da equação 28 (antes era o lado esquerdo da equação 27).

$$NPSH_d = (P_o - P_v)/\gamma - h_s - \Delta h_s \quad (28)$$

Em que,

P<sub>o</sub>: Pressão atmosférica local (mca);

h<sub>s</sub>: Altura de sucção (m);

Δh<sub>s</sub>: Perda de carga na sucção (m);

P<sub>v</sub>: Pressão de vapor do fluido (m).

#### 4.2.2 Análise econômica via NETUNO 4.0

Para a modelagem econômica no programa *Netuno* 4.0, são necessários alguns dados de entrada: período para análise, taxa de inflação, reajustes das tarifas de água e energia elétrica, tarifa de cobrança de água potável, custos de construção e manutenção do sistema e taxa mínima de atratividade do investimento. Os dados de saída são: o tempo de retorno do investimento, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno.

Para avaliar as economias geradas pelo consumo de água pluvial na edificação e o percentual de redução nos custos na conta de água na cidade universitária, foi feito um levantamento junto à prefeitura da UFPA, de forma a se obter o valor do m<sup>3</sup> de água tratada na ETA. Foi informado que não há estudos precisos para determinação de todos os custos para o tratamento de água na ETA da universidade, porém, Silva (2012) encontrou um valor de 0,40 R\$/m<sup>3</sup> de água tratada na ETA e esses valores não foram atualizados desde então.

Para determinação da tarifa de água da concessionária, foi consultado o site da COSANPA, o qual disponibiliza as tarifas em função da categoria e faixa de consumo para o ano de 2017. Para categoria pública, o consumo entre 0-10 m<sup>3</sup> é cobrado uma taxa de R\$ 5,89/m<sup>3</sup>, acima de 10 m<sup>3</sup>, o valor é de R\$ 7,35/m<sup>3</sup>.

A determinação dos custos com energia elétrica devido à utilização do conjunto motobomba, considera-se como dados de entrada a potência unitária da bomba; rendimento, vazão, tempo de partida, custo unitário de cada bomba; a tarifa de energia elétrica, imposto fixo, imposto variável. A tarifa de energia utilizada neste trabalho foi de R\$ 0,56554/kWh (CELPA, 2016), e considerou-se somente o imposto variável definido em 29,5% (ANEEL, 2017).

Em relação ao período de análise, comparou-se a vida útil de sistema de captação de água da chuva aos sistemas hidráulicos prediais que é de 20 anos (DIAS *et al.* 2007). Portanto, o período de análise do fluxo de caixa foi definido em 20 anos.

Como parte integrante da análise econômica no Netuno, a inserção da tarifa é feita escolhendo entre “Abaixo de”, “Entre” e “Acima de”, até que todas as faixas sejam preenchidas. A economia financeira proporcionada pelo aproveitamento de água pluvial em um dado mês  $i$  é calculada por meio da Equação 29.

$$E_{\text{água}}^i = C_{\text{total}}^{\text{sem pluv}} - C_{\text{total}}^{\text{com pluv}} \quad (29)$$

Em que:

$E_{\text{água}}^i$  é a economia em um dado mês  $i$ , em R\$;

$C_{\text{total}}^{\text{sem pluv}}$  é o custo total da conta de água sem aproveitamento de água pluvial (R\$);

$C_{total}^{com\ pluv}$  é o custo total da conta de água com aproveitamento de água pluvial (R\$).

#### 4.2.2.1 *Custo de construção e manutenção*

Foi elaborado o projeto de instalações prediais de águas pluviais no edifício do LAESA e do EMUFPA para quantificação dos componentes do sistema. Foram informados ao programa computacional Netuno todos os custos de construção, operação e manutenção. Para avaliar a estimativa de tais custos, foi utilizada a planilha SINAPI do mês de abril de 2017.

Para determinação dos custos, foram considerados os materiais e equipamentos necessários, desde a coleta até a distribuição da água de chuva nos aparelhos sanitários, tais como as calhas, os condutores verticais e horizontais, o conjunto motobomba, a caixa de areia para remoção de materiais grosseiros presentes no telhado, os filtros de água pluvial, o reservatório superior em polietileno e o inferior em alvenaria e a mão de obra.

#### 4.2.2.2 *Taxa mínima de atratividade*

A Taxa Interna de Retorno tem de ter uma grandeza maior do que a TMA (Taxa Mínima de Atratividade), que seria uma expectativa mínima, expressa não em (R\$), como na VPL, mas sim em percentual. A grandeza da TMA é elástica e depende de muitos fatores (ICHIHARA; DUARTE, 2008).

Foi estimada uma TMA calculada a partir da média aritmética dos últimos três anos (2015-2017) do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (IPCA), medido mensalmente pelo IBGE. Este índice foi determinado com o objetivo de oferecer a variação dos preços no comércio para o público final. O IPCA é utilizado pelo Banco Central como medidor oficial da inflação do país. O governo usa este índice como referência para verificar se a meta estabelecida para a inflação está sendo cumprida.

Os principais indicadores de tomada de decisão para análise de investimento simulados no Netuno 4.0 e utilizados neste trabalho são descritos a seguir, os quais foram definidos por Cordova e Ghisi (2014).

#### 4.2.2.3 Tempo de retorno do investimento

Para calcular o tempo de retorno, o Netuno realiza as simulações utilizando o método conhecido como *payback* descontado, que leva em consideração a taxa mínima de atratividade, ou seja, o tempo de retorno refere-se ao conjunto do investimento realizado com o retorno mínimo definido pelo usuário (CORDOVA, 2009).

#### 4.2.2.4 Valor Presente Líquido – VPL

O programa calcula o Valor Presente (VP) de cada período do projeto de captação de água da chuva; e realiza a somatória algébrica do VP subtraindo-se do investimento inicial, com a finalidade de verificar o quanto está somando ou perdendo valor ao longo da vida útil do sistema. Esta análise é denominada de valor presente líquido (VPL) (HIRSCHFELD, 2010). Para o referido cálculo, é necessário inserir o valor da inflação definida em %/mês. O valor adotado foi de 0,28% ao mês (IPCA, 2017). Calcula-se o Valor Presente Líquido por meio da Equação 30.

$$VPL(t) = -I_0 + \sum_{n=1}^t \frac{VP(n)}{(1+i)^n} \quad (30)$$

Em que:

$I_0$  é o custo de construção do sistema de captação de água pluvial, em (R\$);

$n$  é o período (mês) para qual o cálculo contido no somatório está sendo realizado;

$VP(n)$  é o fluxo de caixa no período  $n$ , ou seja, a diferença entre a economia no consumo de água e os custos de manutenção do sistema (R\$);

$i$  é a taxa de desconto (adimensional).

#### 4.2.2.5 Taxa interna de retorno - TIR

Segundo Motta et al. (2009) a Taxa Interna de Retorno (TIR) representa à taxa de desconto que zera o valor presente líquido de um projeto. Brom e Balian (2007) também informam que a taxa interna de retorno de um investimento representa a taxa média de retorno de um investimento de modo a repor o investimento realizado. O

cálculo realizado no Netuno para definir a taxa interna de retorno (TIR) é expresso na Equação 31.

$$-I_0 + \sum_{n=1}^T \frac{VP(n)}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (31)$$

Em que,

$I_0$  é o custo de construção do sistema de captação de água pluvial, em (R\$);

$n$  é o período para qual o cálculo contido no somatório está sendo realizado;

$VP(n)$  é o fluxo de caixa líquido no período  $n$ , ou seja, a diferença entre a economia no consumo de água e os custos de manutenção do sistema (R\$);

$T$  é o tempo total da análise (meses);

$TIR$  é a taxa interna de retorno (adimensional).

Logo, a avaliação da viabilidade econômica de investimentos, comumente envolve um conjunto de métodos, não sendo recomendado utilizá-los de forma isolada, pois é interessante que se obtenha resultados advindos de dois ou mais métodos, simultaneamente, considerando uma taxa mínima de atratividade (DUARTE; ICHIHARA, 2008).

Desta forma, normalmente os métodos mais empregados são: Payback descontado, a TIR e/ou o VPL. Para a análise qualitativa referente a viabilidade econômica dos sistemas, consideraram-se os 3 (três) indicadores supracitados, em que o Payback não deve ser maior que o tempo de vida útil do sistema de captação de água da chuva definido em 20 anos; a taxa interna de retorno não poderá ser menor que a taxa mínima de atratividade do sistema e o VPL deverá apresentar-se positivo ou neutro.

O VPL maior que zero (positivo) significa que o investimento é economicamente atrativo, pois o valor presente das entradas de caixa é maior do que o valor presente das saídas de caixa. No VPL igual a zero, o investimento é neutro, pois o valor presente das entradas de caixa é igual ao valor presente das saídas de caixa. E, o VPL menor que zero indica que o investimento não é economicamente

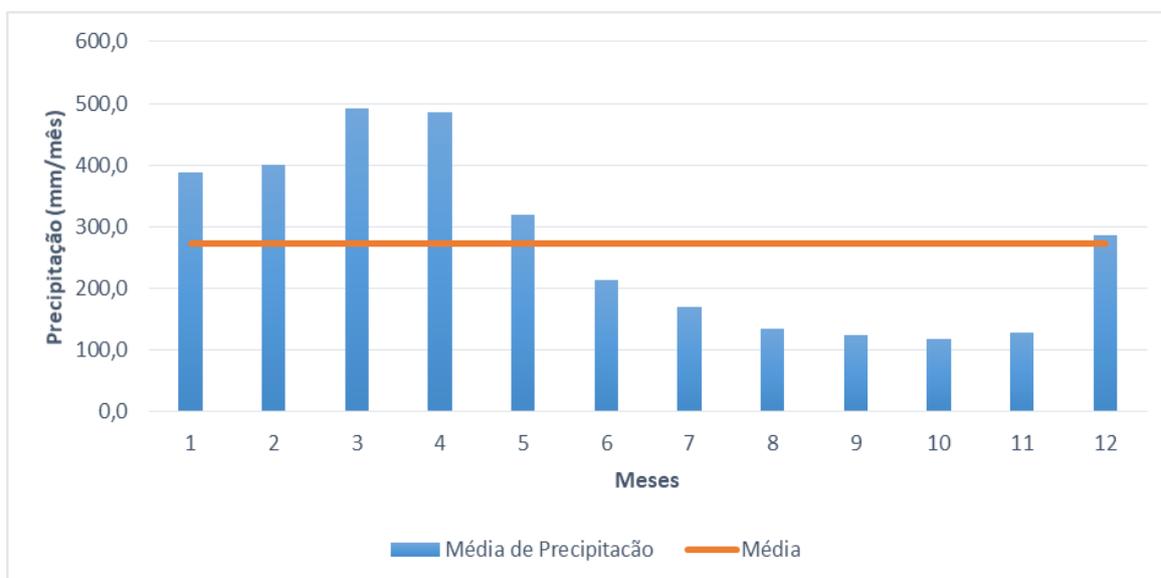
atrativo, porque o valor presente das entradas de caixa é menor do que o valor presente das saídas de caixa (CASAROTTO; KOPPITKE, 2000).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 1º ETAPA – DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

#### 5.1.1 Análise dos dados de precipitação

Observa-se na Figura 14 que no período entre dezembro e maio, ocorre o período chuvoso na região, com um volume médio precipitado maior que a média de precipitação representada pela linha vermelha, com 272 mm/mês. Os menores volumes (abaixo da média) ocorrem de junho a novembro, representando o período menos chuvoso. O mês de outubro é o mais seco, com uma média de 118,9 mm, e março é o mais chuvoso, com média de 492,7 mm. O mês de dezembro possui um volume precipitado um pouco acima da média mensal, com 286 mm/mês.



**Figura 13 - Média das precipitações mensais na cidade de Belém (1996-2015)**

Fonte: INMET (2016)

Na Tabela 5, observa-se que a média de precipitação no município de Belém é de 272 mm/mês, com desvio padrão de 157 mm, e variação em relação à média de 58% (variação mediana).

**Tabela 5 - Estatística descritiva em (mm/mês)**

<i>Estatística descritiva</i>	
<b>Média</b>	272,02
<b>Erro padrão</b>	10,19

<b>Mediana</b>	238,05
<b>Modo</b>	294,10
<b>Desvio padrão</b>	157,92
<b>Variância</b>	24939,00
<b>Mínimo</b>	8,20
<b>Máximo</b>	742,50
<b>Soma</b>	65285,10

O histórico apresentou um valor máximo de precipitação de 742,5 mm, registrado em março de 2012, o que corresponde ao maior total mensal já registrado no mês de março desde 1985, ultrapassando assim o antigo recorde que era de 685,6 mm, registrado em março de 2006 (INMET, 2012). O volume mínimo de 8,2 mm, encontrado em outubro de 1997, pode estar relacionado com o evento EL Niño observado nesse período, que provocou um forte período seco na região Amazônica (MOURA e VITORINO, 2010; INPE/CEPTEC, 2009).

No histograma de precipitação (Figura 15), foi possível verificar que a classe de volume precipitado que mais se repetiu na maioria do tempo analisado corresponde a 156 mm/mês. Por meio da frequência relativa acumulada, assume-se que em aproximadamente 35% do tempo ocorrerá um volume igual ou menor que esse, ou seja, em 65% do tempo é possível observar volumes maiores que 156 mm/mês.

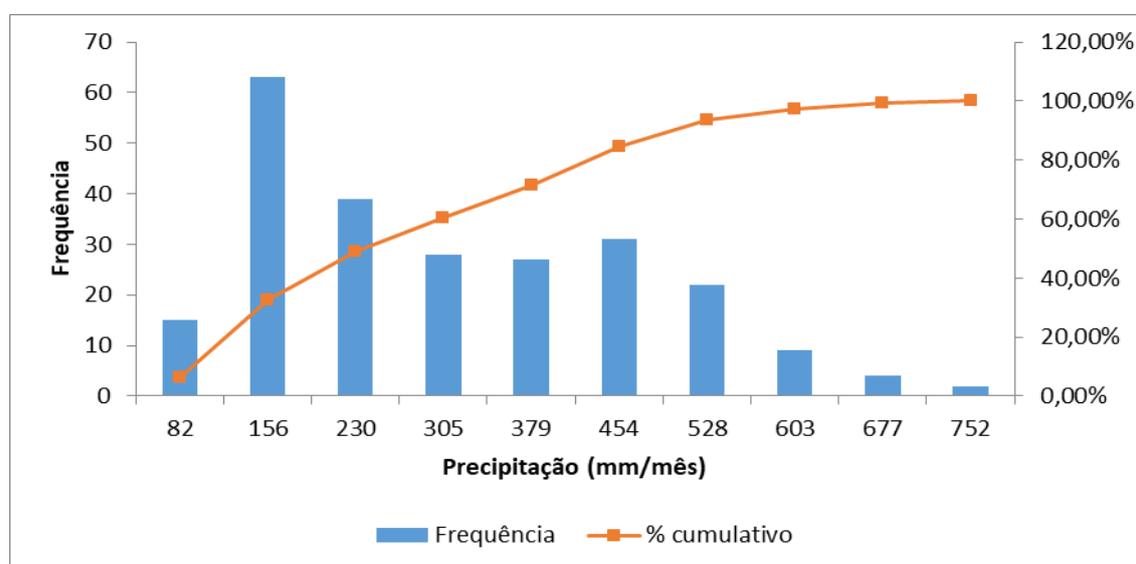


Figura 14 - Histograma de classe e distribuição de frequência dos dados pluviométricos

Conforme observado na análise dos dados de precipitação da cidade de Belém/PA, os dados demonstram a viabilidade técnica de se aproveitar a água da chuva, considerando a disponibilidade hídrica da região. De toda forma, esse fato era esperado, pois, segundo a classificação de Koppen (1936), Belém está no tipo Afi, que pertence a categoria de clima chuvoso, com poucas estações secas. As principais características do clima de Belém, em termos médios anuais, são de temperatura do ar em 26,7 °C, umidade relativa 84%, precipitação pluviométrica 3.001 mm e 2.338 horas de brilho solar (EMBRAPA, 2002; ALVARES *et al.*, 2014).

### 5.1.2 Estimativa da Demanda de Água nas Edificações

#### 5.1.2.1 Consumo de água no EMUFPA

Foram entrevistados alunos, professores e funcionários, conforme apresentado na Tabela 6. Na entrevista com os alunos, foi extraída uma amostra de pessoas com erro amostral de 10%. Os questionários foram aplicados durante cinco dias (dias úteis de uma semana) com perguntas sobre a utilização da água potável e não potável no prédio.

**Tabela 6 - Amostra entrevistada**

<b>Público</b>	<b>Nº da amostra</b>	<b>Percentual (%)</b>
<b>Professores</b>	17	14,66
<b>Alunos</b>	83	71,55
<b>Funcionários</b>	16	13,79
<b>Total</b>	<b>116</b>	<b>100</b>

Os aparelhos sanitários, como os vasos sanitários, são do tipo bacia de descarga com caixa acoplada, que possuem um volume de 6 L/acionamento. Os mictórios possuem válvula de descarga e as torneiras são de acionamento automático, com vazão de 8 L/s.

