



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SISTEMA DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE CHUVA NA SEDE DA CBTU EM JOÃO
PESSOA**

AFONSO ERIS FERREIRA DE ANDRADE

João Pessoa, Paraíba
Novembro de 2018

AFONSO ERIS FERREIRA DE ANDRADE

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SISTEMA DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE CHUVA NA SEDE DA CBTU EM JOÃO
PESSOA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenação do Curso de Graduação de Engenharia
Civil da Universidade Federal da Paraíba, como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde
Júnior

João Pessoa, Paraíba
Novembro de 2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A553e Andrade, Afonso Eris Ferreira de.

Estudo da viabilidade econômica para sistema de aproveitamento de águas de chuva na sede da CBTU em João Pessoa / Afonso Eris Ferreira de Andrade. - João Pessoa, 2018.

79f.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Reuso da água. 2. Aproveitamento de água pluvial. 3. Viabilidade econômica. I. Título

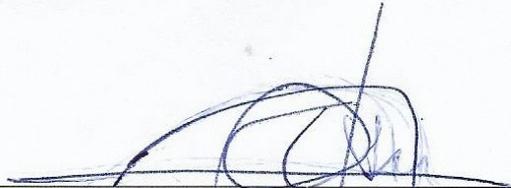
UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

AFONSO ERIS FERREIRA DE ANDRADE

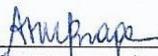
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE CHUVA NA SEDE DA CBTU EM JOÃO PESSOA

Trabalho de Conclusão de Curso em 05/11/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:



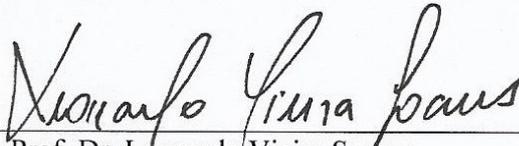
Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



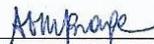
Prof.ª Dr.ª Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Dr. Leonardo Vieira Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof.ª Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Matrícula Siape: 1668619
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Gratidão aos meus pais, José e Andréa, que me apoiam, incentivam e guiam em tudo o que faço. Minhas vitórias são fruto da dedicação incessante deles. Aos meus irmãos, Fernanda e Igor, pelo companheirismo e apoio em todos os momentos.

Ao meu orientador, professor Gilson Barbosa, pelo empenho e incentivo aos estudos em saneamento durante toda graduação. Tenho profunda admiração pela sua competência e profissionalismo.

À engenheira Mariko, que me abriu as portas da CBTU e tornou possível a realização desse trabalho. Sua ajuda foi vital no andamento e desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus amigos, família e namorada que me sossegam nos momentos de estresse e desesperança durante os momentos desgastantes do curso.

À CAPES, CNPq e UFPB que investiram recursos na minha formação profissional, acadêmica e pessoal. Sou profundamente grato às oportunidades que essas instituições me ofereceram.

RESUMO

O objetivo desse estudo é analisar economicamente a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva na sede da CBTU em João Pessoa. A avaliação consistiu em examinar a possibilidade de utilização da água captada pelo sistema para três usos não potáveis: lavagem de trens, jardinagem e descarga de bacias sanitárias. O sistema de aproveitamento pluvial foi estudado em função do volume de armazenamento, diante disso foram determinados onze volumes de reservatório para serem investigados: 3m³, 5m³, 10m³, 15m³, 20m³, 40m³, 60m³, 80m³, 120m³ e 140m³. No desenvolvimento desse estudo foram coletados dados dos consumo de água não potável da empresa e da oferta pluviométrica da cidade de João Pessoa no intuito de descrever o balanço de volumétrico dos reservatórios determinante no cálculo dos volumes aproveitados de cada sistema. A avaliação econômica do sistema foi realizada sob dois cenários de consumo: no primeiro a água é utilizada apenas para jardinagem e lavagem de trens, enquanto no outro cenário o estudo considera adicionalmente o consumo de descargas de bacias sanitárias. O levantamento de oferta e demanda de água, dos volumes aproveitados, custos de construção, implantação e manutenção foram necessários para o cálculo dos indicadores econômicos: valor presente líquido (VPL), tempo de retorno de capital (TRC) e relação benefício-custo (B/C) ao longo dos 25 anos de vida útil do projeto. Na análise financeira Considerou-se uma taxa de juros média de 11,53%, baseada pela taxa Selic dos últimos 3 anos. O diagnóstico de viabilidade econômica do primeiro cenário identificou que os reservatórios de 3m³, 5m³ e 10m³ apresentaram, respectivamente, valor presente líquidos (indicador econômico que indica em valor presente a diferença financeira entre os benefícios e custos) negativos de R\$ -9.151,56, R\$ -7.572,90 e R\$ -1.750,76, relação benefício-custo de 0,56, 0,65 e 0,95 e tempo de retorno de capital inexistentes, apontando a inviabilidade do sistema nesses casos. Por outro lado, no mesmo cenário os reservatório com volumes superiores a 10m³ apresentaram VPL positivos, tempos de retorno entre 20 a 8 anos e relação benefício custo superiores a 1, indicando a exequibilidade do sistema. Quando acrescida a água de descargas de bacias sanitárias no consumo, o sistema de aproveitamento é viável em todos os volumes de reservatórios estudados.

Palavras-chave: reuso da água, aproveitamento de água pluvial, viabilidade econômica.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyse economically the implementation of a rainwater harvesting system at the CBTU head office in João Pessoa. The evaluation consisted of examining the possibility of using the water captured by the system for three non-potable uses: train washing, gardening and toilet flushing. In this study, the reservoir was investigated in 11 different volumes: 3m³, 5m³, 10m³, 15m³, 20m³, 40m³, 60m³, 80m³, 120m³ and 140m³. In the development of this study, data was collected on the consumption of non-potable water from the company and the pluviometric supply of the city of João Pessoa in order to describe the volumetric balance of the reservoirs determining the calculation of the volumes used in each system. The economic evaluation of the system was developed under two consumption scenarios: in the first one, the water is used only for gardening and train washing, while in the other scenario the study considers additionally the consumption of toilets. The survey of, construction, implementation and maintenance costs were necessary for the calculation of the economic indicators: net present value (NPV), payback period and cost-benefit analysis (CBA) over the 25-year life of the project. In the financial analysis, it was considered an average interest rate of 11.53%, based on the Selic rate of the last 3 years. The economic viability diagnosis of the first scenario identified that the 3m³, 5m³ and 10m³ reservoirs had, respectively, a negative net present value (NPV) of R\$ -9,151.56, R\$ -7,572.90 and R\$ -1,750.76 , cost-benefit ratio of 0.56, 0.65, and 0.95 and non-existent payback period, showing that the system is not viable in these cases. On the other hand, in the same scenario the reservoirs with volumes greater than 10m³ had a positive NPV, payback period between 20 and 8 years and cost benefit ratio superior to 1, indicating the feasibility of the system. When water from toilet flushing is added to the consumption, the recovery system is feasible in all the volumes studied.

Keywords: water reuse, rainwater harvesting, economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Total dos recursos renováveis de água por país em km ³ por ano.....	3
Figura 1.2 – As regiões hidrográficas e as divisões político administrativas do Brasil.....	4
Figura 1.3 – Disponibilidade hídrica superficial das regiões hidrográficas em mil metros cúbicos por segundo (mil m ³ /s).....	5
Figura 1.4 – População por região hidrológica em mil habitantes.....	6
Figura 3.1 – Sistema de coleta e armazenamento do povo Maia chamado de Chultun.....	17
Figura 3.2 – Construção de cisternas de placas pré-moldadas no semiárido nordestino.....	20
Figura 3.3 – Gradeamento sobre calhas de beiral.....	24
Figura 3.4 – Dispositivo de descarte de água de limpeza do telhado.....	25
Figura 4.1 – Prédio central da CBTU.....	34
Figura 4.2 – Mapa da linha ferroviária na região metropolitana de João Pessoa.....	35
Figura 4.3 – Planta baixa da sede da CBTU.....	36
Figura 4.4 – Planta de coberta da sede da CBTU.....	37
Figura 4.5 – Acesso à plataforma de embarque e desembarque.....	38
Figura 4.6 – Localização do posto pluviométrico e da sede da CBTU no mapa.....	39
Figura 4.7 – Área de jardinagem localizada entre o estacionamento e a plataforma de embarque e desembarque.....	41
Figura 4.8 – Gramado localizado na sede da CBTU.....	42
Figura 4.9 – Local de estacionamento e lavagem de trens.....	43
Figura 4.10 – Higienização realizada no interior do VLT.....	44
Figura 4.11 – Lavagem externa do VLT com auxílio de mangueira.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Principais ações do plano de ação do CAES para 2018.....	14
Tabela 3.1 – Coeficiente de <i>Runoff</i> pelo tipo do material.....	23
Tabela 3.2 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para fins não potáveis.....	27
Tabela 3.3 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para reuso.....	28
Tabela 3.4 – Frequência de manutenção do sistema de aproveitamento de água de chuva.....	29
Tabela 3.5 – Critério de decisão do valor presente líquido.....	30
Tabela 3.6 – Critérios de decisão de projeto para a relação benefício-custo.....	33
Tabela 4.1 – Localização do posto pluviométrico e local da pesquisa.....	39
Tabela 4.2 – Determinação do saldo de água pluvial no reservatório ao longo do ano.....	47
Tabela 5.1 – Média mensal de precipitação no posto pluviométrico.....	53
Tabela 5.2 – Áreas de captação consideradas para o sistema de aproveitamento.....	54
Tabela 5.3 – Entrada de água de chuva em metros cúbicos por mês.....	55
Tabela 5.4 – Demanda de água para fins não potáveis.....	56
Tabela 5.5 – Consumo de água não potável conforme o mês em cada cenário.....	56
Tabela 5.6 – Saldo volumétrico mensal segundo o cenário de consumo.....	57
Tabela 5.7 – Volume aproveitado segundo o volume de reservatório.....	58
Tabela 5.8 – Gastos fixos com o sistema de captação e armazenamento de água livre da capacidade de armazenamento.....	
Tabela 5.9 – Composição do custo de construção do filtro de areia.....	
Tabela 5.10 – Despesas referentes ao reservatório de água de chuva.....	62

Tabela 5.11 – Investimento inicial segundo o volume de armazenamento.....	62
Tabela 5.12 – VPL em função do volume do reservatório no cenário 1.....	64
Tabela 5.13 – Tempo de retorno em função do volume do reservatório no cenário 1.....	65
Tabela 5.14 – Relação benefício/custo em função do volume de reservatório no cenário 1.....	66
Tabela 5.15 – VPL em função do volume do reservatório no cenário 2.....	67
Tabela 5.16 – Tempo de retorno em função do volume do reservatório no cenário 2.....	68
Tabela 5.17 – Relação benefício/custo em função do volume de reservatório no cenário 2.....	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Série histórica de chuvas anuais do posto pluviométrico entre 1983 e 2016.....	40
Gráfico 4.2 – Série histórica da taxa Selic (% a.a.) a partir de 2015.....	50
Gráfico 5.1 – Precipitação mensal média em milímetros de chuva no posto pluviométrico de Mandacaru.....	54
Gráfico 5.2 – Variação do volume aproveitado segundo o volume do reservatório.....	59
Gráfico 5.3 – Variação do investimento inicial em reais pelo volume de armazenamento em metros cúbicos.....	63
Gráfico 5.4 – VPL em função do volume de armazenamento em ambos cenários.....	66
Gráfico 5.5 – Tempo de retorno em função do volume do reservatório em ambos os cenários.....	67
Gráfico 5.6 – Relação benefício/custo em função do volume de reservatório em ambos os cenários.....	68

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Importância da água.....	1
1.2 A escassez de água.....	2
1.3 A disponibilidade de água.....	3
1.4 Desabastecimento nos centros urbanos.....	6
1.5 Conservação e reuso da água.....	8
1.6 Uso da água de chuva.....	9
1.7 Políticas.....	10
1.8 Justificativa.....	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Aproveitamento predial de água pluvial.....	17
3.2 Componentes de um sistema aproveitamento de águas pluviais.....	21
3.2.1 Área de Captação.....	22
3.2.2 Condutores, grades e dispositivos de descarte inicial.....	23
3.2.3 Reservatório de armazenamento e filtro de areia.....	26
3.3 Qualidade da água de chuva.....	27
3.4 Viabilidade econômica.....	29
3.4.1 Valor presente líquido.....	30
3.4.2 Tempo de retorno de capital.....	31
3.4.3 Relação Benefício-Custo.....	32
4. METODOLOGIA.....	34
4.1 Área de estudo.....	34
4.2 Características pluviométricas.....	38
4.3 Levantamento do consumo de água não potável.....	40
4.4 Levantamento dos volumes de armazenamento.....	46
4.5 Identificação dos custos e benefícios do projeto.....	48
4.5.1 Custos de investimento direto.....	48
4.5.2 Custo de investimento indireto.....	50

4.5.3 Custos de exploração.....	50
4.5.4 Benefícios econômicos.....	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
5.1 Disponibilidade de água pluvial	53
5.2 Demanda por água pluvial	55
5.3 Volume aproveitado.....	57
5.4 Custos de investimento	59
5.5 Análise econômica	63
5.5.1 Cenário 1	64
5.5.2 Cenário 2	67
5.5.3 Comparação dos cenários.....	69
6. CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1. INTRODUÇÃO

1.1 Importância da água

A água é de grande importância social e base para o desenvolvimento econômico; é vital para estabelecer políticas de saúde pública, gerar energia, produzir alimentos e criar empregos. É um recurso essencial para sustentar a vida e os meios de subsistência. A água potável é necessária para hidratação, higiene e fornecimento dos alimentos. No ambiente natural é indispensável para promover a manutenção dos ecossistemas, atender as necessidades básicas humanas e apoiar as atividades econômicas e naturais.