Para determinação da vazão dos mictórios, adotou-se a vazão recomendada pela norma NBR 5626/98, que indica 0,15 L/s. Para torneiras, utilizou-se 0,1 L/s e para bebedouros 0,02 L/s, os quais foram determinados empiricamente, calculando-se a vazão volumétrica.

O consumo de água per capita é apresentado na Tabela 7, destacando que cada grupo possui tempo de jornada diferente. O maior per capita foi dos funcionários, que incluem técnicos administrativos, estagiários, porteiros, vigilantes e limpeza. Os maiores consumidores de água são os funcionários, seguido dos professores e alunos.

**Tabela 7 - Consumo per capita de água**

<b>Usuário</b>	<b>Médio (L/dia.usuário')</b>
<b>Funcionários</b>	28,70
<b>Alunos</b>	17,44
<b>Professores</b>	20,20
<b>Médio</b>	22,10

Na Tabela 8, foram agrupados todos os pontos de consumo com seus respectivos percentuais, bem como o volume médio per capita. O per capita médio, considerando os diferentes tipos de usuários, foi de 22,1 L/dia.usuário, valor próximo do encontrado por Salla *et al.*, (2013), com per capita entre 20 a 30 L/dia.alunos na Universidade Federal de Uberlândia.

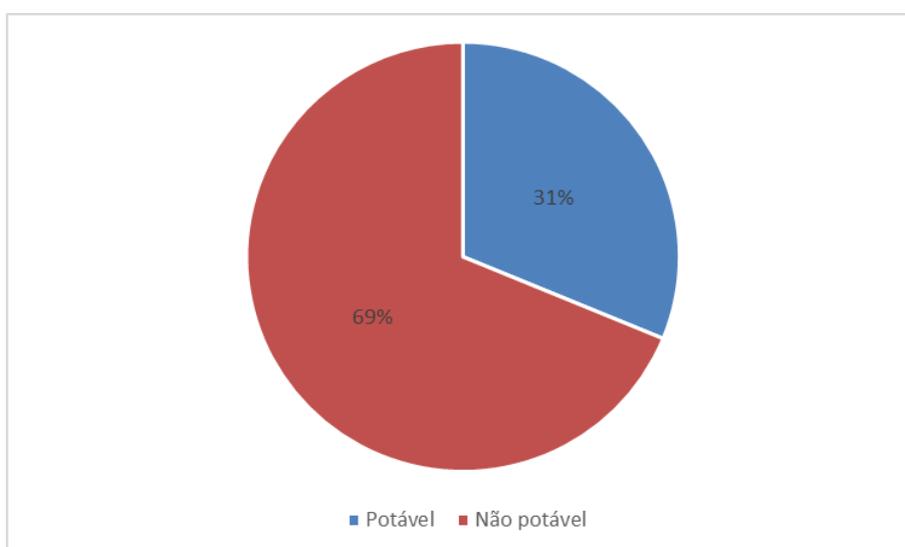
Fasola *et al.*, (2011) encontraram um volume per capita de 28,8 L/dia.pessoa em uma escola municipal de Florianópolis, e 25,3 L/dia.pessoa na Estadual. Segundo Tomaz (2001b), o consumo médio de água para escolas e universidades varia de 10 a 50 L/dia/aluno, e 210 L/dia por empregado, sendo que este consumo é distribuído em diversos usos, variando conforme a tipologia da edificação.

**Tabela 8 - Consumo total de água potável e não potável por aparelho no EMUFPA**

Aparelhos	Consumo Médio	
	m <sup>3</sup> /dia	Percentual
Torneiras do Banheiro	0,70	31,22%
Bacias Sanitárias e Mictórios	1,18	52,65%
limpeza em geral	0,36	16,12%
Total por dia	2,20	100%
Potável	0,70	-
Não potável	1,58	-
Total mensal	67	-

Conforme apresentado na Tabela 8, o maior consumo de água não potável é destinado aos usos dos vasos sanitários e mictórios, seguido da limpeza. O volume total registrado por meio das entrevistas, foi de 67 m<sup>3</sup>/mês. Os valores de demanda encontrados nas entrevistas foram comparados com as contas de água, e o valor médio registrado pela concessionária foi de 66 m<sup>3</sup>/mês, com um máximo de 71 m<sup>3</sup>/mês e o mínimo de 63 m<sup>3</sup>/mês. Portanto, o valor encontrado de 67 m<sup>3</sup>/mês, está dentro do intervalo observado no hidrômetro instalado na edificação.

Conforme observado na Figura 16, o volume médio de água potável, que inclui o consumo em torneiras, representa 31% e o não potável (limpeza, bacias sanitárias e mictórios) 69%. Portanto, a parcela que será substituída por água pluvial é a demanda não potável, que representa o maior consumo no prédio.

**Figura 15 - Consumo médio de água potável e não potável no EMUFPA**

### 5.1.2.2 Consumo de água no LAESA

Foram entrevistados, professores, funcionários e alunos. Em relação aos alunos, foi entrevistada uma amostra de 80 pessoas, considerando um erro amostral de 10%. A amostra foi determinada somente para a população de alunos, devido ser a maior. Os questionários foram aplicados durante cinco dias (dias úteis de uma semana) com perguntas sobre a utilização da água potável e não potável no prédio. Na Tabela 9 são apresentados o número e percentual de participantes na pesquisa.

Ressalta-se que, apesar de ter sido entrevistado 10% do número de alunos (80), foi considerada na simulação do Netuno toda a população de alunos, uma vez que a maioria deles são usuários efetivos de água, os quais representam 376 pessoas, de um total de 401. Todos os 7 funcionários foram entrevistados. Dos 18 professores lotados no LAESA, foi possível entrevistar 11 deles.

**Tabela 9 – Amostra entrevistada**

<b>Público</b>	<b>Nº da amostra</b>	<b>Percentual (%)</b>
<b>Professores</b>	11	11,22
<b>Alunos</b>	80	81,63
<b>Funcionários</b>	7	7,15
<b>Total</b>	<b>98</b>	<b>100</b>

Os funcionários são os maiores consumidores de água do LAESA, seguido dos alunos (Tabela 10). Os valores de demanda estimados não puderam ser comparados com o consumo real, devido à inexistência de hidrômetros na edificação. No entanto, os valores se apresentaram coerentes.

**Tabela 10 – Consumo per capita de água**

<b>Usuários</b>	<b>Médio (L/dia.usuário)</b>
<b>Funcionários</b>	14,1
<b>Alunos</b>	13,32
<b>Professores</b>	12,39
<b>Médio</b>	13,24

Ao fazer o levantamento, verificou-se que os vasos sanitários são do tipo bacia de descarga com caixa acoplada, possuindo um volume de 6 L/acionamento, e as torneiras são do tipo válvula de descarga sem acionamento automático, bem como os

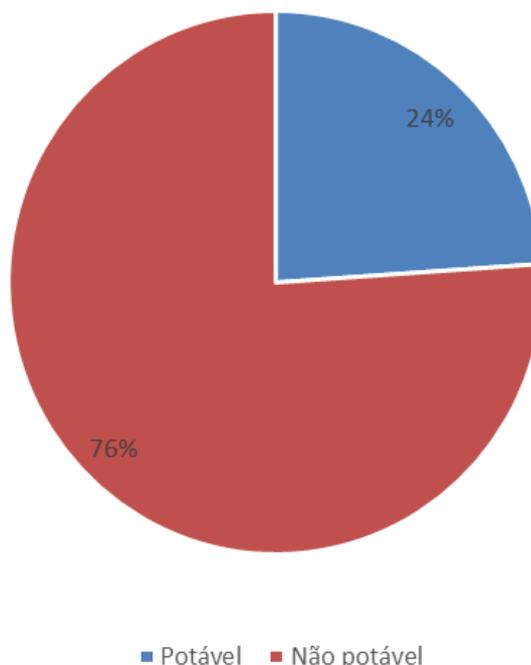
mictórios. Segundo Barreto (2008), as bacias com caixa acopladas é o aparelho sanitário que mais consome água, comparado aos de válvula de descarga sem acionamento automático.

Na Tabela 11, foram agrupados todos os pontos de consumo com seus respectivos percentuais, bem como o per capita. O consumo *per capita* do prédio foi de 13,7 L/dia.usuário, valor aproximado do encontrado por Marinoski e Ghisi (2008), que foi de 15,5 L/dia.usuário em uma instituição de ensino em Florianópolis. Essa instituição possuía uma população maior e algumas atividades, como lavagem de grande quantidade de louças e preparação de alimentos, atividades realizadas em menor proporção no LAESA. Pode-se observar que o maior consumo de água não potável é destinado ao uso dos vasos sanitários e mictórios, seguido da limpeza.

**Tabela 11 - Consumo total de água potável e não potável por aparelho no LAESA**

Aparelhos	Consumo Médio	
	m <sup>3</sup> /dia	Percentual
Torneiras do Banheiro	0,89	22%
Bacias Sanitárias e Mictórios	2,97	73%
limpeza em geral	0,10	3%
Bebedouro	0,09	2%
Total por dia	4,10	100%
Consumo potável	0,98	-
Consumo não potável	3,07	-
Consumo total mensal	121,50	-

Na Figura 17 é apresentado o percentual de consumo de água potável e não potável no LAESA. O volume médio de água não potável (limpeza, bacias sanitárias e mictórios) é igual a 3,07 m<sup>3</sup>/dia (76%). Esse percentual também foi encontrado por Kammers e Guisi (2006), Marinoski e Ghisi (2008) e Proença e Ghisi (2010). Por esta questão, o aproveitamento de águas pluviais é importante para reduzir a dependência do fornecimento de água centralizado para este abastecimento, reduzindo custos de manutenção, de operação e de infraestrutura pública (GURUNG; SHARMA, 2014; SILVA *et al.*, 2015).



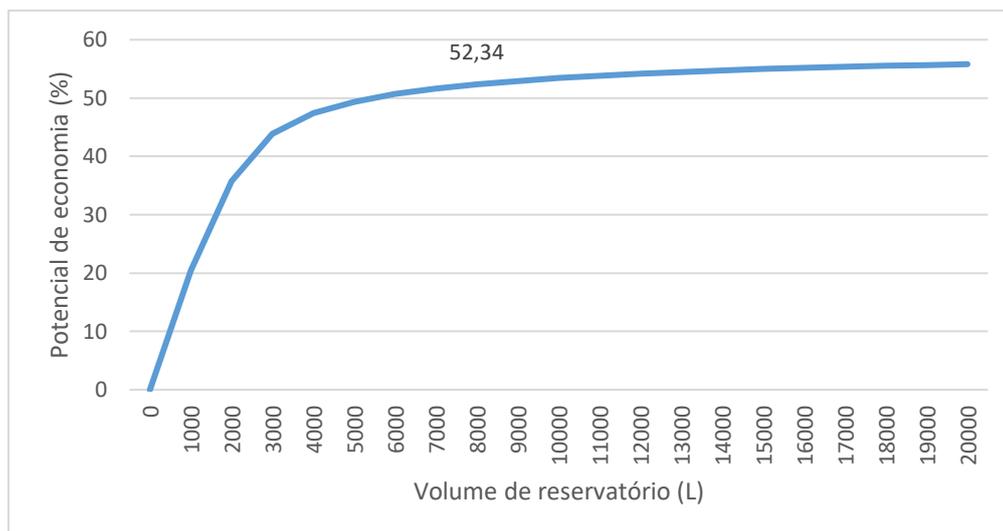
**Figura 16 - Consumo médio de água no LAESA**

### 5.1.3 Dimensionamento dos reservatórios do EMUFPA e LAESA

#### 5.1.3.1 Dimensionamento do reservatório inferior do EMUFPA

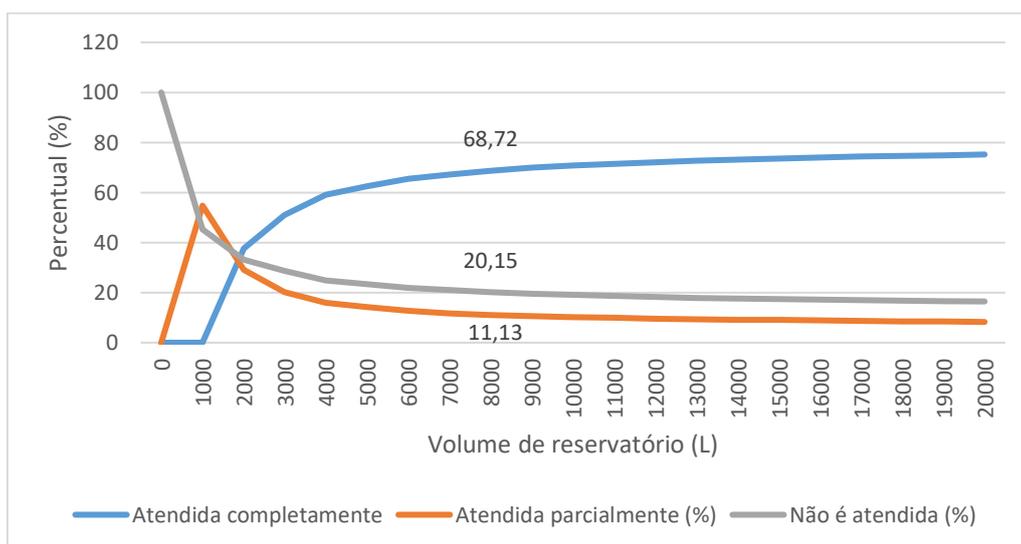
O volume ideal indicado pelo modelo foi de 8.000 L, com economia média de 52% (Figura 18). O percentual de uso da água não potável na EMUFPA é de 69%, portanto, calculando-se a razão entre o potencial médio de economia e o percentual de usos não potáveis do prédio, obtém-se o potencial real economia de água potável, que neste caso, foi de 76%. Esta edificação terá, em média, 76% de economia na conta de água.

Conforme constado no trabalho de Imteaz *et al.*, (2011), ao simularem o dimensionamento de reservatórios para áreas de captação de 150-300 m<sup>2</sup>, verificaram que houve 100% de eficiência para reservatórios de 5000 a 10000 L, ao considerar baixas demandas. Resultado similar ao encontrado neste trabalho, pois, no EMUFPA, a área é de 300 m<sup>2</sup> e a demanda não potável é de 1.580 L/dia, o que viabiliza o aproveitamento de água da chuva para o atendimento da demanda não potável.



**Figura 17 - Potencial de economia e água potável em função do volume do reservatório**

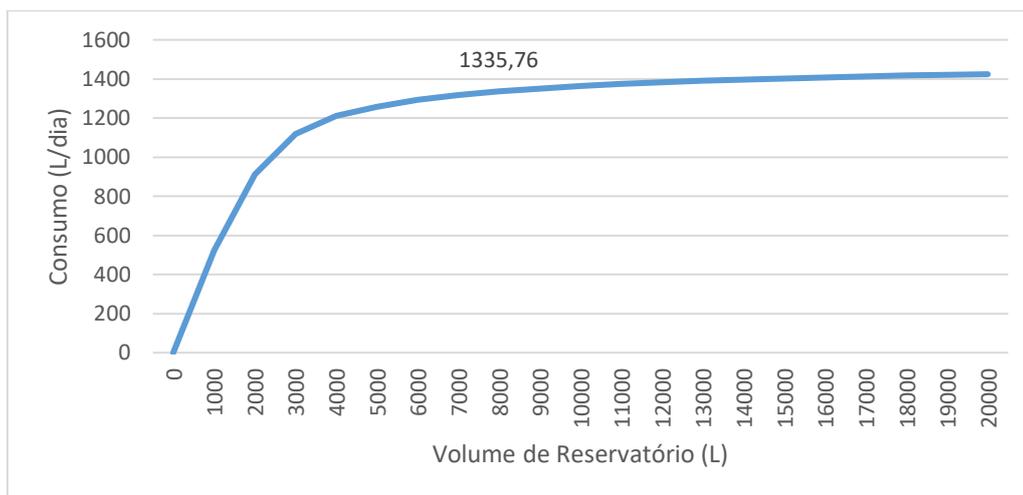
Na Figura 19 é apresentado o percentual de atendimento por água da chuva em função do volume do reservatório. Verifica-se que o percentual de atendimento completo é de 68,72% para o reservatório de 8.000 L, com atendimento parcial em 11% dos dias simulados, e sem atendimento em 20% dos dias, ou seja, em apenas 20% do tempo simulado não houve registro de precipitação.