A irrigação e a produção de alimentos constituem as atividades de maior demanda da água. Cerca de 70% da água doce retirada dos mananciais possuem essa destinação e em alguns países em desenvolvimento esse índice chega a atingir os 90%. A água é fundamental para produção da energia, no resfriamento de reatores na geração de eletricidade térmica e nuclear, ou como fonte de energia nas barragens hidrelétricas. Os biocombustíveis também representam uma demanda adicional para a água competindo e limitando o uso de terras para produção de comida. Além das necessidades de hidratação, a água é usada para o atendimento das necessidades fisiológicas básicas das pessoas, portanto o acesso aos serviços de abastecimento de água e saneamento básico são necessários para supri-las adequadamente. A água é essencial para várias outras atividades para a sociedade como transporte, recreação, indústria e artesanato (UNESCO, 2012).

As demandas por água são basicamente divididas em cinco setores principais:

- Agricultura e alimentos, responsável pelo maior demanda por volume de água globalmente;
- Energia, que envolvem quantidades de água normalmente não reportadas;
- Indústria, que cobrem uma variada e ampla quantidade de atividades que geram renda e altamente responsável pelos impactos na qualidade e quantidade dos recursos locais de água;
- Humano, inclui a hidratação e usos domésticos como cozinhar, limpar, higienizar e alguns aspectos do saneamento;
- Ecossistemas, dos quais a demanda é determinada pelos requerimentos para sustentar e restaurar os serviços que a sociedade demanda dos próprios ecossistemas.

Cada tipo de uso da água é determinado por uma grande quantidade de fatores como mudanças demográficas, desenvolvimentos tecnológicos, crescimento econômico, mudança de dietas e valores culturais que por sua vez ditarão as demandas atuais e futuras por água. A demanda por água depende, portanto, da quantidade de comida, energia, atividade industrial, serviços urbanos e rurais necessários para atender aos requisitos das populações, das mudanças dos cenários socioeconômicos e do quão eficientemente a sociedade usará os recursos limitados de água (UNESCO, 2012).

1.2 A escassez de água

Os efeitos combinados do crescimento da população, das cidades e conseqüentemente da demanda por energia e alimentos aumentará significativamente a demanda por água, enquanto a oferta por água se torna cada vez mais instável e incerta (BANCO MUNDIAL, 2016).

O aumento da população, melhoria dos padrões de vida, mudança nos padrões de consumo e expansão de agricultura irrigada são as principais causas para uma crescente demanda de água. A disponibilidade global de água é suficiente para suprir essa crescente demanda, entretanto as variações de demanda e disponibilidade por água são espaciais e temporais, causando a escassez de água em regiões específicas do mundo e em determinadas épocas do ano. A essência da escassez de água é geográfica e ocasionada pelo desajuste temporal entre demanda e disponibilidade (HOEKSTRA & MEKONNEN, 2016).

Hoekstra & Mekonnen (2016) identificaram que cerca de 4,3 bilhões de pessoas no mundo, 71% da população, vivem em situação de escassez de água moderada a severa por pelo menos um mês no ano, e entre 1,8 a 2,9 bilhões de pessoas vivem de 4 a 6 meses do ano em situação de escassez severa. Em todo o mundo, em torno de meio bilhão de pessoas vivem em regime de escassez severa durante todos os meses do ano.

Segundo o Banco Mundial (2016), a escassez de água, exacerbada pelas mudanças climáticas, pode resultar numa diminuição do PIB em até 6% em 2050 nos países localizados em regiões áridas devido aos impactos negativos causados na educação, saúde e renda, assim como pode estimular a migração de populações e desencadear conflitos regionais. Não existe, portanto, uma escassez global de água como pensado, mas regiões e países específicos precisam enfrentar os problemas críticos apresentados pela falta desse recurso. Se a atual política de gestão de recursos hídricos persistirem e os modelos climáticos se mostrarem corretos, a

escassez de água irá se proliferar para regiões onde atualmente não existem e tornar a água mais escassa nos locais onde prontamente acontece.

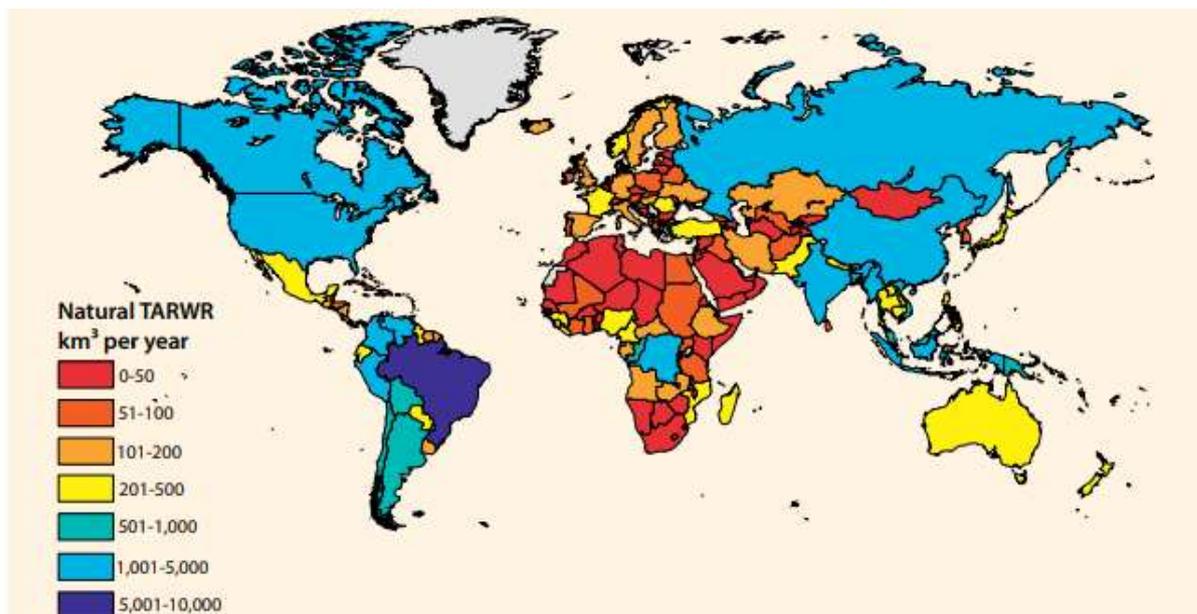
A água como um recurso escasso, se mal alocado ou usado ineficientemente, causa impacto no desempenho econômico afetando o crescimento do PIB, balanças comerciais e a estrutural industrial dos países. A escassez de água causa impactos a longo prazo na saúde, nutrição, educação e no capital humano provoca pobreza e aliado a má gestão desse recurso ocasiona conflitos (BANCO MUNDIAL, 2016).

1.3 A disponibilidade de água

A precipitação distribui água irregularmente pelo planeta a cada ano, havendo variações consideráveis entre climas e regiões. Portanto, o volume de água resposto pelas chuvas é desigual entre os países que recebem diferentes quantidades de água em determinados períodos no ano.

A figura 1.1 fornece os dados de reposição média do recursos renováveis de água por país medidos em quilômetros cúbicos dos calculados entre os anos de 1985 e 2010. Observa-se claramente no mapa que alguns países possuem mais disponibilidade hídrica do que outros e o Brasil é o país que mais possui água repostada naturalmente por ano.

Figura 1.1 - Total dos recursos renováveis de água por país em km³ por ano

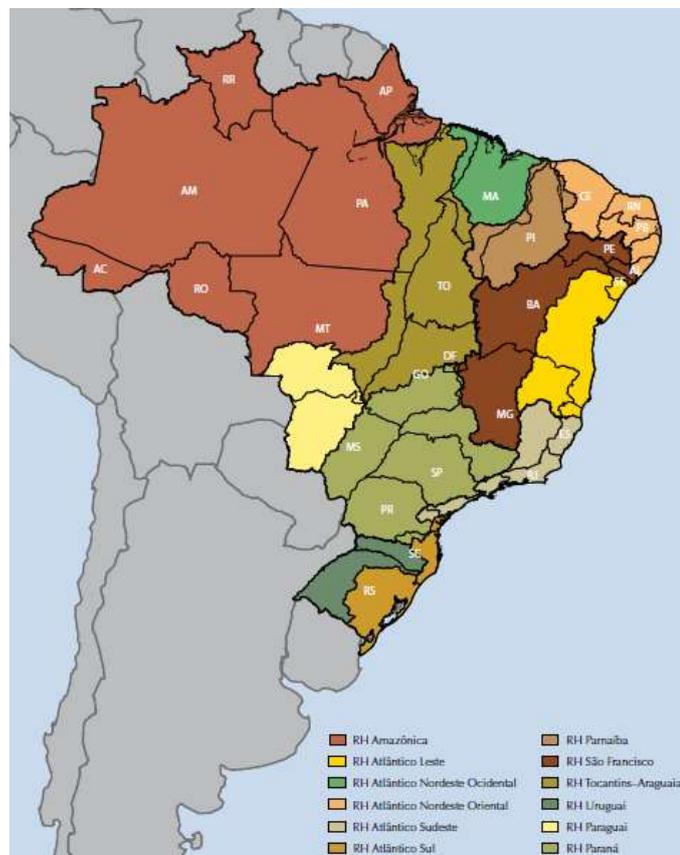


Fonte: AQUASTAT, 2011

Segundo dados da Agência Nacional de Águas (2007) a distribuição per capita da água no Brasil é de aproximadamente 33 mil m³/hab.ano, valor extremamente elevado quando comparado ao mínimo recomendado pela ONU de 1700 m³/hab.ano para determinar se o país possui situação de estresse hídrico. Apesar da vasta disponibilidade total de água, representando em torno de 12% da disponibilidade de água doce do planeta, a distribuição desse recurso dentro do país não é equilibrada. A região Norte concentra mais de 80% da quantidade de água disponível, representando apenas 5% da população brasileira, enquanto que a região litorânea brasileira abriga mais de 45% da população e possui menos de 3% da disponibilidade hídrica de água do país.

O país possui 12 regiões hidrográficas demarcadas de acordo com a localização das principais bacias hidrográficas e são elas: Região Hidrográfica Amazônica, do Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Parnaíba, São Francisco, Tocantins Araguaia, Uruguai, Paraguai e Paraná. A figura 1.2 mostra a divisão das regiões hídricas de acordo com o adotado no Plano Nacional de Recursos Hídricos.

Figura 1.2 – As regiões hidrográficas e as divisões político administrativas do Brasil

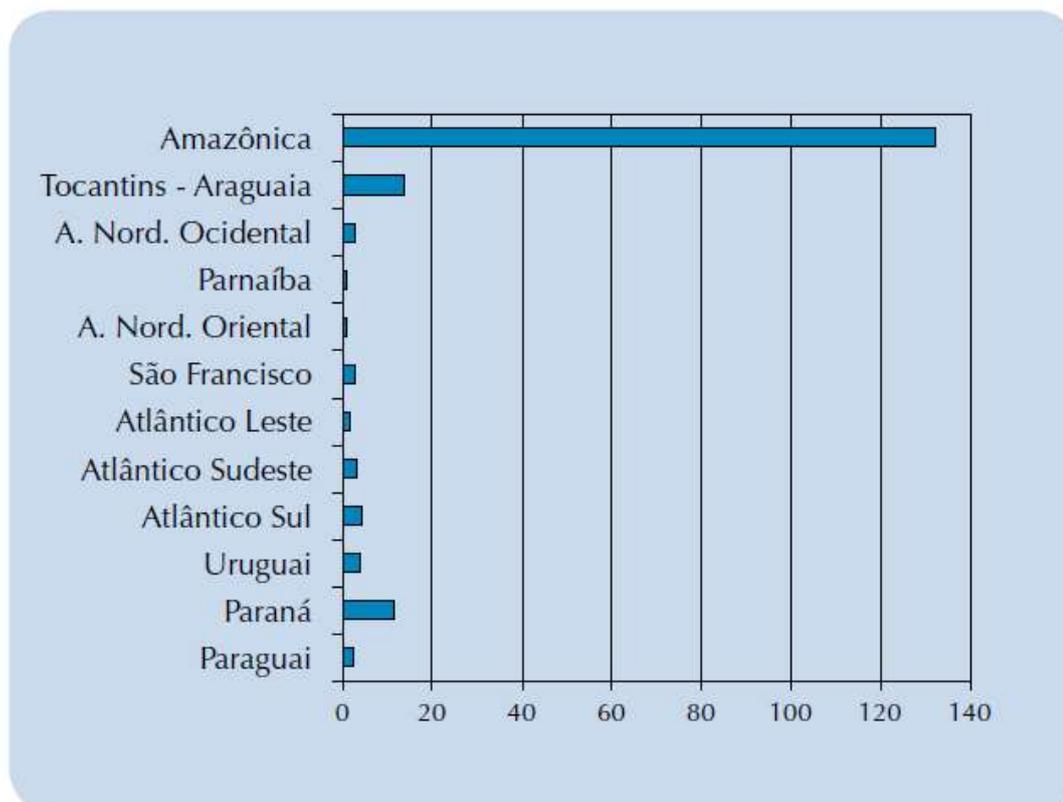


Fonte: ANA, 2007

A maior região hidrográfica é a Amazônica com 3872 km² e aproximadamente 7,7 milhões de habitantes com disponibilidade hídrica superficial em torno de 132 mil m³/s. Em contraste, a região hidrográfica do Paraná possui disponibilidade hídrica 10 vezes menor que a Amazônica, de aproximadamente 13 mil m³/s, e abriga uma população 7 vezes maior, com 55 milhões de pessoas, referente a mais de um quarto da população brasileira. As figuras 1.3 e 1.4 mostram, respectivamente, a distribuição populacional e a disponibilidade hídrica superficial em cada região hidrográfica no Brasil.