**Figura 18 - Percentual de atendimento de água em função do volume do reservatório**

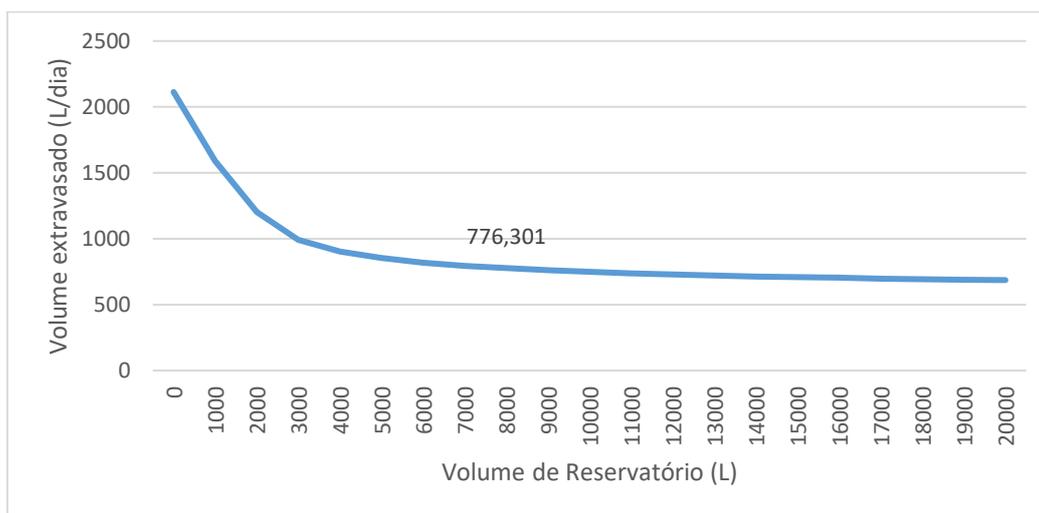
Na Figura 20 é apresentada a variação do consumo de água da chuva em função do volume do reservatório. Observa-se que o consumo é de 1.335 L/dia, considerando o volume ideal de 8.000 L. Ressalta-se que a demanda total encontrada na edificação é de 2.200 L/dia, sendo 1.580 L/dia para uso não potável. O valor médio

de consumo de água pluvial encontrado na simulação representa 84,49% da demanda não potável da edificação.



**Figura 19 - Consumo de água em função do tamanho do reservatório**

Na Figura 21 é apresentado o volume de chuva extravasado em função do volume do reservatório, o qual apresentou uma média de 776,30 L/dia. No EMUFPA a área de cobertura é de 300m<sup>2</sup>, isto faz com que apresente uma demanda unitária de 7,33 L/dia.m<sup>2</sup>, totalizando um consumo máximo de 2.200 L/dia, portanto, valores excedentes a esse serão extravasados.

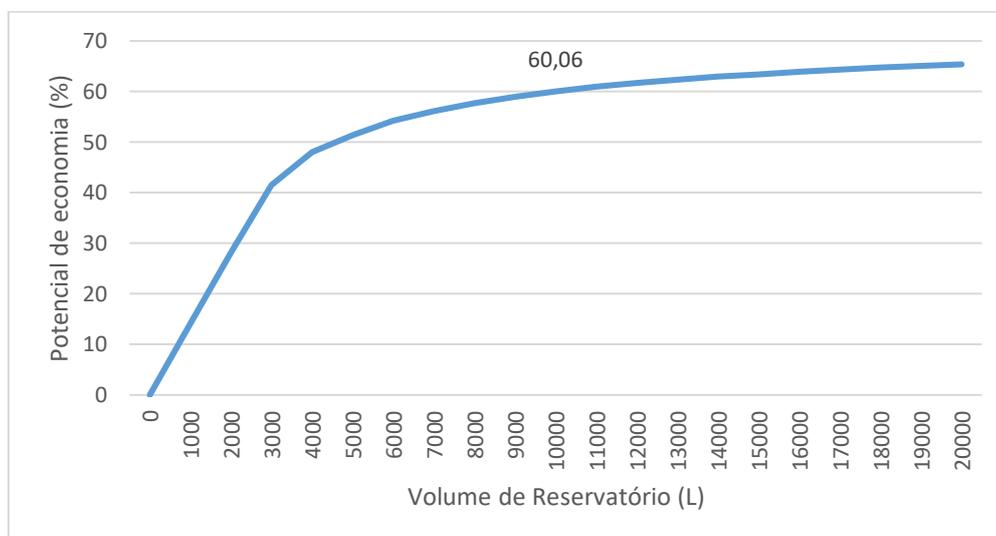


**Figura 20 - Volume extravasado em função do volume do reservatório**

### 5.1.3.2 Dimensionamento do reservatório inferior do LAESA

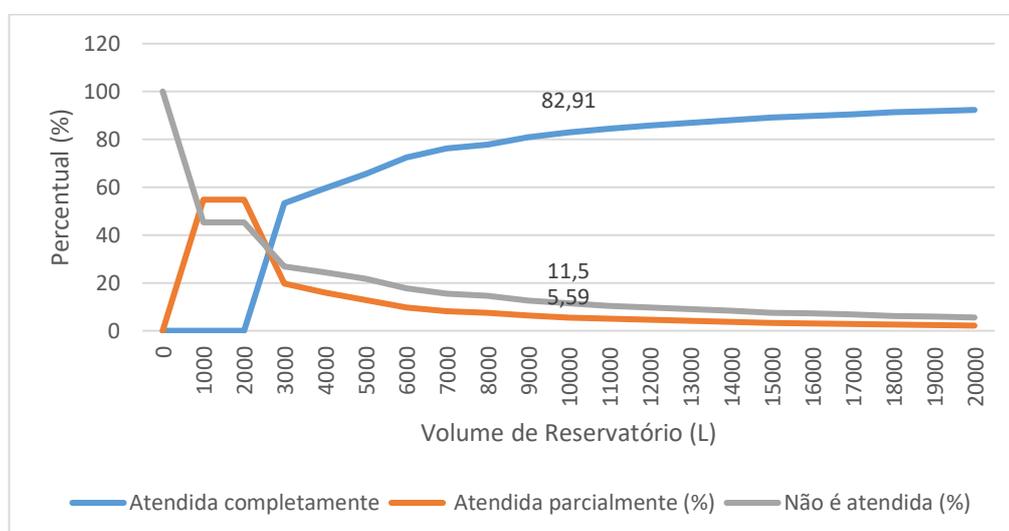
Ao realizar a simulação para diversos volumes, o modelo indicou como sendo o volume ideal de reservatório 10.000 L, com potencial de economia médio de 60,06%, conforme apresentado na Figura 22. O percentual de uso da água não potável na

LAESA é de 76%, portanto, calculando-se a razão entre o potencial médio de economia e o percentual de usos não potáveis, obtém-se o potencial real de economia de água potável, que foi de 80%. Portanto, verifica-se que, em média, 80% da demanda não potável será atendida.



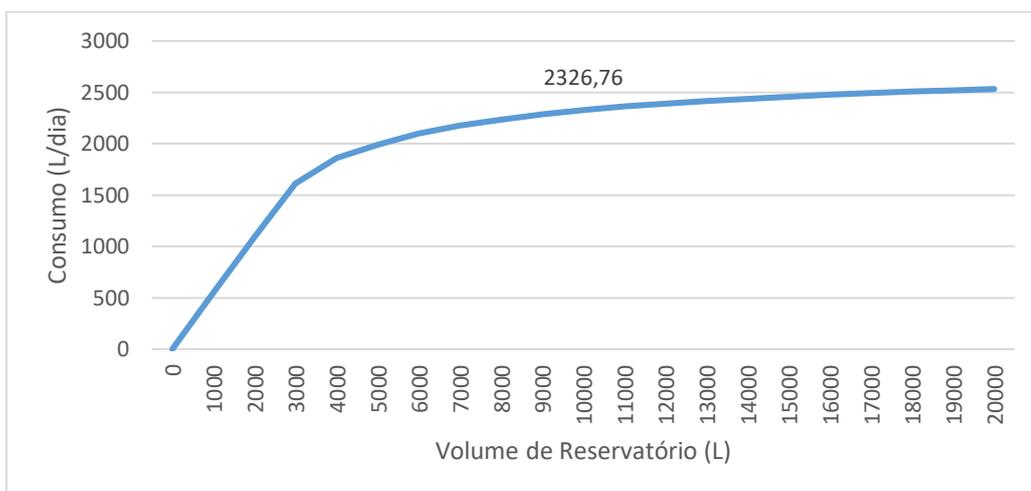
**Figura 21 - Potencial de economia de água potável em função do volume de reservatório**

Conforme se observa na Figura 23, a demanda é completamente atendida em 82,91% dos dias simulados, com atendimento parcial em 5,59%, casos em que o volume disponível no reservatório foi menor que a demanda, e atendimento nulo em 11,5%, ou seja, nestes dias não houve ocorrência de precipitação. Para esses casos de atendimento parcial e nulo, é necessário o suprimento de água pela ETA.



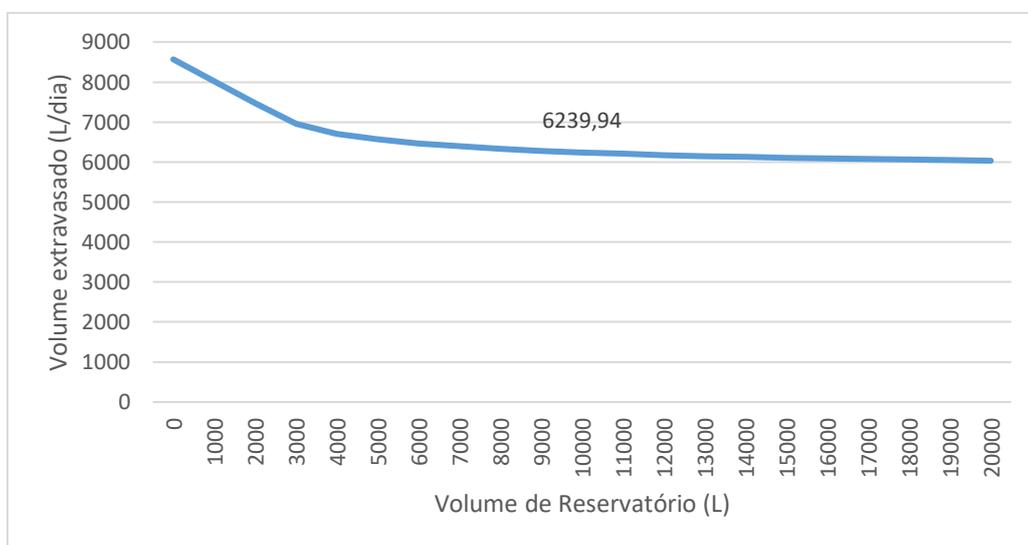
**Figura 22 - Percentual de atendimento da demanda por água pluvial em função do reservatório do LAESA**

Conforme apresentado na Figura 24, verifica-se que no LAESA o consumo de água pluvial, em média, é de 2326,76 L/dia, ao considerar o reservatório de 10.000 L. Esse volume médio representa 58,15% da demanda por água não potável no prédio da LAESA.



**Figura 23 - Consumo de água pluvial em função do volume de reservatório**

Na Figura 25 é apresentado o volume extravasado em função do volume do reservatório. Ao considerar o reservatório de 10.000 L, a média de volume extravasado foi 6239,94 L/dia. Este parâmetro expressa o volume de água pluvial que escoou pela superfície de captação em um dado dia, somado com volume de água pluvial disponível no reservatório, o que resulta no volume extravasado.



**Figura 24 - Volume extravasado em função do volume do reservatório**

O comportamento da curva de extravasamento apresenta-se de forma assintótica, pois, o volume extravasado mantém-se estável a partir de 5.000 L, uma vez que o volume extravasado está em função dos eventos extremos de chuva, da capacidade de aproveitamento de água captada na cobertura e do volume do reservatório (DORNELLES, 2012).

No estudo de Dornelles (2012), o autor atribui um parâmetro denominado demanda unitária (L/dia.m<sup>2</sup>), obtido pela razão da demanda diária e a área total da cobertura de captação de água da chuva. No LAESA, a demanda unitária foi de 3,32, totalizando um aproveitamento máximo de 4.050 L/dia. Volumes superiores a esse serão extravasados, pois será consumido apenas o volume total captado pela cobertura.

O Netuno indicou como volume ideal de reservatório 10 m<sup>3</sup> para o LAESA, que possui demanda de 4 m<sup>3</sup>/dia, e 8 m<sup>3</sup>/dia para o EMUFPA, que possui demanda de 3 m<sup>3</sup>/dia. Esta análise possibilita uma otimização ao dimensionar o volume do reservatório, fornecendo um volume coerente de acordo com a demanda, pois, o dimensionamento realizado pelo Netuno atendeu o sugerido pela NBR 5626 (ABNT, 1998), cuja recomendação é de que o volume de reservatório tem de ser capaz de atender, no mínimo, 24 horas de consumo, além do mais, por precaução, os reservatórios devem ser projetados para atender, no mínimo, dois dias de consumo (CREDER, 1991).

## 5.2. 2ª ETAPA – PROJETO EXECUTIVO E ANÁLISE ECONÔMICA

### 5.2.1. Projeto da rede predial de distribuição de água pluvial

#### 5.2.1.1. Prédio EMUFPA

A Tabela 12 mostra a quantidade de aparelhos sanitários em função do peso relativo para dimensionamento da coluna de distribuição de água pluvial (AP) por pavimento, totalizando 7,8 unidades de peso.

**Tabela 12 - Aparelhos sanitários em função dos pesos relativos.**

<b>Aparelho Sanitário</b>	<b>Peso Relativo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Total</b>
<b>Vaso Sanitário</b>	0,3	6	1,8

<b>Mictório</b>	2,8	2	5,6
<b>Torneira</b>	0,4	1	0,4
<b>Total</b>	3,5	9	7,8

A água pluvial é coletada por calhas platibandas de 6 polegadas (6"), com inclinação de 0,5 % ( $i = 0,5 \%$ ), direcionada por um telhado de uma água com área de aproximadamente 300 m<sup>2</sup>. Ressalta-se que o prédio já possui o sistema de drenagem de água pluvial instalado, constituído de calhas e condutores verticais, não sendo necessário o dimensionamento. Portanto, foram dimensionados apenas os condutores horizontais de distribuição e as tubulações de sucção e recalque, os quais foram determinados com diâmetro de 25 e 32 mm, e 50 mm para a tubulação do barrilete (Forro).

A água coletada é conduzida até uma cisterna por gravidade, situada na cota 0 (zero) do terreno (1º pavimento). A cisterna possui 5 m<sup>3</sup>, sendo a água bombeada para um reservatório elevado de 3 m<sup>3</sup>, que abastecerá aparelhos sanitários para fins não potáveis, isto é, caixas de descarga, mictórios e torneiras para limpeza. A planta baixa e isométrica do projeto está no Apêndice D. A seguir são apresentadas as etapas do dimensionamento.

#### 1) Cálculo da Vazão por Trecho (Q)

A vazão foi calculada em cada trecho das tubulações, considerando os 4 (quatro) pavimentos do prédio do EMUFPA, sendo o 4º (quarto) pavimento representado pelo forro, local escolhido para instalação do reservatório superior (Tabela 13). A água será conduzida para 8 banheiros, sendo 2 por pavimento, além de uma torneira situada no térreo, que será utilizada somente para limpeza do prédio.

**Tabela 13 – Vazão calculada para cada trecho das tubulações**

<b>Pavimentos</b>	<b>Q por trecho (L/s)</b>
<b>1º</b>	0,84
<b>2º</b>	1,19
<b>3º</b>	1,45
<b>4º (forro)</b>	1,45

## 2) Cálculo da Velocidade (V)

Segundo a NBR 5626/98, a velocidade em conduto forçado deve ser menor que 3 m/s, para preservação da tubulação e dos acessórios. Através da equação da continuidade, os cálculos de velocidade foram realizados e as bitolas que atenderam a condição, anteriormente citada, foi de 25 mm e 50 mm para a tubulação do Barrilete (forro), conforme verificado na Tabela 14.

**Tabela 14 –Velocidade da água em função do diâmetro**

Pavimentos	Diâmetro (mm)	V por trecho (m/s)	Pd(mca)
1º	25	1,71	5,20
2º		2,42	2,76
3º		2,95	1,03
4º (forro)	50	0,74	0,83

## 3) Dimensionamento da estação elevatória

O recalque é feito por uma bomba de 1 CV, com vazão 0,40 L/s. O sistema possui ainda uma bomba reserva, para que em caso de manutenção ou pane na bomba principal, o abastecimento não seja comprometido. A seguir é apresentado o dimensionamento da sucção e recalque da bomba. As perdas de carga unitária e distribuídas foram calculadas para as tubulações de recalque e sucção, que possuem diâmetros de 25 mm e 32 mm (Tabela 15).