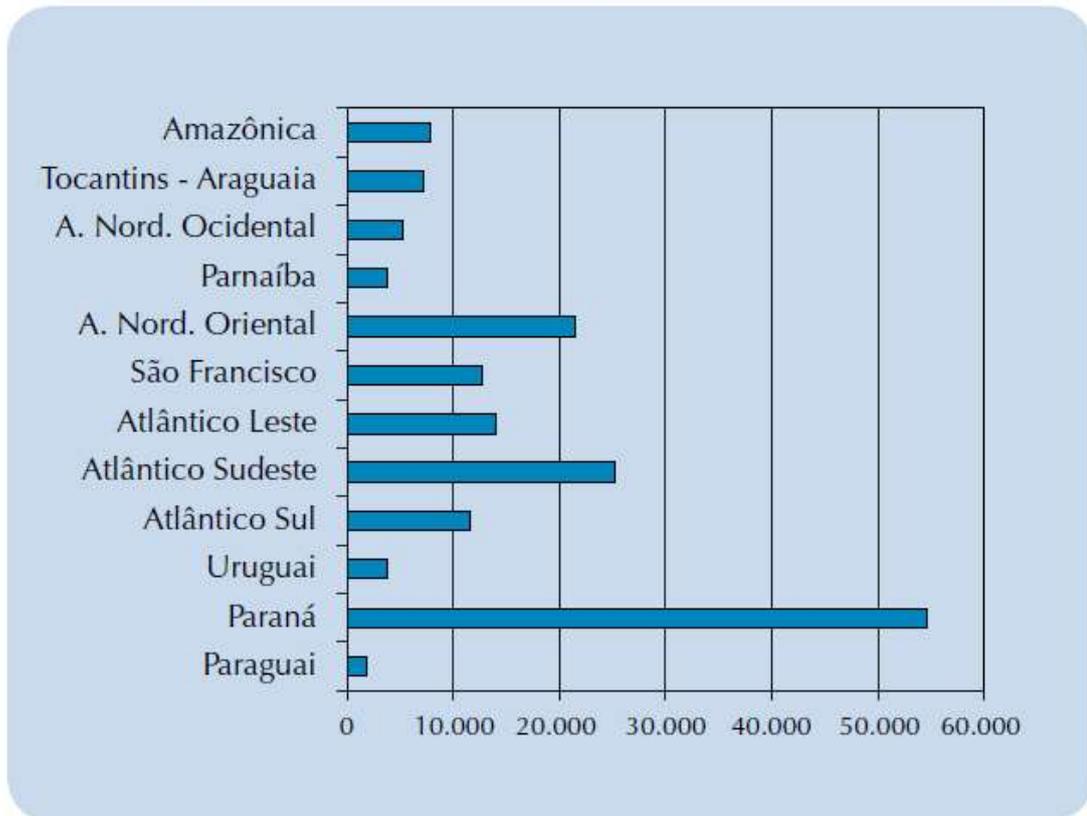
A desigualdade entre a população e disponibilidade hídrica em regiões específicas são os fatores que ocasionam as deficiências de água abaixo da necessária para o abastecimento da população, como os na região hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental que engloba a Paraíba, Rio Grande do Norte, e parte de Alagoas, Ceará e Pernambuco. Essa região possui a terceira menor disponibilidade hídrica do país, contudo apresenta a quarta maior população dentre as demais regiões.

Figura 1.3 – Disponibilidade hídrica superficial das regiões hidrográficas em mil metros cúbicos por segundo (mil m³/s)



Fonte: ANA, 2007

Figura 1.4 – População por região hidrológica em mil habitantes



Fonte: ANA, 2007

O Brasil encontra-se em posição bastante confortável em relação ao patrimônio hídrico, o que garante posição competitiva internacional bastante privilegiada, todavia a distribuição de água é desigual, em termos populacionais e geográficos. A região hidrográfica Amazônica abriga cerca de 74% de toda disponibilidade de água nacional, enquanto é habitada por menos de 5% da população brasileira. Por outro lado, a região hídrica Atlântica Nordeste Oriental registra disponibilidade de água per capita menor que 500 m³/hab.dia apresentando quadros de escassez ao longo do ano, situação configurada por vazões inferiores a 1000 m³/hab.dia. As regiões hidrográficas do Atlântico Leste, Parnaíba e São Francisco destacam-se também por situações de estresse hídrico.

1.4 Desabastecimento nos centros urbanos

Nos grandes centros urbanos o abastecimento de água potável é dependente unicamente das redes de abastecimento das concessionárias de saneamento, fortemente concentradas em uma única fonte de água. À medida que as cidades se expandem, a captação de água ocorre em bacias sempre cada vez mais distantes e fora da área de influência de planejamento do

município. A dispersão da distribuição demográfica nas grandes cidades é mais um fator de complexidade do abastecimento de água, o que pode elevar bastante os custos de abastecimento. São vários os fatores que podem gerar a falta de água nos centros urbanos: a localização dos mananciais, nível de exposição dos mananciais à acidentes com produtos contaminantes, utilização de aquíferos subterrâneos, política de cortes, fonte de energia principal utilizada no abastecimento, crescimento populacional, taxa de urbanização entre vários outros (MORETTI, VARALLO, COMARU, 2013).

O problema de abastecimento dos grandes centros urbanos atinge várias cidades do Brasil. Um estudo realizado por Cardoso e Bordignon (2009) analisou a quantidade de municípios no estado de Santa Catarina que declaram situação de emergência devido à estiagem nos anos de 2006 e 2009. Constatou-se que na primeira estiagem do ano de 2006 exatamente 195 municípios declararam estado de calamidade pública e em 2009 foram 125 municípios. O estudo analisou os usos prioritários dos recursos hídricos, a disponibilidade hídrica e estimativa de demanda da cidade de São Bento, uma das cidades em situação de emergência em ambas estiagens, e constatou a necessidade de desenvolver políticas de incentivo ao uso racional da água.

Pinto e Araújo Neto (2009) analisaram o Atlas das Regiões Metropolitanas da Agência Nacional de Águas para identificar o panorama de águas nos centros urbanos com população superior a um milhão de pessoas. O estudo classificou as cidades em três classes que se referem ao atendimento dos mananciais à futura demanda de água. As cidades de Rio de Janeiro, Porto Alegre, Belém e Manaus apresentaram mananciais de primeira classe com grau de atendimento à demanda satisfatório, enquanto as cidades de Fortaleza, Curitiba e Goiânia apresentaram mananciais de segunda classe com índices de atendimento satisfatórios, mas em situação de alerta e, as cidades de São Paulo, Guarulhos, Brasília e Recife possuem mananciais de terceira classe caracterizados pelo déficit hídrico.