**Tabela 15 – Resumo dos resultados do dimensionamento do sistema de recalque**

Vazão de recalque	Perda de carga Unitária		Perda de carga distribuída		Altura Manométrica	Potência da bomba	NPSHd > NPSHr
Q (L/s)	J (m/m)		$\Delta H$ (m)		H (m)	P (CV)	(m)
0,40	(D <sub>32mm</sub> ) 0,011	(D <sub>25mm</sub> ) 0,079	(D <sub>32mm</sub> ) 0,902	(D <sub>25mm</sub> ) 1,31	14,21	1	7,19

### 5.2.1.2. Prédio LAESA

O prédio do LAESA não foi projetado para captar a água da chuva, por esse motivo, foi necessário o dimensionamento do sistema de instalação predial de água pluvial. Foi realizado o dimensionamento da calha considerando a intensidade pluviométrica da Cidade de Belém, que corresponde a 157 mm/h, de acordo com a NBR 10844 (ABNT, 1989).

Na Tabela 16 é apresentado o dimensionamento da calha através da Fórmula de Manning, e a vazão de projeto calculada pela equação recomendada pela Norma. De acordo com os critérios para o dimensionamento, a vazão disponível pela calha calculada pela fórmula de Manning, deve ser maior que a vazão de projeto. Neste trabalho, a vazão de projeto é de 795,47 L/min e a vazão disponível pela calha é de 1046,94 L/min, atendendo, portanto, o critério de dimensionamento.

**Tabela 16 – Dados para o dimensionamento da calha**

<b>VAZÃO DE PROJETO</b>		
<b><math>Q_{Proj.}</math></b>	<b>795,47</b>	<b>l/min</b>
<b>VAZÃO DISPONÍVEL PELA CALHA</b>		
h (altura)	100	mm
B (base)	200	mm
$i_{calha}$ (inclinação)	0,50	%
n (coef.manning)	0,011	-
$A_m$ (área calha)	0,018	m <sup>2</sup>
$P_m$ (perímetro molhado)	0,38	m
$R_h$ (raio hidráulico)	0,05	m
<b><math>Q_{disp}</math></b>	<b>1046,94</b>	<b>l/min</b>
<b>DIÂMETRO HIDRÁULICO</b>		
<b>D</b>	<b>200</b>	<b>mm</b>

Portanto, a calha selecionada foi de beiral em formato retangular (200 mm x 100 mm), com diâmetro hidráulico de 200 mm, com inclinação de 0,5 % ( $i = 0,5 \%$ ), instalada em um telhado com área de aproximadamente 1216,47 m<sup>2</sup>, subdivido em quatro áreas de aproveitamento, com 304,12 m<sup>2</sup> cada. A água coletada é conduzida até as duas cisternas de 3 m<sup>3</sup> cada, por gravidade, situada na cota 0 (zero) do terreno (1º pavimento). Em seguida, é bombeada para os reservatórios elevados de 2 m<sup>3</sup>

cada, que abastecerão os aparelhos sanitários, isto é, caixas de descarga e mictórios e a copa que é composta por dois banheiros e uma torneira para a limpeza do prédio.

Na Tabela 17 apresenta-se a quantidade de aparelhos sanitários em função do peso relativo para dimensionamento da coluna de distribuição de água pluvial por pavimento, totalizando 5,32 unidades de peso. As plantas baixa e isométrica do projeto estão no apêndice D.

**Tabela 17 – Aparelhos sanitários em função dos pesos relativos.**

<b>Aparelho Sanitário</b>	<b>Peso Relativo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Total</b>
<b>Lavatório</b>	0,3	14	4,2
<b>Mictório cerâmico</b>	0,28	4	1,12
<b>Total</b>	3,28	18	5,32

Portanto, com base na NBR 5626/1998, esse somatório é convertido na demanda simultânea total do grupo de peças de utilização considerado, que é expressa como uma média ponderada da vazão a ser usada no dimensionamento da tubulação, conforme exposto a seguir.

#### 1) Cálculo da Vazão por Trecho (Q)

O sistema predial de distribuição de água de reuso foi subdividido em dois sistemas, por meio do fornecimento de dois reservatórios elevados e dois semienterrados, que serão responsáveis em armazenar a água captada nas duas faces do telhado que tem formato de “Superfície Inclinada” (NBR 10866/1989). O primeiro sistema abastecerá as copas (pavimento térreo e superior “A”) através das colunas AP-01 e AP-02. Já o segundo sistema, através da coluna AP-03, abastecerá os banheiros masculinos, femininos e de acessibilidade (pavimento térreo e superior “B”) (ver Apêndice D)

No LAESA, a água pluvial abastecerá 6 (seis) banheiros, três em cada pavimento, além de uma torneira localizada na área de serviço, a qual será utilizada para limpeza do prédio. Na Tabela 18 é apresentada a vazão em cada trecho determinado por pavimento.

Tabela 18 - Vazão calculada para cada trecho das tubulações

Pavimentos	Q por trecho (L/s)
1º A	0,23
2º A	0,23
1º B	1,48
2º B	1,48

## 2) Cálculo da Velocidade (V)

Segundo a NBR 5626/98, a velocidade em conduto forçado deve ser menor que 3 m/s, para preservação da tubulação e dos acessórios. Através da equação da continuidade, os cálculos de velocidade foram realizados e as bitolas que atenderam a condição, anteriormente citada, foi de 25 mm e 32 mm (Tabela 19).

Tabela 19 - Velocidade da água em função do diâmetro

Pavimentos	Diâmetro (mm)	V por trecho (m/s)	Pd (mca)
1ºA	25	0,47	2,253
2ºA		0,47	0,51
1ºB	32	0,60	1,33
2ºB		0,60	0,917

## 3) Dimensionamento da Estação Elevatória

Lembrando que no LAESA foi projetado dois sistemas denominados A e B, os quais alimentam as colunas de distribuição AP-01 e AP-02 e AP 03 (Apêndice D). O recalque é feito por uma bomba de 1 CV, com vazão 0,28 L/s. Os sistemas possuem ainda uma bomba reserva cada, para que em caso de manutenção ou pane na bomba principal, o abastecimento não seja comprometido. A seguir é apresentado o Dimensionamento da sucção e recalque da bomba. As perdas de carga unitária e distribuídas foram calculadas para as tubulações de recalque e sucção, que possuem diâmetros de 25 mm e 32 mm, respectivamente (Tabela 20).

Tabela 20 - Resumo dos resultados do dimensionamento do sistema de recalque

Vazão de recalque	Perda de carga Unitária		Perda de carga distribuída		Altura Manométrica	Potência da bomba	NPSHd >NPSHr
	Q (L/s)	J (m/m)		$\Delta H$ (m)		H (m)	P (CV)
0,28	(D <sub>25mm</sub> ) 0,0058	(D <sub>32mm</sub> ) 0,019	(D <sub>25mm</sub> ) 0,18	(D <sub>32mm</sub> ) 0,41	8,99 m	1,00	8,16

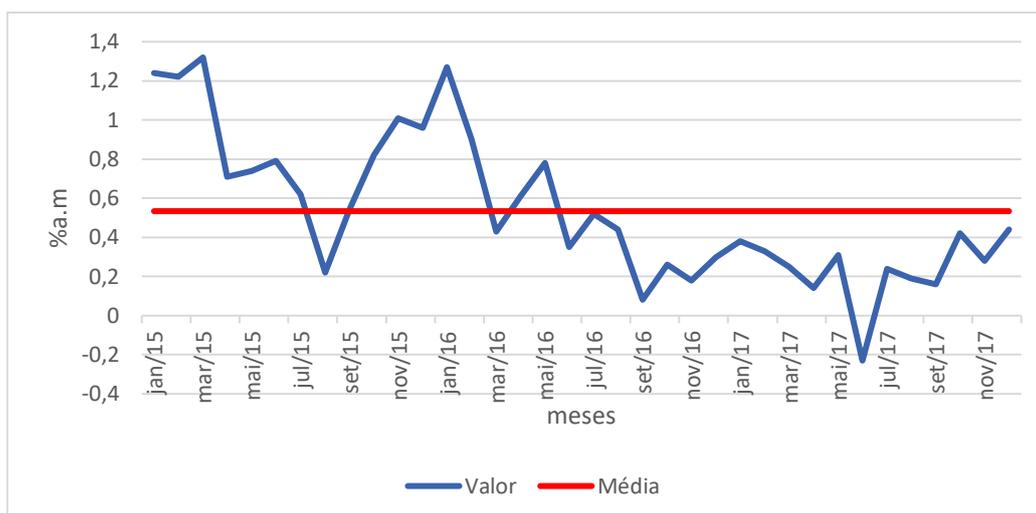
### 5.2.2. Análise Econômica

A análise da viabilidade econômica do sistema de aproveitamento de água pluvial foi elaborada através do levantamento quantitativo de materiais com base no projeto básico. A determinação dos custos dos materiais e componentes foi realizada, utilizando a planilha do SINAPI de abril de 2017, onde foi possível realizar estimativas precisas do orçamento para elaboração do projeto.

Foram determinados os Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) em 35%, o qual foi calculado adotando-se as taxas de juros atuais, para que fossem computados nos custos dos equipamentos disponíveis na tabela SINAPI, pois essas tabelas não acrescentam o valor do BDI (Apêndice B). As planilhas orçamentárias com os preços obtidos encontram-se no (Apêndice C).

A mão de obra foi determinada em 35% do custo total da obra, sendo 12% destinados a instalações prediais, 20% para os acabamentos interno e externo e 3% para a limpeza, retoques e arremates (PREMONTA, 2017). O custo de manutenção, que inclui limpeza do reservatório e calhas, foi de R\$ 1.200 a cada 6 meses.

A Taxa mínima de atratividade foi calculada considerando a média aritmética dos últimos 3 anos (2015 a 2017), dos índices do IPCA, definida em 0,53 % ao mês, conforme demonstrado pela linha em vermelho na Figura 25



**Figura 25 - IPCA mensal no período de janeiro 2015 a dezembro de 2017**

Fonte: Adaptado de IPCA (2018)

Na Tabela 21 são apresentados os dados de entrada referente ao fluxo de caixa para análise econômica dos sistemas do LAESA e do EMUFPA.

**Tabela 21 - Dados de entrada para o fluxo de caixa**

Variável	Valor
<b>Inflação</b>	0,28 %/mês
<b>Reajuste da tarifa de água e energia</b>	12 meses
<b>Período de análise</b>	20 anos
<b>Taxa mínima de atratividade</b>	0,53%.mês
<b>Mês inicial de instalação do sistema</b>	Janeiro

Na Tabela 22 são apresentados os custos iniciais para a implementação do sistema nos prédios. Observa-se que o maior custo no LAESA é com acessórios, que inclui peças hidráulicas, filtros, bombas e calhas, já que a edificação não foi projetada para drenar a água pluvial por meio de calhas e tubos de queda, fez-se necessário um maior investimento, que corresponde a 35,49% do total, seguido dos reservatórios (25,96%) e mão de obra (24,99%). Na EMUFPA, o maior custo foi com os reservatórios (36,94%), seguindo dos acessórios (32,70%) e a mão de obra (26,24%).

Tabela 22 - Custos para a instalação do sistema

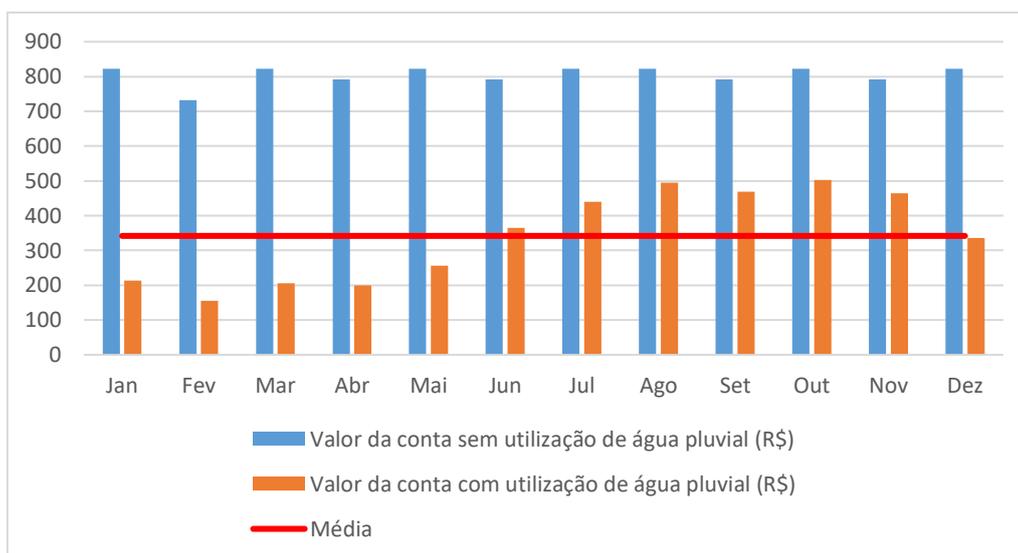
Variável	LAESA		EMUFPA	
	Valor (R\$)	(%)	Valor (R\$)	(%)
Reservatório inferior	R\$ 8.400,00	25,96	R\$ 7.320,44	36,94
Reservatório superior	R\$ 2.198,96		R\$ 1.957,66	
Mão de Obra	R\$ 10.201,69	24,99	R\$ 6.593,49	26,24
Tubulações	R\$ 5.529,73	13,55	R\$ 1.039,98	4,12
Acessórios	R\$ 14.488,64	35,49	R\$ 8.279,15	32,70
<b>Total</b>	<b>R\$ 40.819,02</b>	<b>100</b>	<b>R\$ 25.106,26</b>	<b>100</b>

Foram realizados 3 (três) cenários para análise econômica: no EMUFPA, o qual é abastecido pela COSANPA; no LAESA, que é abastecido pela ETA da universidade e por fim no LAESA, considerando que o mesmo fosse abastecido pela COSANPA. Essa análise hipotética foi realizada com o objetivo que verificar qual redução nos custos ao implementar um sistema de captação de água da chuva em edificações que utilizam água da concessionária ou quando utilizam água de uma ETA autônoma, conforme apresentado a seguir:

#### 5.2.2.1. Prédio EMUFPA

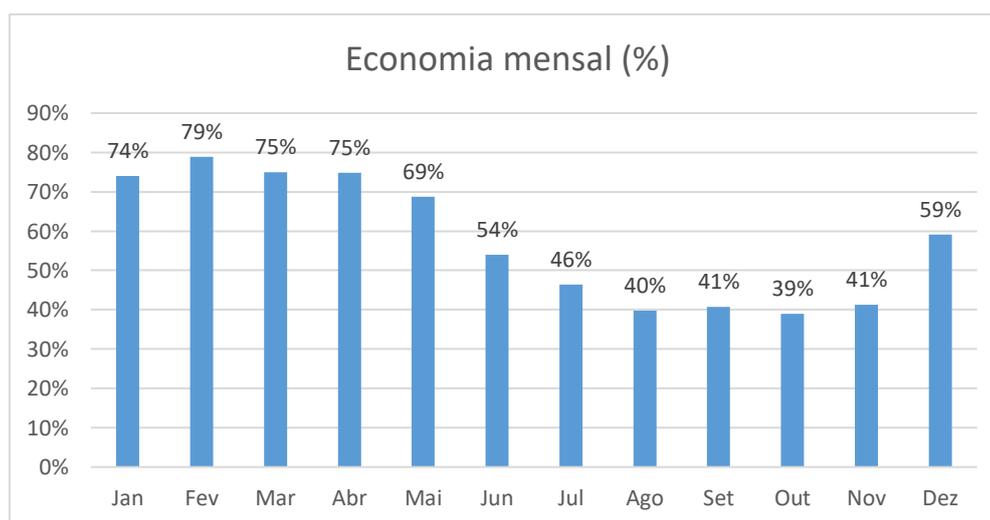
Houve retorno do capital investido dentro do horizonte de 20 anos do fluxo de caixa. O VPL calculado foi de R\$ 17.865,31, com tempo de retorno do capital investido em 124 meses, ou seja, 10 anos. A taxa interna de retorno foi de 1,08 % ao mês.

Na Figura 26 é apresentada as estimativas de economia ao implementar um sistema de aproveitamento de água da chuva. Verifica-se que na simulação realizada no Netuno, que o valor da conta de água sem utilizar a água pluvial é de até R\$ 822,00, com um mínimo de R\$ 732,15 em fevereiro. O valor médio anual da conta de água ao utilizar a água da chuva é de R\$ 341,96, conforme demonstrado na linha em vermelho.



**Figura 26 – Comparação do valor da conta de água com e sem o uso da água pluvial**

Na Figura 27 é apresentado o potencial de economia em cada mês. Observa-se que no período chuvoso é possível economizar até 79% na conta de água do prédio. Consta-se que o consumo de água não potável no EMUFPA é de 69% do total consumido. Logo, com base nesse percentual, a água da chuva conseguiria atender a demanda não potável em até 87,34% no período chuvoso.



**Figura 27 - Economia mensal com utilização da água da chuva na EMUFPA**

De acordo com dados encontrados no trabalho desenvolvido por Nascimento *et al.*, (2016), no mês de outubro, a economia foi de 23% e 25% para os Setores Básico e Profissional da UFPA, respectivamente. Esses resultados foram próximos do encontrado neste trabalho, que apresentou economia média de 39% no período de

estiagem. No mês de dezembro, Nascimento *et al.*, (2016) obteve uma economia de até 50% nos dois Setores, próximo do encontrado neste trabalho, que foi de 59%. Cabe ressaltar que o potencial de economia está, principalmente, em função da demanda e da área de captação.

O custo médio mensal com energia elétrica pelo uso do conjunto motobomba foi de R\$ 18,30, chegando a R\$ 33,00 no período chuvoso, no qual é possível armazenar uma maior quantidade de água, prolongando o uso da água pluvial para os usos não potáveis. Ressalta-se que a cada 6 meses, deve ocorrer a limpeza das caixas d'águas, o que eleva os custos para uma média de R\$ 2.343 a cada 6 meses, incluindo consumo de energia elétrica.

Verifica-se que com a aplicação do sistema no EMUFPA, houve retorno financeiro dentro do tempo analisado, isso se justifica pelo fato da tarifa de água cobrada pela concessionária para categoria pública, incluindo a tarifa de esgoto, variar de R\$ 5,89 a R\$ 7,35/ m<sup>3</sup>, e, geralmente, a tarifa é um dos fatores principais para que haja retorno financeiro aos sistemas de aproveitamento de água da chuva (PINZÓN *et al.*, 2015).

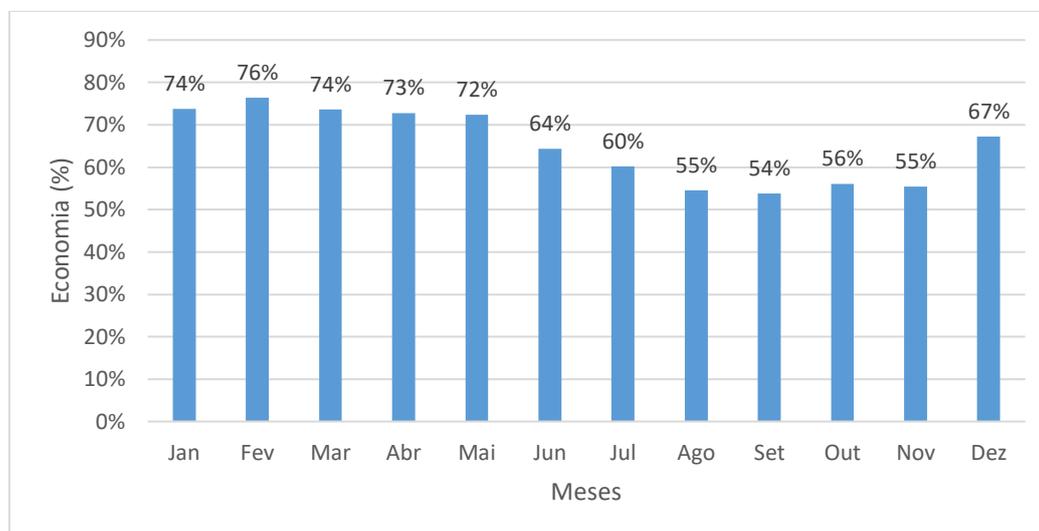
#### 5.2.2.2. Prédio LAESA - ETA

O VPL calculado foi de R\$ - 62.289,73, isto significa que será resgatado um valor menor que o valor investido, ou seja, não houve retorno financeiro dentro do tempo analisado, pois o tempo de retorno foi maior que 20 anos, que corresponde a vida útil do sistema. A taxa interna de retorno foi de - 50,96 % ao mês.

Ressalta-se que o LAESA fica localizado dentro do campus profissional da UFPA, o qual é abastecido pela água proveniente da ETA da universidade, que apresenta um custo de R\$ 0,40/m<sup>3</sup> de água tratada, isto é, 94,55 % menor que a tarifa de água incluindo o esgoto, que está entre R\$ 5,89 a R\$ 7,35/m<sup>3</sup> para categoria de abastecimento público. A tarifa de água é um dos fatores principais para que haja retorno financeiro ao implementar um Sistema de captação de água pluvial (SILVA e GHISI, 2016).

Na Figura 28, constata-se que é possível economizar até 76% na conta de água no período chuvoso (fevereiro) e 54% no período de estiagem (setembro).

Ressalta-se que o consumo de água não potável no LAESA é de 76% do consumo total, ou seja, é a parcela de água que poderia ser substituído pela água da chuva. Logo, o volume de chuva captado conseguiria atender no mínimo 71,05% da demanda não potável, chegando ao atendimento máximo de 100% da demanda não potável no período chuvoso.



**Figura 28 - Economia mensal na conta de água ao utilizar água da chuva no LAESA**

De acordo com dados encontrados no trabalho de Nascimento *et al.* (2016), o potencial de economia de água potável é maior no campus profissional da universidade, podendo alcançar um potencial de economia médio de 79,9% e máximo de 100% para o Setor Profissional. Estes resultados são coerentes aos resultados também obtidos por Lima *et al.*, (2011) em que avaliaram o potencial de economia de água potável pelo uso de água de chuva em cidades da região amazônica, os quais verificaram que o potencial da economia varia entre 21 e 100%, dependendo da demanda de água potável verificada nas cidades analisadas, com potencial médio de 76%.

Ainda nos estudos de Nascimento *et al.*, (2016), no mês de outubro, mês de menor índice pluviométrico, com menor potencial de economia. Esses resultados foram próximos do encontrado neste trabalho, que apresentou economia média de 36,67% no período de estiagem. No mês de dezembro, Nascimento *et al.*, (2016) obteve uma economia de até 50% nos dois Setores, próximo do encontrado neste trabalho, que foi de 50,01% (Figura 41).

O custo médio mensal com energia elétrica foi de R\$ 36,97, chegando a R\$ 58,43 no período chuvoso, período onde é possível armazenar uma maior quantidade de água, tendo em vista que, estendendo o uso da água pluvial para os usos não potáveis, conseqüentemente, aumenta o uso do conjunto motor-bomba. Pondera-se que a cada 6 meses ocorre a limpeza das caixas d'águas, o que eleva os custos para uma média de R\$ 2.747,80 a cada 6 meses, incluindo consumo de energia elétrica.

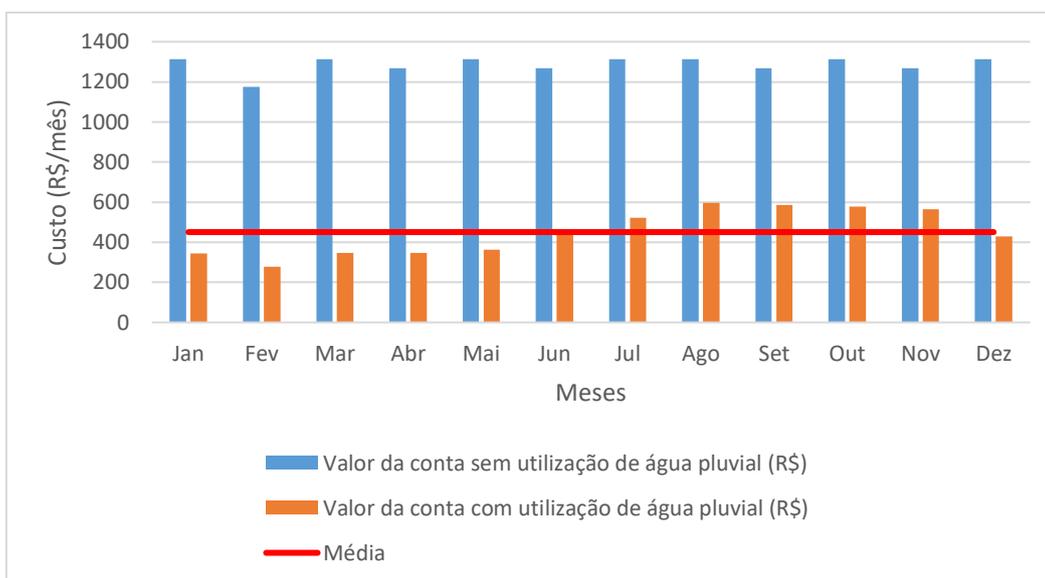
#### 5.2.2.3. *Prédio LAESA - COSANPA*

Para avaliar quanto seria economizado na conta de água caso o LAESA fosse abastecido pela COSANPA, foram adotados os mesmos dados de entrada da simulação anterior, mudando somente o custo do m<sup>3</sup> de água tratada, que na COSANPA varia de R\$ 5,89 a R\$ 7,35/m<sup>3</sup>.

Portanto, ao simular com a tarifa de água cobrada pela COSANPA, o VPL foi de R\$ 65.995,00, isto é, é o valor que será resgatado no final da vida útil do sistema que é de 20 anos, que corresponde ao horizonte do fluxo de caixa.

O tempo de retorno do capital investido seria de 76 meses, ou seja, 6 anos e 4 meses. A taxa interna de retorno foi de 1,67% ao mês. Marinowski e Ghisi (2008) encontraram através de estudo em instituições de ensino em Florianópolis, SC, utilizando o Método Netuno, uma economia de água de 45,8% e um período de retorno do investimento em 4 anos e 10 meses.

Comprova-se, então, na Figura 29, que o custo da conta de água sem utilizar a água pluvial seria, em média, de R\$1.286,85 por mês, enquanto que com o uso da água pluvial o valor ficaria, em média R\$ 450,50, chegando a pagar no período chuvoso R\$ 278,08 (fevereiro).



**Figura 29 - Comparação do valor da conta de água com e sem o uso da água pluvial**

Estes resultados demonstram que os prédios públicos que possuem ETA dispõem de água potável a um custo final mais baixo. Entretanto, isso é devido a não contabilização de custos de manutenção da ETA. Todavia, essa realidade pode ser mais comum em universidades, talvez pelo tamanho das mesmas. Em geral, prédios públicos pagam pelo serviço de abastecimento das concessionárias, tornando o aproveitamento da água pluvial viável tanto economicamente quanto ambientalmente.

Vale salientar que em prédios públicos o desperdício de água é consideravelmente maior que em residências, pois, os usuários não pagam diretamente pela água, e isso faz com que a maioria não tome os devidos cuidados para não desperdiçar água potável. Sendo assim, faz-se necessário haver uma política de conscientização junto aos gestores públicos, pois, conforme se constatou nos trabalhos de Romano *et al.*, (2014, 2015), o preço da tarifa possui correlação negativa com o consumo de água, ou seja, quanto maior é a tarifa de água, menor é o consumo. Quando os custos com a água são altos, os usuários/gestores se preocupam mais em buscar alternativas econômicas como aproveitamento de água da chuva e o controle de desperdício.

## 6. CONCLUSÃO

A partir da análise qualitativa dos dados coletados, conclui-se que o consumo *per capita* de água no LAESA foi de 13,7 L/dia.usuário, com total de 4 m<sup>3</sup>/dia. A demanda não potável do prédio foi estimada em 76% do total. Os valores de demanda estimados não puderam ser comparados com o consumo real, devido à inexistência de hidrômetros na edificação. Na EMUFPA, o consumo per capita encontrado foi um pouco maior que no LAESA, 22 L/dia.usuário, com consumo total diário de 3 m<sup>3</sup>/dia. A parcela de uso não potável foi de 69% do total.

Os volumes ideais de reservatório inferior indicados pelo Netuno, para cada edificação, apresentam-se satisfatórios, uma vez que os volumes indicados atendem ao critério de que o reservatório para abastecimento de água tem de ser dimensionado, no mínimo, para dois dias de consumo (CREDER, 1991). Além de possuírem custos viáveis, os reservatórios atendem à demanda de forma satisfatória, com potencial de economia de água potável no período chuvoso até 100% no LAESA e 87,34% no EMUFPA.

A análise econômica para a implementação do sistema na EMUFPA apresentou um VPL de R\$ 17.865,31, com tempo de retorno do capital investido em 10 anos. A taxa interna de retorno foi de 1,08 % ao mês. A análise econômica apresentou-se positiva devido a taxa de cobrança de água atual ser em torno de R\$ 5,89 a R\$ 7,35 por m<sup>3</sup> de água tratada na concessionária, o que eleva os custos por consumo de água potável em prédios públicos.

Para o prédio do LAESA-ETA, o VPL apresentou-se negativo, e não houve retorno financeiro dentro do tempo analisado, o qual foi definido em 20 anos (vida útil do sistema). Portanto, o sistema apresentou-se inviável do ponto de vista econômico, pois a tarifa de água considerando o valor do m<sup>3</sup> de água tratada na ETA da UFPA é muito baixa, em torno de R\$ 0,40 centavos. Porém, ao avaliar o prédio do LAESA-COSANPA, houve retorno financeiro, com VPL de R\$ 65.995,00, com tempo de retorno do capital investido em 76 meses, ou seja, 6 anos e 4 meses. A taxa interna de retorno foi de 1,67% ao mês. É evidente como a tarifa de água influencia no tempo de retorno do investimento.

Assim, a partir da análise qualitativa dos resultados, conclui-se que a implementação do sistema de aproveitamento de água da chuva apresenta-se viável do ponto de vista econômico e ambiental quando aplicado em prédios públicos que consomem água da concessionária, uma vez que a substituição da água potável pela água da chuva em usos não potáveis, como em aparelhos sanitários e limpeza dos prédios, acarretaria consideráveis economias nos gastos públicos.

Mesmo nos prédios públicos que possuem seus custos com água subsidiados e que não possuem grandes gastos com a compra de água potável, é de grande valia a incorporação dos critérios de sustentabilidade ambiental, mesmo na Amazônia, onde já é possível observar problemas relacionados a disponibilidade hídrica, principalmente devido aos fatores climáticos que se comportam de forma heterogênea na bacia amazônica, além da falta de qualidade da água superficial, que também é um fator que diminui a oferta de água.

Ademais, o custo por m<sup>3</sup> de água tratada vem aumentando consideravelmente ao longo dos anos, principalmente devido à lei de oferta e demanda, pois, os efeitos climáticos vêm alterando o ciclo hidrológico e diminuindo a oferta de água nas grandes metrópoles do Brasil, enquanto a demanda só aumenta. Deste modo, é importante que as entidades públicas e privadas incorporem dentro de sua gestão, o conceito de segurança hídrica, que estabelece a busca de garantias para a disponibilidade hídrica nos diversos usos e aproveitar a água da chuva é uma maneira sustentável de diminuir a pressão do uso da água proveniente dos mananciais e aquíferos.

### 6.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As principais limitações deste trabalho foram as seguintes:

- A inexistência de uma setorização de medição da demanda de água potável utilizada na UFPA;
- A inexistência de hidrômetro no prédio do LAESA, de forma a comparar a demanda calculada por meio da aplicação dos questionários, com o volume real registrado;
- A determinação das possíveis perdas de água na edificação;

- A determinação da demanda per capita por gênero (feminino e masculino); a quantificação do uso da água em diferentes turnos (matutino, vespertino e noturno) e simular no Netuno uma demanda variável considerando a variação de consumo ao longo de uma semana ou mês;
- Quantificar os custos de manutenção e operação da Estação de Tratamento de água da UFPA para a determinação precisa do valor do m<sup>3</sup> de água tratada na ETA.

## 6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Concluído o trabalho, são mencionadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Analisar a possibilidade de utilização das águas pluviais coletadas em outras atividades desenvolvidas nas edificações, visando aumentar o percentual de substituição de água potável;
- Utilizar o programa Netuno, por meio de estudos de casos, para simular modelos que possam encontrar a melhor relação entre volumes de reservatórios e valor presente líquido dos investimentos;
- Realizar um estudo de qualidade da água da chuva coletada pela cobertura, de forma a avaliar se a água da chuva influenciaria na vida útil dos componentes do sistema. Dependendo da qualidade da água, a mesma pode provocar incrustações e corrosão nos materiais;
- Sugere-se aplicar o método do netuno para o dimensionamento e avaliação do potencial de economia de água potável por meio da substituição por água da chuva em outras edificações públicas federais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGRILL S, FARRENY R, GASOL M, GABARRELL C, VIÑOLAS X, JOSA B, RIERADEVALL AJ. 2012. Environmental analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean climate. **International Journal of Life Cycle**. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-011-0330-6>. Acesso: 07 de julho de 2015.

APPAN, A. A Dual-Mode System For Harnessing Roofwater For Non-Potable Uses. **Urban water**, v. 1, n. 4, p. 317-321, dec. 2000.