A cidade de Recife, em Pernambuco, enfrenta graves desafios para garantir a população o acesso à água. Cerca de um terço da população residente enfrenta regime de constante e intenso racionamento de água. O regime de racionamento do abastecimento de água acontece desde o ano de 1983 em modo ininterrupto, agravando as condições de desigualdade social e revelando a posição de vulnerabilidade de 46% população que vive em áreas precárias (IPEA, 2015).

Outro exemplo é a cidade de Campina Grande, na Paraíba, historicamente reconhecida por enfrentar crises relativas à disponibilidade hídrica por depender de uma única fonte de

abastecimento de água. Marinho (2018) verificou que o desabastecimento na cidade de Campina Grande poderia ser amenizado com a implantação dos sistemas de reuso de água residuais e captação das águas de chuvas. Caso os residentes de um determinado bairro da cidade reutilizassem 20% de toda água residual gerada e captassem 4,67% toda água de chuva precipitada, haveria uma redução anual de 21,70% nos sistema de abastecimento de água.

Constata-se que existe uma falta de integração entre a melhoria dos usos de água nos ambientes urbanos e a preservação dos recursos hídricos. É necessário criar um rompimento da centralidade dos sistemas de abastecimentos, minimizar a vulnerabilidade dos centros urbanos e garantir uma maior resiliência urbana à água (MARINHO, 2018).

1.5 Conservação e reuso da água

O desenvolvimento de práticas, iniciativas técnicas e tecnologias atuando tanto na demanda por água como na oferta permite o uso racional, sustentável e incentiva o desenvolvimento de fontes alternativas para o uso da água. A WUCB, Water Use and Conservation Bureau, (1999) cita diversas práticas qualificadas como medidas de conservação da água: redução dos usos característicos; redução dos desperdícios e perdas de água; aumento da eficiência do uso da água e aumento da reciclagem e reuso. Outras medidas de conservação da água são: conserto de vazamentos; redução da pressão; educação ambiental; reuso de águas cinzas; aproveitamento de água de chuva; aproveitamento da água de subsolo.

Devido aos problemas de abastecimento ao longo da história vários esforços foram tomados em relação à conservação de água ligada às instalações prediais e irrigação. Guanayern (2001) explica que o sistema de conservação de água mais antigo no Brasil é localizado em Fernando de Noronha datado de 1943 onde foram empregadas técnicas de captação e aproveitamento de águas de chuva.

Na Austrália, os sistemas de conservação são utilizados para superar as restrições de uso de água resultados das constantes secas no país. Em 1999, sistema de reuso doméstico de água tornou-se tendência na Austrália, e foi utilizado em escala real em Rouse Hill, localizado na periferia de Sydney. Foi implementado o uso de água reciclada para fins não-potáveis em lavagens de carros, irrigação ornamental e de espaços abertos, reservas de incêndio e bacias sanitárias. Os sistema duplo possui tubulações de água potável e reciclada diferenciadas por cores, atendeu inicialmente 300 mil pessoas e gerou uma economia de 40% no uso de água

potável. O sistema de duplo reduziu a tarifa de água reciclada, resultando em aumento do uso não potável e revelando-se uma alternativa economicamente viável (ATSE, 2004).

A necessidade de conservar os recursos sempre cada vez mais escassos, o alto custo de desenvolver novas fontes de abastecimento resultou no desenvolvimentos de procedimentos para a conservação da água no meio rural e urbano. Reaproveitar a água é tanto uma atividade de proteção ambiental como de responsabilidade econômica, portanto, pesquisadores, governos, organizações não-governamentais e empresas investem no uso eficiente da água. O reuso para fins não potáveis é uma solução para o crescente problema do desabastecimento nos centros urbanos, porque há um aumento no volume de água potável poupada substituída por água de qualidade inferior em usos que demandam baixa potabilidade. Afinal, o reuso de água reduz a demanda por água potável provendo água com qualidade compatível com a utilização específica (DIAS, 2007).

1.6 Uso da água de chuva

O escoamento da água de chuva pode ser captado e recolhido em tanques domésticos ou a partir do sistema público de drenagem pluvial. A captação e uso de água de chuvas é considerado um recurso adicional que pode ser incluído aos sistemas convencionais permitindo o gerenciamento e racionamento eficaz, e igualmente evitando a degradação dos recursos hídricos (ATSE, 2004).

A utilização de água de chuva é cada vez mais diversa devido a presença de novas tecnologias que garantem o uso econômico de água, não obstante os diversos modelos implementados são estudados e comprovam a viabilidade da implementação. A água de chuva coletada tem diversos usos não-potáveis: água para descarga de bacia sanitária, irrigação de jardins, lavagem de áreas comuns e lavagem de automóveis (DIAS, 2007).

Segundo Chiocci (2003) a captação e coleta de água de chuvas é economicamente viável em condomínios. Para tanto, a água coletada não é indicada para consumo direto, deve ser filtrada para ser utilizada em reservas de incêndio, jardinagem, descargas em bacias sanitárias e lavagem de pisos. O sistema mais simples consiste em coletar a água de chuva dos telhados, através de calhas e tubos, direcionar todo o volume captado a um filtro retendo a passagem de sólidos e por fim sendo armazenada em um tanque subterrâneo. Então, a água de chuva é bombeada para um reservatório superior onde vai abastecer torneiras, bacias sanitárias e pontos de utilização de água não-potável.

A implantação dos sistemas de coleta e reaproveitamento de água de chuva pode ser viável de acordo com o vários tipos de casos (CHIOCCI, 2003):

- Condomínios horizontais e residências: baixo custo de implantação quando há planejamento paralelo à construção do imóvel. Alto aproveitamento de água de chuva, pois a volume de água coletado pela área de telhado é relativamente superior ao consumo total de água não-potável dos residentes.
- Condomínios verticais: baixo custo de implantação, entretanto não há economia de água, pois a área de cobertura não é suficiente para atender o consumo total de água não-potável dos residentes.
- Armazéns e galpões: a economia de água é relevante e a grande área de cobertura é suficiente para garantir o retorno econômico do sistema.
- Loteamentos industriais, residenciais e aeroportos: os custos de preparação de obras de drenagem e retenção de águas pluviais nesses casos podem ser reduzidos se for previsto um sistema de coleta e utilização de água de chuva.

As principais vantagens de utilizar o sistema de captação e utilização de água de chuva são: a diminuição da demanda de água tratada, a minimização dos picos de vazão de chuva no sistema de drenagem urbana, podendo amenizar as enchentes; e a economia na redução da compra de água potável estimada em 30%, segundo Tomaz (2010). Os sistemas de aproveitamento de água de chuva são vantajosos em termos econômicos, sociais e ambientais, é uma solução que sustenta os três pilares da sustentabilidade.

1.7 Políticas

O elo existente entre água e clima e as necessidades desse recurso para a produção de alimentos, energia, meio ambiente e urbanização são significativas. As constantes mudanças climáticas exigirão contínuas avaliações das políticas tomadas. Desse modo, as políticas devem diminuir e controlar os déficits hídricos, reconhecer as necessidades dos setores para alocar mais água sabiamente e incentivar o uso e a gestão prudente (BANCO MUNDIAL, 2016).