ALVARES CA, STAPE JL, SENTELHAS PC, GONÇALVES JLM, SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 2014; 22(6): 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ALI, S. R.; JAIN, R. K. RainWater Harvesting System for College of Engineering, Teerthanker Mahaveer ,University, Moradabad., , Vol. 3, Issue 8, August 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) 2014. Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – 2014. Brasília – DF. 105 p. Disponível em: [http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014\\_inf.pdf](http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014_inf.pdf). Acesso: 29 de julho de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) 2013. Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – 2013. Brasília – DF. 434 p. Disponível em: [http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2013\\_rel.pdf](http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2013_rel.pdf). Acesso: 29 de julho de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) 2012. Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2012. Brasília – DF. 215 p. Disponível em: [http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2012\\_inf.pdf](http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2012_inf.pdf). Acesso em 29 de julho de 2015.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) 2017. Valor Final da Energia elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo>. Acesso em 30/09/2016.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de, 1918-1991. Manual de hidráulica/ José Martiniano de Azevedo Netto; coordenação Roberto de Araújo; co-autores Miguel Fernandes y Fernandez, Acácio Eiji Ito. 8ª edição- São Paulo: Editora Blucher, 1998.

ASA – ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/>> Acesso em: 15 ago. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR12217: 1994: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).. NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5626: Instalações Predial de Água Fria. Rio de Janeiro, 1998.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento Para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, abr./jun. 2008.

ANA - Agência Nacional de Águas, SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo - Conservação e Reúso da água em edificações. São Paulo, 2005.

ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)**. 150 f. Vitória, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BEZERRA, S. M. C. 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. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 219-231, out./dez. 2010.

BASINGER, M.; MONTALTO, F.; LALL, U. A Rainwater Harvesting System Reliability Model Based on Nonparametric Stochastic Rainfall Generator. **Journal of Hydrology**, v. 392, n. 3/4, p. 105-118, out. 2010.

BAPTISTA, M. B - Fundamentos de Engenharia Hidráulica/ Marcio Benedito Baptista, Marcia Maria Lara Pinto Coelho. - 3. ed. ver. e ampl. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

BRUNETTI, FRANCO - Mecânica dos Fluidos/ Franco Brunetti. - 2. ed. ver. - São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

BARBETTA, P. A. Estatística aplicada às ciências sociais. 5. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003. 340 p.

BARRETO, D. Perfil Do Consumo Residencial E Usos Finais Da Água. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 23–40, 2008.

BRASIL, Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão – MPOG. Instrução Normativa nº 1, de 19 de janeiro de 2010.

CHAIB, E.B., RODRIGUES, F.C., MAIA, B.H., NASCIMENTO, N., 2015. Avaliação do potencial de redução do consumo de água potável por meio da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações unifamiliares. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 20, 605–614.

CHOWDHURY, N.I.; AHMED, M.F; CHOUDHURY, J.R.; TURNER, A.K. Rainwater as a source of domestic water supply in the coastal areas of Bangladesh. In: INTERNATIONAL RAINWATER CISTERN SYSTEMS CONFERENCE, 3rd, 1987, Khon Kaen, Thailand. Proceedings... Khon Kaen: IRCSA, 1987.

CREDER, HÉLIO - Instalações hidráulicas e sanitárias/Hélio creder - 5. ed. - Rio de Janeiro:LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991.

COSANPA, Tarifa de água. Disponível em: <http://www.cosanpa.pa.gov.br/index.php/2-geral/241-nova-tarifa-de-agua-e-esgoto-viabilizara-investimentos-em-qualidade-do-servico#>. Acesso: 11/06/2017.

CELPA, 2016. Tarifas Públicas. Disponível em: URL <http://www.celpe.com.br/display/de2518a7-d264-4e62-87dd-5031b74f5d9e> (Acessado em 05/04/2017).

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITCKE, Bruno Hartmut. Análise de Investimentos. 9. Ed. São Paulo: Atlas, 2000. 458 p.

COOK, S.; SHARMA, A.K.; GURUNG, T.R. Evaluation of alternative water sources for commercial buildings: A case study in Brisbane, Australia. **Resources, Conservation and Recycling**, v.89, p.86–93. 2014.

CARDOSO, R.N.C BARRETO, B. T; LOUREIRO, A. G. **Avaliação Da Viabilidade Econômica Para Instalação De Um Sistema De Aproveitamento De Água Pluvial No Aeroporto Internacional De Belém Do Pará**. In: Anais. XII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal/RN, 2014.

CONCEIÇÃO, J. S. (2014). **Projeto de um sistema para aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis no Núcleo de Meio Ambiente (NUMA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) – Campus Guamá** [monography]. Belém: Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFPA.

CAMPISANO, A.; DI LIBERTO, D.; MODICA, C.; REITANO, S. Potential for Peak Flow Reduction by Rainwater Harvesting Tanks. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 1507–1514, 2014. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705814025569>>.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 63, p. 9–16, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.03.007>>.

CHIU, Y.R, LIAW, C.H, CHEN, L.C. Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities. **Renew Energy** 2009;34:492–8.

CONEJO, J. G. L.; SOARES, S. R. A.; JULIATTO, E. S.; PEREIRA, C. A. A. O.; OLIVEIRA, D. D.; GRISOTTO, L. E. G.; MORAES Jr, J. M. (2009). **Panorama da oferta de água nos grandes centros urbanos do país a partir dos resultados do atlas regiões metropolitanas**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande, Brasil, ABRH.

CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, S. C.; MORUZZI, R. B. **Cálculo do volume do reservatório de sistemas de aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos para aplicação em residência unifamiliar**. In: SIMPÓSIO

NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 10., 2007, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar, 2007. 1 CD-ROM.

CORDOVA, M. M. Aperfeiçoamento do Programa Computacional Netuno: Análise Econômica. 2009.

DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): Social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 6-7, p. 598–608, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.010>>.

DIAS, C. S.; ATHAYDE JR, G. B.; GADELHA, C. L. M. **Viabilidade econômica e social do aproveitamento de água pluviais em residências na cidade de João Pessoa**. X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais: Desenvolvimento e inovação, São Carlos-SP, Anais... CD Rom, 2007

EROKSUZ, E.; RAHMAN, A. Resources , Conservation and Recycling Rainwater tanks in multi-unit buildings : A case study for three Australian cities. “**Resources, Conservation e Recycling**”, v. 54, n. 12, p. 1449–1452, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.06.010>>.

FARRENY, R.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 7, p. 686–694, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.01.008>>.(a)

FARRENY, R.; MORALES-PINZÓN, T.; GUIASOLA, A.; TAYÀ, C.; RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. **Water Research**, v. 45, n. 10, p. 3245–3254, 2011.(b)

FASOLA, G. B.; GHISI, E.; MARINOSKI, A. K.; BORINELLI, J. B. Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 65-78, 2011.

FEWKES, A.; FRAMPTON, D.I. Optimizing the capacity of rainwater storage cisterns. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS, 6th, 1993, Nairobi, Kenya. Proceedings... Nairobi: IRCSA, 1993.

FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. **Urban Water**, v.1, n.4, p.323-333, 1999;

FERNANDES, R. D. O.; SILVA, W. D. O.; SILVA, N. J. M. **Conservação da água em uma edificação pública da região metropolitana do cariri cearense**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. Manual de Utilização das Águas Pluviais (100 maneiras práticas). Curitiba: Livraria do Chain, 2002. 167p.

FERRAZ, F. Manual De Hidráulica Básica - Máquinas e Equipamentos Mecânicos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2011. Disponível em: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/08/manual-de-hidrc3a1ulica-bc3a1sica-ifba.pdf>. Acesso: 22/05/2017.

FLORES, R.; MENDES, R.; DE OLIVEIRA, D.; DA COSTA, T. C.; VELOSO, N. Potencial de captação de água de chuva para abastecimento: o caso da cidade de Belém (PA, Brasil). **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 8, n. 2, p. 69–80, 2012. Disponível em: [http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos\\_tecnologicos/article/view/3373](http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/3373).

GOIS, E. H. B.; RIOS, C. a. S.; COSTANZI, R. N. Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 263–271, 2015. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614009202>.

GHIMIRE, S. R.; JOHNSTON, J. M. Ecohydrology e Hydrobiology Impacts of domestic and agricultural rainwater harvesting systems on watershed hydrology : A case study in the Albemarle-Pamlico river basins ( USA ). **Integrative Medicine Research**, v. 13, n. 2, p. 159–171, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2013.03.007>.

GHISI, E. G.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R. W. Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**. v. 41, p. 204–210, 2006

GHISI, E.; FERREIRA, D.F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v.42, v.7, p.2512–2522. 2007.

GHISI, E, TAVARES, D.D.F, ROCHA, V.L. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: potential for potable water savings and investment feasibility analysis. **Resources, Conservation and Recycling** 2009;54(2): 79–85.

GHISI, E. G. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**. v. 41, p. 1544–1550, 2006

GHISI, E.; TRÉS, A. C. R. Netuno – Aproveitamento de águas pluviais no setor residencial. Disponível em: <[www.labee.ufsc.br](http://www.labee.ufsc.br)>. Programa computacional, 2004

GHISI, E.; RUPP, R. F.; TRISKA, Y. Comparing indicators to rank strategies to save potable water in buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 87, p. 137–144, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.04.001>>.

GHISI, E.; TAVARES, D. D. F.; ROCHA, V. L. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 2, p. 79–85, 2009.

GEO BRASIL: Recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil./ Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional das Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA, 2007. 264p.:il.(GEO Brasil Série Temática: GEO Brasil Recursos Hídricos).

GURUNG, T.R., SHARMA, A. (2014), Communal Rainwater Tank Systems Design and Economies of Scale. **Journal of Cleaner Production**, Vol. 67, 26-36, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.020>

GHISI, E., SCHONDERMARK, P., 2013. Investment feasibility analysis of rainwater use in residences. **Water Resources Management**. 27 (7), 2555e2576 <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0303-6>.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. Netuno 4. Programa computacional, (2014). Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. [S.l. s.n.]. Disponível em: <http://www.labeeee.ufsc.br/downloads/softwares/netuno> Acesso em: 23 maio. 2015.

HAJANI, E., & RAHMAN, A. (2014). Rainwater utilization from roof catchments in arid regions : a case study for Australia. **Journal of Arid Environments**, 111(2014), 35-41. doi:doi:10.1016/j.jaridenv.2014.07.007

HIRSCHFELD, H. 2010. Engenharia econômica e análise de custos. São Paulo, Atlas.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP). Paineis de informações. Disponível em: [www.idesp.pa.gov.br/paginas/painelInformacao/infraestrutura.php](http://www.idesp.pa.gov.br/paginas/painelInformacao/infraestrutura.php). Acessado em: 10/9/2013

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Populacional*. Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm> . Acesso em: 06 de jun. de 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Populacional*. Belém, 2010. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/> . Acesso em: 06 de jun. de 2015.

ICHIHARA, Jorge de Araujo; DUARTE André Montenegro. Viabilidade Econômica in RENDEIRO, Gonçalo (Coord). **COMBUSTÃO E GASIFICAÇÃO DE BIOMASSA SÓLIDA** Soluções Energéticas para a Amazônia. MME-PUD-UFGA-Fadsp. Brasília. 2008

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Manual para Captação Emergencial e Uso Doméstico de Água da Chuva. 26 p. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). 2015. Dados de 1961 a 2014. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php>. Acesso em 12/08/2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2008. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12/07/2015

IMTEAZ, M. A.; ADEBOYE, O. B.; RAYBURG, S.; SHANABLEH, A. Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance model. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 62, p. 51–55, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.02.007>>. (b)

IMTEAZ, M.A., et al., 2011. Optimisation of rainwater tank design from large roofs: a case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*. 55 (11), 1022e1029 <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.013>.

IPCA, 2017. Taxa de inflação. Disponível em: URL: <https://br.advfn.com/indicadores/ipca/2017> (Acessado em 05/04/2017).

JENKINS, D., PEARSON, F., 1978. Feasibility of Rainwater Collection Systems in California. Water Resources Centre, University of California. Contribution No. 173.

JONES M.P, HUNT W.F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Resources, Conservation and Recycling* 2010;54: 623–9.

KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. *Journal of Hydrology*, v. 381, n. 3-4, p. 181–188, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.040>>.

KOPPEN, W., 1936: Das geographische System der Klimate.– KOPPEN, W., R. GEIGER (Eds.): Handbuch der Klimatologie.– Gebru"der Borntra"ger, Berlin, 1, 1–44, part C.

KIM, J. and FURUMAI, H. (2012) Assessment of Rainwater Availability by Building Type and Water Use Through GIS-based Scenario Analysis. **Water Resources Management**, 26 (6), pp. 1499-1511.

KRISHNA, J. The Texas Manual on Rainwater Harvesting. **Texas Water Development Board**, v. 1, n. 3<sup>a</sup>, p. 88, 2005. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&eq=intitle:The+Texas+Manual+on+Rainwater+Harvesting#0>>.

KAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.6, n.1, p.75-90, 2006.

KELMAN, J. A Agência Nacional de Águas. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 07/10/99. Disponível em: [http://www.kelman.com.br/pdf/a\\_ANA\\_2.pdf](http://www.kelman.com.br/pdf/a_ANA_2.pdf). Acesso: 21 ago. 2015.

LIAW, C.; TSAI, Y. Optimum storage volume of rooftop rain water harvesting systems for domestic use. **Journal American Water Resources Association**, v.40, n.4, p.901-912, 2004.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, v. 260, n. 1-3, p. 1–8, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.035>>.

LEE, J.G., SELVAKUMAR, A., ALVI, K., RIVERSON, J., ZHEN, J.X., SHOEMAKER, L., LAI, F., 2012. A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices. **Environmental Modeling and Software** 37, 6–18

LEE K.E., MOKHTAR M., HANAFIAH, M.M, HALIM A.A, BADUSAH, J., (2016) Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: potential, policies and development. **Journal of Clean Production** 126:218–222. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.060.

LEAL, S., LOPES, R., MENDES, R., 2014. Aproveitamento da Água da chuva na amazônia: experiências nas ilhas de Belém/PA. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 19, 229–242.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. De. Aplicação de programa computacional no dimensionamento de volume de reservatório para sistema de aproveitamento de água pluvial na cidade de Ponta Grossa, PR. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. D, p. 36–48, 2010.

MCCMAHON, T.A.; MEIN, R.G.. Reservoir Capacity and Yield. Elsevier Scientific Publishing Company: Nova Iorque. EUA. 1978.

MURÇA, R.; JULIO, M. De; MORUZZI, R. B. Metodologia de Otimização para o Dimensionamento de Reservatórios de Águas Pluviais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v. 19, p. 29–40, 2014.

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

MENDES, R.L.R. 2005. Indicadores de sustentabilidade do uso doméstico de água. Belém, PA. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará, 227 p.

MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. São Paulo, 2004. Dissertação, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004.

MEHRABADI, M.H.R, SAGHAFIAN, B, FASHI, F.H. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. **Resources, Conservation and Recycling** 2013;73:86–93.

MOURA, N.; VITORINO, M. I. Variabilidade temporal da precipitação associada a mecanismos atmosféricos de múltiplas escalas de tempo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, 475 - 483, 2012.

NAÇÕES UNIDAS. Departamento de economia e assuntos sociais: Perspectiva da população mundial em 2015. Disponível em: <http://esa.un.org/unpd/wpp/dvd/>. Acesso: 15 ago. 2015.

NASCIMENTO, T. V., FERNANDES, L. L., YOSHINO, G. H. POTENCIAL DE aproveitamento de água de chuva na universidade federal do pará – belém/pa. **Revista Monografias Ambientais - REMOA** v. 15, n.1, jan-abr. 2016, p.105-116.

NOGUEIRA, C. U., NOGUEIRA H. M. C. M., FANTINEL, A.L., JAHN, S L; PADRÓN, R. A. R. . Aproveitamento da água de chuva para lavagem de máquinas agrícolas e veículos: Estudo de caso do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** Santa Maria, v. 20, n. 1, jan.-abr. 2016, p. 325–333.

PINZÓN. M, T.; LURUEÑA, R.; RIERADEVALL, J.; GASOL, C. M.; GABARRELL, X. Financial feasibility and environmental analysis of potential rainwater harvesting systems: A case study in Spain. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 69, n. 2012, p. 130–140, 2012.

PALLA, A, GNECCO, I, LANZA, L.G, LA BARBERA, P. Performance analysis of domestic rain- water harvesting systems under various European climate zones. **Resources, Conservation and Recycling** 2012 May;62:71–80.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E. Water end-uses in Brazilian Office buildings. **Resources, Conservation and Recycling**, v.54, n.8, p.489-500, 2010.

PEREIRA, Q. L.; ROMERO, P.; SERRANO, G. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013. **Aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Rio Grande do Sul: ABRH, 2013.**  
8 p

PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). Relatório do Desenvolvimento Humano, 2006. Disponível em: <[www.pnud.org.br](http://www.pnud.org.br)>. Acesso em 05 de agosto. 2015

PNCDA. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Disponível em: <http://www.pncda.gov.br>. Acessado em abril de 2016.