Em setembro de 2015, os estados-membros das Nações Unidas adotaram a Agenda 2030 que compreendem objetivos que abordam questões de desenvolvimento sustentável e orienta a necessidade das pessoas pelos próximos anos.

Os Objetivos Globais para o Desenvolvimento Sustentável foram estabelecidos pela Agenda 2030 na Assembleia Geral da Nações Unidas no total de 17 metas globais que devem ser atingidas até 2030. Um dos objetivos de desenvolvimento sustentável elaborado pela Organização das Nações Unidas (2015) é o acesso à água limpa e ao saneamento, visando assegurar a disponibilidade e a gestão de água e saneamento para todos. As seis metas do sexto objetivo direcionam as políticas relacionadas a água e saneamento.

- 6.1. Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água potável, segura e acessível para todos;
- 6.2. Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade;
- 6.3. Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas, e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente;
- 6.4. Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água;
- 6.5. Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado;
- 6.6. Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos;
 - 6.a. Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio ao desenvolvimento de capacidades para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados a água e ao saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso;
 - 6.b. Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento;

Alcançar os objetivos colocados na agenda exigirá esforços concentrados e cooperações para atingir as metas desejadas. Os governos como agentes do Estado devem garantir a água como necessidade humana, para isso são necessárias a criação de políticas públicas, criação de leis e regulações do espaço urbano, construir recursos e infraestrutura necessárias para o cumprimento das metas da Agenda 2030. A meta 6.4 afirma a necessidade de aprimorar o uso eficiente, tornar sustentável as retiradas de água doce e diminuir o problema da escassez, enquanto, Moretti, Varallo e Comaru (2013) em estudo discutem, no Brasil, a falta do debate político dos fatores que potencializam o desabastecimento, a ausência de planos municipais que previnam os riscos de desabastecimento e a fraca resiliência dos sistemas de fornecimento de água.

No Brasil, a Lei nº 9.433/97 criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e compõe em uma variedade de instrumentos de gestão das políticas públicas quanto ao planejamento e os instrumentos de controles administrativos dos recursos hídricos. A lei estabelece como se dará a utilização dos recursos de uma bacia, enquadra os corpos de águas em classes, sistematiza todas as informações sobre os recursos hídricos do país, regulamenta a outorga e a cobrança do usos dos recursos hídricos. A lei ainda cita no Art. 2º os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos “a utilização racional e integrada dos recursos hídricos [...] com vistas ao desenvolvimento sustentável”, no Art. 7º que trata do conteúdo do Plano de Recursos Hídricos a presença de “metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis” e, por fim, no Art. 19º relacionado a cobrança do uso dos recursos hídricos a “incentivar a racionalização do uso da água”. Em outubro de 2017, foi sancionada a Lei nº 13.501 que inclui o aproveitamento de águas pluviais como objetivo do Plano Nacional de Recursos Hídricos que passa a “incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais”.

Buriti e Barbosa (2014) ao analisar a políticas que regulam e que controlam e usam os recursos naturais do Brasil, observou limitações na exequibilidade da políticas públicas em torno da Lei nº 9.433/97 e uma forte distância na prática da atuação política e social da legislação. É necessário uma atuação especial do poder público para tonar as ações em torno da gestão de água mais racionais e sustentáveis, de modo postergar a escassez e a degradação dos recursos hídricos e ambientais.

No estado da Paraíba, a Lei nº 9.130 de 2010 criou o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações Públicas da Paraíba que propõe medidas para o uso de fontes alternativas para captação e reaproveitamento de água em novas edificações. No âmbito do município de João Pessoa, a Lei nº 12.166 de 2011 instituiu o reuso de água de chuva para uso não potável nos imóveis do município, com finalidade de reduzir o consumo de água da rede pública e encorajar a conservação da água.

Em 1999, um projeto do Ministério do Meio Ambiente chamado Agenda Ambiental da Administração Pública (A3P) que revia os padrões de produção e consumo das instituições públicas se tornou referência nas atividades de gestão pública. O programa busca estimular ações ambientais e propagar os princípios da responsabilidade socioambiental na Administração Pública. A reflexão a mudança de atitude dos servidores públicos em relação esse novo tipo de gestão são os principais objetivos do programa. Racionalizar o uso dos recursos naturais, reduzir gastos das instituições públicas e revisar os padrões de consumo e

produção adotando caráter sustentável são alguns dos vários propósitos da A3P. Toda e qualquer instituição pública pode aderir aos termos da A3P e a assinatura do termo mostra o comprometimento da instituição com os compromissos ambientais e a gestão proposta.

1.8 Justificativa

No cenário apresentado de escassez de água, problemas de disponibilidade hídrica, crescente demanda por água e energia e desabastecimento dos centros urbanos é crucial a implementação de iniciativas que atendam às necessidades atuais e não comprometam as futuras demandas das próximas gerações. O Estado assume papel importante como interlocutor desses problemas para a sociedade de tomar as iniciativas que garantam créditos as ações sustentáveis mais transparentes. A necessidade de enfrentar esses desafios tem motivado o setor público a desenvolver projetos e programas mais sustentáveis com é o caso da Companhia de Brasileira de Trens Urbanos (CBTU).

A Superintendência de Trens Urbanos de João Pessoa (STU-JOP), subsidiária da Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) que promove o transporte de passageiros através do sistema de trens na área metropolitana de João Pessoa, desenvolveu o Programa de Consumo Sustentável de Água e Energia (CAES) com objetivo de promover o uso sustentável de água e energia elétrica. O CAES visa conscientizar os funcionários e usuários do sistema de transporte sobre a utilização sustentável dos recursos, monitorar o consumo e gerir racionalmente as despesas. O programa foi desenvolvido segundo a Agenda Ambiental da Administração Pública (A3P) e propôs criar ações para desenvolver um perfil de consumo mais eficiente de água e energia no ano de 2017. Criar indicadores e metas de consumo, instalar placas e sinalização alertando sobre os usos, desenvolver uma cartilha informativa para funcionários e dialogar com a equipe de empregados da empresa sobre o consumo consciente foram algumas das diversas ações desenvolvidas pelo CAES em 2017.

O CAES apesar de não atingir algumas das metas de consumo global para 2017 representou mudança significativa dos padrões de consumo da empresa. A meta de redução do consumo global de 10% não foi atingida, verificou-se um aumento do uso global de energia elétrica em 0,33%, e a meta de reduzir a demanda global de água em 25% não foi alcançada, verificou-se um aumento do consumo global de 27,49%. O aumento do consumo global de energia e água pode ser justificado pelo aumento de 15% da força de trabalho da empresa no mesmo ano. No entanto, o programa implementado resultou na diminuição de 11,2% do

consumo per capita de energia elétrica e reduziu em 10,33% o consumo de água per capita da STU-JOP. Em 3 das 8 estações de pequeno porte a demanda de água reduziu significativamente e o novo modelo de gestão implementado apresentou uma economia de R\$ 19.000 para empresa através da revisão de faturas.