PREMONTA, 2017. Custo por Etapa de Obra. Disponível em: <http://premonta.com.br/custo-por-etapa-da-obra/>. Acesso em: 21/8/2017.

PACHECO, P. R. C., GOMÉZ, Y. D., OLIVEIRA, I. Z., TEIXEIRA, L.C.G . A view of the legislative scenario for Rainwater harvesting in Brazil. **Journal Clean Production.**, 141 (2017), pp. 290-294.

PURA. Programa de Uso Racional da Água. Disponível em: <http://www.pura.poli.usp.br/resultados.htm>. Acessado em novembro de 2006.

QUEIROZ, M. M. F de; FARIAS, C, A, S, de. **Potencial de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis no Campus da UFCG em Pombal-PB**. In: Anais. 8º Simpósio de Brasileiro de captação e Manejo de Água da Chuva. Campina Grande, 2012.

RAHMAN, A.; KEANE, J.; IMTEAZ, M. A. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 61, p. 16–21, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.12.002>>.

RAHMAN A, Dbais J, IMTEAZ M. Sustainability of rainwater harvesting systems in multistorey residential buildings. **American Journal of Applied Science** 2010;3:889–98.

ROEBUCK, R.M; ASHLEY, R.M. Predicting the hydraulic and life-cycle cost performance of rainwater harvesting systems using a computer based modelling tool. In: 4th **International conference on water sensitive urban design**, vol. 2; 2006. p. 699–706.

ROCHA, L.V. 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. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2009.

ROMANO, G., SALVATI, N., GUERRINI, A., 2014. Estimating the determinants of residential water demand in Italy. **Electronic Journal of Theoretical Physics**. 11, 43–64. <http://dx.doi.org/10.3390/w6102929>.

ROMANO, G., SALVATI, N., GUERRINI, A., 2015. An empirical analysis of the determinants of water demand. **Journal Clean Production**. 1–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09>.

RUPP, F. R. Ulisses MUNARIM, E.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, out./dez. 2011.

SALLA, M. R.; LOPES, G. B.; PEREIRA, C. E.; NETO, J. D. C. M.; PINHEIRO, A. M. Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 167–181, 2013.

SÁNCHEZ, a. S.; COHIM, E.; KALID, R. a. A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas. **Sustainability of Water Quality and Ecology**, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212613915000264>>.

SCHILLER E.; LATHAM, B. Computerized methods in optimizing rainwater catchment systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CISTERN SYSTEMS, 1st, 1982, Honolulu, United States. Proceedings... Honolulu: IRCSA, 1982.

SABESP. Crise Hídrica, Estratégias e Soluções da SABESP para a região metropolitana de São Paulo. São Paulo, 2015. Disponível em: [http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/crisehidrica/chess\\_crise\\_hidrica.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/crisehidrica/chess_crise_hidrica.pdf). Acessado em: 30 de junho de 2016.

SILVA, A. I. M. Análise econômica de sistema de abastecimento de água público fechado: estudo de caso da Cidade Universitária Professor José da Silveira Netto – Belém (PA). **Dissertação de mestrado**/ Adnilson Igor Martins da Silva. — 2012

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). 2013. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/Pagina-Carrega.php?EWRErterterTERTer=95>. Acesso em: 11/08/2015.

SILVA, C.M., SOUSA, V, CARVALHO, N.V (2015) Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: application to single-family residences. **Resource Conservation Recycling** 94:21–34. doi:10.1016/j.resconrec.2014.11.004

SILVA, R. MENDES, R. L.; SILVA, G. N. TAVARES, N. A. e al. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Rio de Janeiro. Potencial de Uso de água de chuva para abastecimento: o campus básico da UFPA. Rio Grande do Sul: ABRH, 2013. 8 p.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: **Editora Navegar**, 2009.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis. 2. ed. São Paulo: **Editora Navegar**. 180 p. 2005.

TOMAZ, P. Aproveitamento de Água de Chuva: Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não Potáveis. **Navegar Editora**. Guarulhos/SP. Brasil, 180p. 2003.

TAM, L., ZENG, S.X. Cost effectiveness and trade off on the use of rainwater tank: an empirical study in Australian residential decision-making. **Resource Conservation Recycling** 2010;54:178–86.

TOMAZ, Plínio. Economia de água para empresas e residências: um estudo atualizado sobre medidas convencionais e não convencionais do uso racional da água. **Editora Navegar**, 2001. p. 112.

THOMAS, R.B., KIRISITS, M.J., LYE D.J., KINNEY, K.A. . Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. **Journal Clean Production.**, 75 (2014), pp. 166-173

TUCCI, C. E. M. SILVEIRA, A. L. L et al. (organização). Hidrologia: ciência e aplicação. 4ª Ed. Alegre: Editora da GARCEZ, Lucas N. Hidrologia. São Paulo: UFRGS / ABRH, 2012.

TOMAZ, P. (2000) Previsão de consumo de água. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Navegar. 250

UFPA, 2014. Histórico e Estrutura. Disponível. <[http://www.portal.ufpa.br//historico\\_estrutura.php](http://www.portal.ufpa.br//historico_estrutura.php)>. Acesso em: 05 ago. 2015

UFPA, 2012. Laboratório Pioneiro é Inaugurado na Amazônia. Portal UFPA. Disponível.<http://www.portal.ufpa.br/imprensa/noticia.php?cod=6234>. Acesso em: 27 set. 2015.

UNESCO. World Water Assessment Programm. 2008. Disponível em: [http://www.unesco.org/water/iyfw2/water\\_use.shtml](http://www.unesco.org/water/iyfw2/water_use.shtml). Acesso em: 20 julho de 2015.

VILLARREAL, E. L.; DIXON, A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrkping, Sweden. **Building and Environment**, v. 40, n. 9, p. 1174–1184, 2005.

VELOSO, N.S; MENDES, R. L. Aproveitamento de água da chuva na Amazônia: Experiência nas ilhas de Belém/PA. **Revista brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**. v. 19, n. 1, p. 229–242, 2014.

VELOSO, N.S; MENDES, R. L. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aspectos legais do uso da água da chuva no brasil e a gestão dos recursos hídricos: notas teóricas. Rio Grande do Sul: ABRH, 2013.

WARD, S.; MEMON, F.A.; BUTLER, D. Rainwater harvesting: Model-based design evaluation. **Water Science and Technology**, v. 61, n.1, p.85–96. 2010.

WALSH, T. C.; POMEROY, C. a.; BURIAN, S. J. Hydrologic modeling analysis of a passive, residential rainwater harvesting program in an urbanized, semi-arid watershed. **Journal of Hydrology**, v. 508, p. 240–253, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.038>>.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. The United Nations World Water Development Report (WWDR 2015): Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>. Acesso: 14 de set.2015.

World Meteorological Organization — WMO., 1994. Guide to hydrological Practices. Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. 5th Edition, nº158, Geneva — Suíça, pp. 735.

YOSHINO, G. H.; FERNANDES, L. L.; ISHIHARA, J. H.; DA SILVA, A. I. M. Use of rainwater for non-potable purposes in the Amazon. **Environment, Development and Sustainability**, v. 16, n. 2, p. 431–442, 2014.

YRUSKA, I.; BRAGA, L. G.; SANTOS, C. A. G. Viability of precipitation frequency use for reservoir sizing in Condominiums. **Journal of Urban and Environmental Engineering, Reino Unido**, v. 4, n. 1 p. 23-28, 2010.

ZAIZEN, M.; URAKAWA, T.; MATSUMOTO, Y.; TAKAI, H. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 355–359, 2000.

ZHANG, W., WANG C., LI, Y., WANG, P., Wang Q., WANG, D. Seeking sustainability: multiobjective evolutionary optimization for urban wastewater reuse in China. **Environmental Science Technology** 2014;48:1094–102.

ZHANG, Y., CHEN, D., CHEN, L., ASHBOLT, S., 2009. Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. **Journal environmental management** 91, 222e226. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.08.008](http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.08.008).

ZHU, K.; ZHANG, L.; HART, W.; LIU, M.; CHEN, H. Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 4, p. 487–505, 2004.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO PARA DETERMINAÇÃO DA DEMANDA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ /ESTUDO DE CONSUMO DE ÁGUA
---

- 1) Frequência média que você utiliza as torneiras do banheiro (vezes/dia):\_\_\_\_\_.
- 2) Estime um tempo médio de utilização das torneiras (seg./vez):\_\_\_\_\_.
- 3) Frequência média que utiliza a descarga dos mictórios(vezes/dia):\_\_\_\_\_.
- 4) Estime um tempo médio de utilização da descarga dos mictórios (seg/vez) \_\_\_\_\_.
- 5) Frequência média que utiliza os vasos sanitários (vezes/dia): \_\_\_\_\_.
- 6) Qual o número médio de acionamentos do dispositivo da caixa de descarga? (acionamento/vez):\_\_\_\_\_.
- 7) Frequência média que utiliza o bebedouro (vezes/dia)\_\_\_\_\_.
- 8) Estime um tempo médio de utilização do bebedouro (seg/vez) \_\_\_\_\_.

## APÊNDICE B – CÁLCULO DO BDI DO PROJETO

PROJETO ÁGUA PLUVIAL			
MODELO COMPOSIÇÃO DA TAXA DE BENEFÍCIOS E DESPESAS INDIRETAS			
Grupo	<b>A</b>	<b>Despesas indiretas</b>	
	<b>A.1</b>	Administração central (especificar cada item e %)	2,50%
	<b>A.2</b>	Garantia (especificar cada item e %)	0,50%
	<b>A.3</b>	Outros (especificar cada item e %)	0,50%
		<b>Total do grupo A</b>	<b>3,50%</b>
Grupo	<b>B</b>	<b>Bonificação</b>	
	<b>B.1</b>	Lucro	8,00%
		<b>Total do grupo B</b>	<b>8,00%</b>
Grupo	<b>C</b>	<b>Impostos</b>	
	<b>C.1</b>	PIS	0,65%
	<b>C.2</b>	COFINS	3,00%
	<b>C.3</b>	ISSQN (Prefeitura de Belém)*	5,00%
	<b>C.4</b>	INSS	4,50%
		<b>Total do grupo C</b>	<b>13,15%</b>
Grupo	<b>D</b>	<b>Despesas Financeiras (F)</b>	
		Despesas Financeiras (F) (especificar cada item e %)	
		<b>Total do grupo D</b>	<b>3,00%</b>
Fórmula para o cálculo do B.D.I. (benefícios e despesas indiretas)			
		$\text{BDI} = \text{BDI} (\%) = \frac{(1+A) \times (1+F) \times (1+R) - 1}{1 - (B+I)} \times 100$	<b>35,23%</b>
		Raisa Cardoso	

### APÊNDICE C – PLANINHA ORÇAMENTÁRIA DOS PROJETOS

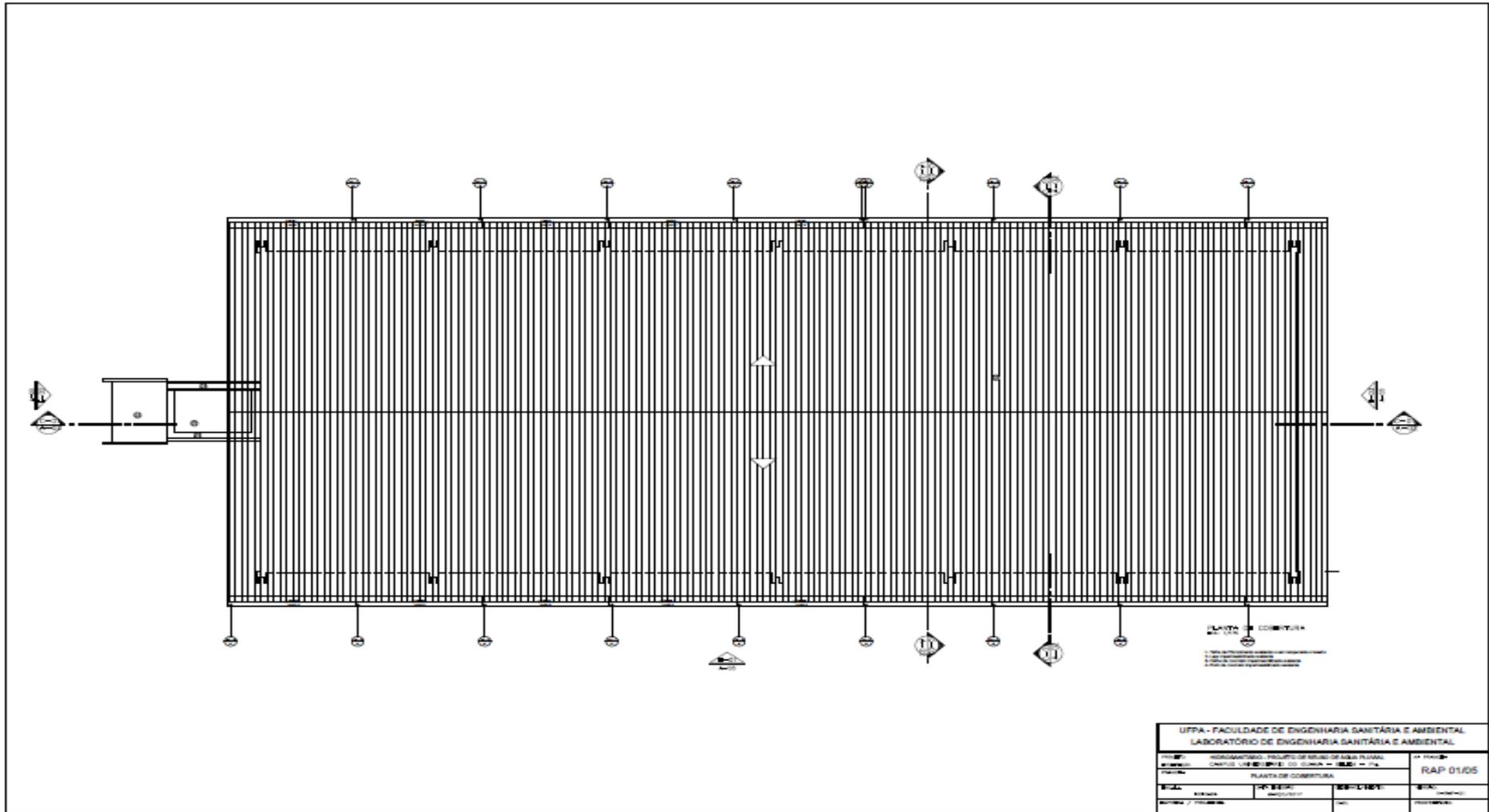
ORÇAMENTO ESTIMADO					
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - LAESA					
Projeto: Aproveitamento de água da chuva no LAESA					
Autor: Raísa Nicole Campos Cardoso					
				PREÇO	
VALOR	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.	C/ BDI	TOTAL
	<b>ÁGUA FRIA</b>				
R\$ 3,03	Tubo de PVC soldável 25mm	M	10	R\$ 4,09	R\$ 40,91
R\$ 6,49	Tubo de PVC soldável 32mm	M	45	R\$ 8,76	R\$ 394,27
R\$ 21,50	registro de gaveta 25 mm	UND.	4	R\$ 29,03	R\$ 116,10
R\$ 33,93	Registro de gaveta 32 mm	UND.	11	R\$ 45,81	R\$ 503,86
R\$ 31,66	Válvula de retenção horizontal 25mm	UND.	1	R\$ 42,74	R\$ 42,74
R\$ 34,59	Válvula de retenção horizontal 32mm	UND.	1	R\$ 46,70	R\$ 46,70
R\$ 54,24	Válvula de pé com crivo 1 1/4"	UND.	2	R\$ 73,22	R\$ 146,45
R\$ 2,27	Curva de 90° de PVC soldável 25mm	UND.	2	R\$ 3,06	R\$ 6,13
R\$ 7,93	Curva de 90° de PVC soldável 32mm	UND.	2	R\$ 10,71	R\$ 21,41
R\$ 7,13	Tê PVC soldável 25mm	UND.	1	R\$ 9,63	R\$ 9,63
R\$ 11,90	Tê PVC soldável 32mm	UND.	11	R\$ 16,07	R\$ 176,72
R\$ 11,09	Adaptador para caixa d' água 25mm	UND.	1	R\$ 14,97	R\$ 14,97
R\$ 13,97	Adaptador para caixa d' água 32mm	UND.	1	R\$ 18,86	R\$ 18,86
R\$ 0,70	Adaptador Curto PVC com bolsa/rosca 3/4"x25mm	UND.	1	R\$ 0,95	R\$ 0,95
R\$ 1,38	Adaptador Curto PVC com bolsa/rosca 1"x32mm	UND.	1	R\$ 1,86	R\$ 1,86
R\$4.200	Cisterna de 3000 L	UND.	2	R\$4.200	R\$ 8.400
R\$ 1.099,48	Caixa d' água de 2000 L	UND.	2	R\$ 1.099,48	R\$ 2.198,96
R\$ 741,00	Bomba centrífuga P= 1 CV	UND.	4	R\$ 757,30	R\$ 3.029,21
R\$ 46,58	Bóia de nível superior e inferior	UND.	4	R\$ 49,31	R\$ 197,23
R\$ 7,79	Cruzeta 32 mm	UND.	1	R\$ 8,05	R\$ 8,05
R\$ 0,74	Joelhos 90° raio curto 25 mm	UND.	6	R\$ 1,24	R\$ 7,42
R\$ 1,42	Joelhos 90° raio curto 32 mm	UND.	20	R\$ 1,92	R\$38,34
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>R\$ 15.420,75</b>
<b>ÁGUA PLUVIAL</b>					

R\$ 58,62	Calha de PVC DN= 150 mm, incluindo suporte, emendas, cabeceiras, bocais e vedação	M	103,78	R\$ 58,62	R\$ 6.083,58
R\$ 18,44	Tubo de PVC 100 mm	M	204,65	R\$ 24,89	R\$ 5.094,56
R\$ 6,27	Flange 1"	UND.	4	R\$ 7,18	R\$ 7,18
	Flange 1.1/4"	UND.	4	R\$ 6,27	R\$ 6,27
	Caixa de areia	UND.	10	R\$ 189,90	R\$ 1.899,00
R\$ 780,00	Filtro de água de chuva	UND.	2	R\$ 1.053,00	R\$ 2.106,00
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>R\$ 15.196,59</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 29.147,67</b>
				<b>M.D.O (35%)</b>	<b>R\$10.201,69</b>
<b>TOTAL =</b>					<b>R\$40.819,02</b>

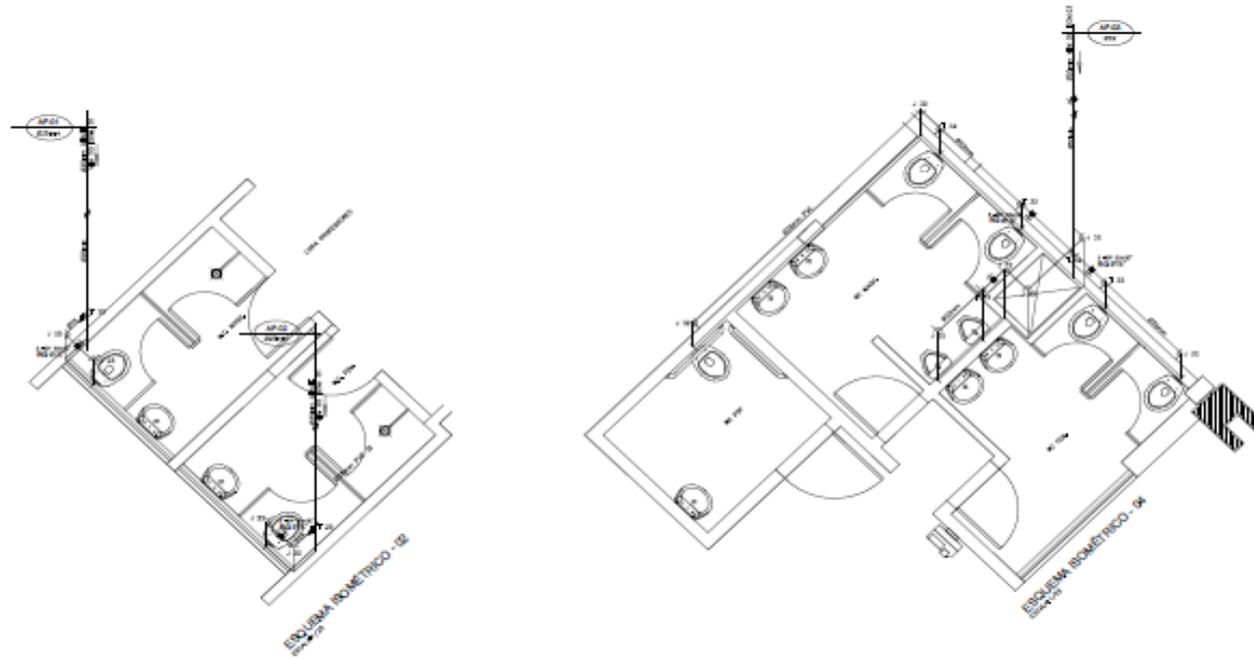
<b>ESCOLA DE MÚSICA DA UFPA - EMUFPA</b>					
<b>Projeto: Aproveitamento de água da chuva no LAESA</b>					
<b>Autor: Raisa Nicole Campos Cardoso</b>					
VALOR	DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	30% C/BDI	TOTAL
	<b>ÁGUA FRIA</b>				
R\$ 3,79	Tubo Soldável 25mm	M	75,13	R\$ 5,12	R\$ 384,40
8,11	Tubo Soldável 32mm	M	18,76	R\$ 10,95	R\$ 205,39
2,28	Tubo Soldável 20mm	M	52,03	R\$ 3,08	R\$ 160,15
9,47	Tubo Soldável 40mm	M	11,17	R\$ 12,78	R\$ 142,80
11,74	Tubo Soldável 50mm	M	9,29	R\$ 15,85	R\$ 147,24
0,37	Joelho 90° Soldável 20mm	UND.	33	R\$ 0,50	R\$ 16,48
R\$ 0,66	Tê Soldável 20mm	UND.	30	R\$ 0,89	R\$ 26,73
R\$ 11,09	Adapt. Auto-Ajust. Soldável p/ caixa d'água 25mm x ¾	UND.	1	R\$ 14,97	R\$ 14,97
R\$ 20,90	Registro de Gaveta PVC Soldável 25mm	UND.	3	R\$ 28,22	R\$ 84,65
0,55	Joelho 90° Soldável 25mm	UND.	18	R\$ 0,74	R\$ 13,37
R\$ 0,24	Redução curta 25 mm x 20 mm	UND.	12	R\$ 0,32	R\$ 3,89
1,42	Joelho 90° Soldável 32mm	UND.	6	R\$ 1,92	R\$ 11,50
R\$ 2,28	Tê Soldável 32mm	UND.	3	R\$ 3,08	R\$ 9,23
R\$ 6,38	Curva 90° Soldável 32mm	UND.	4	R\$ 8,61	R\$ 34,45
R\$ 22,25	Registro de Gaveta PVC Soldável 32mm	UND.	9	R\$ 30,04	R\$ 270,34
R\$ 22,66	Adapt. Auto-Ajust. Soldável p/ caixa d'água 40mm x ¾	UND.	1	R\$ 30,59	R\$ 30,59
R\$ 5,90	Tê Soldável 40mm	UND.	3	R\$ 7,97	R\$ 23,90
R\$ 3,47	Joelho 90° Soldável 40mm	UND.	3	R\$ 4,68	R\$ 14,05

R\$ 46,25	Registro de Gaveta PVC Soldável 40mm	UND.	5	R\$ 62,44	R\$ 312,19
R\$ 26,14	Adapt. Auto-Ajust. Soldável p/ caixa d'água 50mm x ¾	UND.	1	R\$ 35,29	R\$ 35,29
R\$ 3,86	Joelho 90° Soldável 50mm	UND.	1	R\$ 5,21	R\$ 5,21
R\$ 58,39	Registro de Gaveta PVC Soldável 50mm	UND.	2	R\$ 78,83	R\$ 157,65
R\$ 6,67	Tê Soldável 50mm	UND.	2	R\$ 9,00	R\$ 18,01
R\$ 2,20	Joelho 45° Soldável 50mm	UND.	1	R\$ 2,97	R\$ 2,97
R\$ 34,16	Válvulas de Pé com Crivo 32 mm	UND.	2	R\$ 46,12	R\$ 92,23
R\$ 1,42	Joelhos de 90° Raio Curto 32 mm	UND.	4	R\$ 1,92	R\$ 7,67
R\$ 11,90	TÊ de Passagem Direta 32 mm	UND.	2	R\$ 16,07	R\$ 32,13
R\$ 33,93	Registros de Gaveta 32 mm	UND.	4	R\$ 45,81	R\$ 183,22
R\$ 67,12	Válvula de Retenção Pesada 32 mm	UND.	2	R\$ 90,61	R\$ 181,22
R\$49,39	Valvula de retenção pesada 25 mm	UND.	1	R\$ 66,68	R\$ 66,68
R\$2,27	Curva 90° Soldável 25mm	UND.	2	R\$ 3,06	R\$ 6,13
R\$12,00	Flange	UND.	1	R\$ 16,20	R\$ 16,20
R\$919,00	Filtro de água de chuva	UND.	2	R\$ 1.240,65	R\$ 2.481,30
R\$1.957,66	Caixa d' água de 3000 L	UND.	1	R\$ 1.957,66	R\$ 1.957,66
R\$7.320,44	Caixa d' água de 5000 L	UND.	1	R\$ 7.320,44	R\$ 7.320,44
R\$741,00	Bomba centrífuga P= 1 CV	UND.	4	R\$ 1.000,35	R\$ 4.001,40
R\$ 46,48	Bóia de nível superior e inferior	UND.	2	R\$ 62,75	R\$ 125,50
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>R\$ 18.597,23</b>
				<b>M.D.O (35%)</b>	<b>R\$ 6.509,03</b>
<b>TOTAL</b>					<b>R\$25.106,26</b>

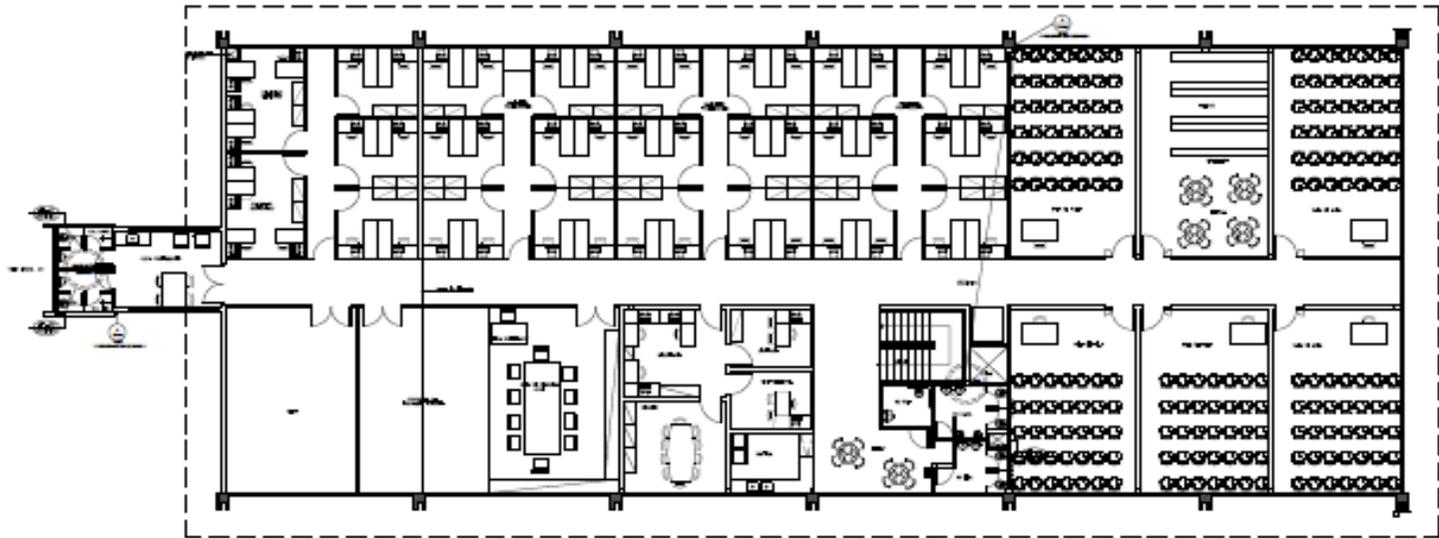
## APÊNDICE D – PLANTA BAIXA E PLANTA ISOMÉTRICA DO LAESA E EMUFPA





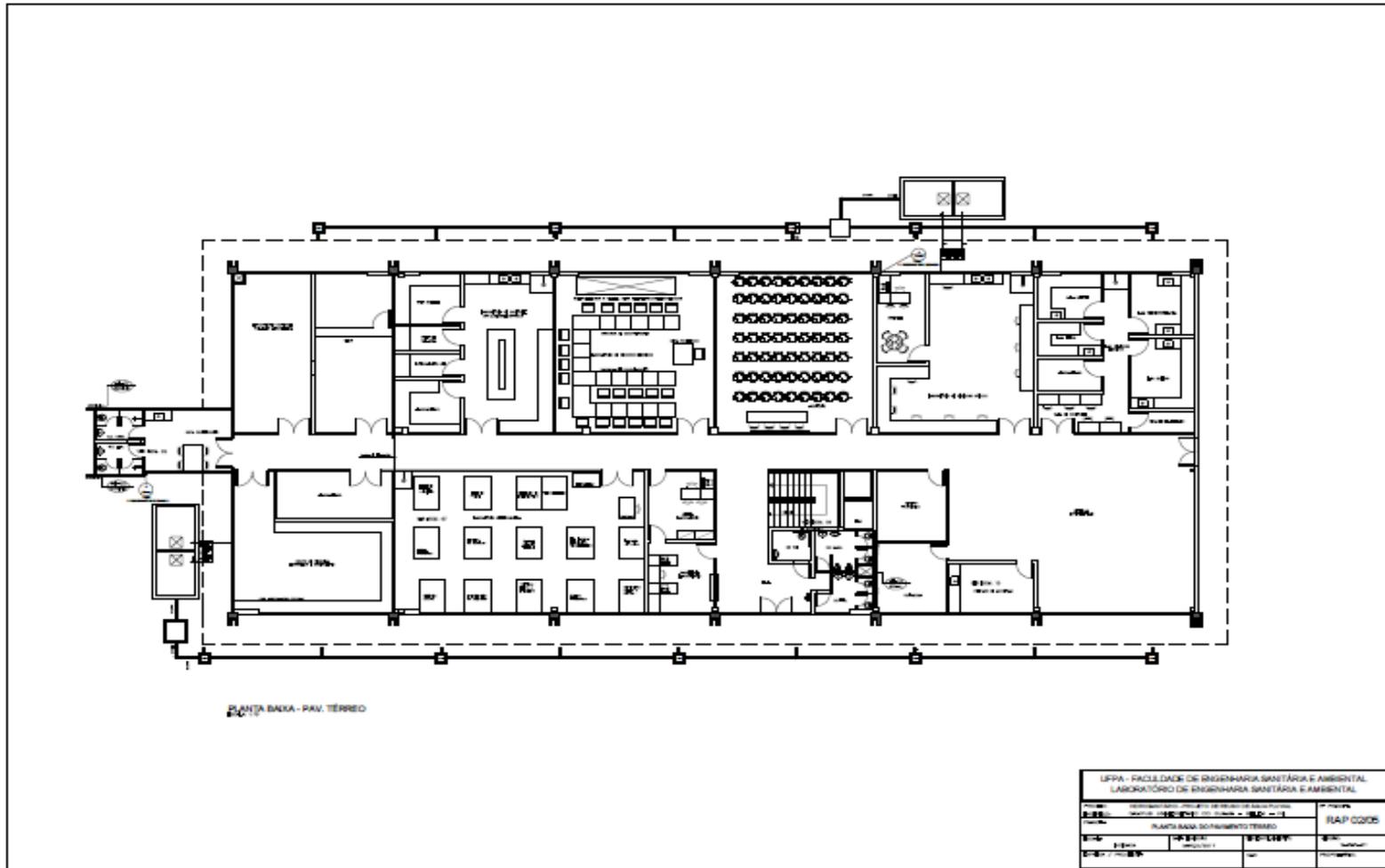


UFPA - FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL			
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL			
PROJETO: RECONSTRUÇÃO - PROJETO DE REDE DE ÁGUA FRIA		FOLHA Nº 05	
LOCAL: CAMPUS I - TRAVESSA 100 - BELÉM - PA		RAB 05/05	
TÍTULO: PLANTA DE EQUIPAMENTOS			
ELABORADO POR:	PROF. DR. CARLOS ALBERTO DE SOUZA	REVISADO POR:	PROF. DR. CARLOS ALBERTO DE SOUZA
DATA:	10/05/2011	DATA:	10/05/2011
PROJETO DE ARQUITETURA:	PA	PROJETO DE:	PA



PLANTA BAXA - PAV. SUPERIOR  
Escala 1:50

UFPA - FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL LABORATÓRIO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL			
INSTITUCIONAL: PROJETO DE RECONSTRUÇÃO NOME: LABORATÓRIO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL		PROJETO:	
PLANTA BAXA DO PAVIMENTO SUPERIOR			
DATA: 15/05/2014	PROJETO:	EXECUÇÃO:	NOME:
ESCALA: 1:50	AUTORIA:	DATA:	LOCAL:



PÊNDICE D – PLANTA BAIXA E PLANTA ISOMÉTRICA DO EMUFPA