Por meio da revisão de resultado obtidos em 2017, foi traçado um Plano de Ação das principais atividades do CAES para 2018. A continuidade da conscientização dos empregados quanto ao consumo de água e energia, dos serviços de manutenção das instalações prediais, a substituição de equipamentos de baixa eficiência, instalação do banco de capacitores na oficina de manutenção de trens e a análise da viabilidade de soluções sustentáveis de água e energia são algumas das atividades previstas para esse ano. A tabela 1.1 apresenta um resumo do cronograma das atividades para o ano de 2018.

Tabela 1.1 – Principais ações do plano de ação do CAES para 2018

PLANO DE AÇÃO 2018			
O que será feito? (What?)	Quando será feito? (When)/Onde será feito? (Where?)	Quem o fará? (Who?)	Como será feito? (How?)
Conscientização dos empregados e usuários quanto ao consumo sustentável de água e energia	Trimestral	Equipe CAES e COMAK	- Relatórios trimestrais; - Campanhas de conscientização;
Serviço de manutenção corretiva das instalações hidráulicas.	A definir / Todos os setores	A definir	- Contratação de mão-de-obra especializada.
Substituição de equipamentos ineficientes	Outubro de 2018 / Todos os setores	Equipe CAES, COACO e COMAN.	- Aquisição de torneiras hidromecânicas, redutores de ar para hidrômetros e adaptadores de duplo fluxo para descargas;
Instalação de banco de capacitores	A definir / Oficina (Cabedelo)	GIOPE / COMAN	Em paralelo com motores e/ou na saída do transformador
Análise da viabilidade de soluções sustentáveis para abastecimento de água e energia	Novembro de 2018 / Todos os setores	Equipe do CAES	Analisar viabilidade técnico-financeira: minigeração de energia solar, sistema de captação de águas de chuva.

Fonte: CAES, 2017.

A pesquisa desenvolvida nesse estudo está inserida dentro do plano de ação do CAES em 2018 e realiza uma análise preliminar econômica e técnica na implantação de um sistema de captação e aproveitamento de águas de chuva na sede administrativa da CBTU em João Pessoa, onde também funciona uma das estações mais movimentadas do sistema ferroviário

intermunicipal. A relevância da pesquisa encontra-se na possibilidade de estudar a implantação um sistema de captação de água pluviais em uma empresa pública de expressão que estimula a redução do impacto socioambiental das suas atividades.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O estudo tem como objetivo analisar técnica e financeiramente a implantação do sistema de captação de água de chuva na sede da Companhia Brasileira de Trens Urbanos, localizado no bairro do Varadouro em João Pessoa.

2.2 Objetivos específicos

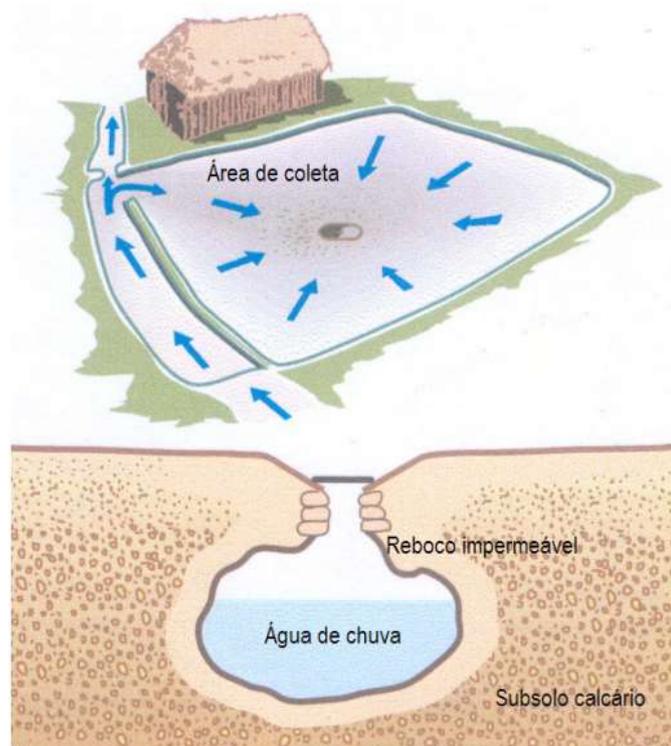
- Investigar a oferta pluviométrica na região e os consumos de água para fim não potável no local do estudo;
- Quantificar os benefícios e gastos financeiros relacionados a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva;
- Avaliar a viabilidade técnica da captação, reservação e utilização da água de chuva na sede da CBTU;
- Avaliar a viabilidade econômica considerando os indicadores econômicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aproveitamento predial de água pluvial

O uso da água de chuva em sistemas para armazenamento é datado de mais de 3000 a.C., quando reservatórios eram cavados na pedra para consumo humano. Na ilha de Creta por volta de 2000 a.C., no palácio de Knossos, a água de chuva era coletada e utilizada para descargas de bacias sanitárias, enquanto no Oriente Médio um escrito do rei da civilização Moabita, por volta de 830 a.C., sugeria que as casas deveriam possuir reservatórios de água de chuva para futuro aproveitamento. Várias outras civilizações, como os maias, incas, astecas e os romanos possuíam sistemas de armazenamento de água de chuva para abastecimento público. O desenvolvimento dos sistemas de saneamento e de armazenamento de água de chuva constituía importante passo para o desenvolvimento das cidades no império romano. Para os astecas e maias que habitavam o México por volta do século X a agricultura era baseada num sistema de coleta e armazenamento de água de chuva em cisternas com capacidade de 20.000 a 45.000 litros que captava a água de uma área de aproximadamente 5 metros de diâmetro. A figura 3.1 ilustra o sistema de aproveitamento, chamado de Chultuns, do povo maia (TOMAZ, 2010; GNADLIGER, 2000).

Figura 3.1 – Sistema de coleta e armazenamento do povo Maia chamado de Chultun



Fonte: GNADLIGER, 2000.

Em vários países do mundo o aproveitamento de água de chuva é essencial, pois desempenha importante papel na suplementação e na substituição do abastecimento de água nos centros urbanos. O aproveitamento de água pluvial nasceu como uma alternativa para substituir os usos desnecessários de água potável e surge para combater os problemas das grandes cidades: o desabastecimento e a drenagem urbana. Países desenvolvidos fazem aproveitamento da água de chuva de forma intensiva. Na Holanda, a água de chuva coletada evita o transbordamento dos numerosos canais do país sendo utilizada na agricultura e abastecimento de fontes. Nos Estados Unidos o aproveitamento de água de chuva é utilizado em irrigação de jardins e hortas, lavagem de veículos, resfriamento e descarga de vasos sanitários (DIAS, 2007).

No Japão, por exemplo, a literatura aponta vários relatos de aproveitamento de água pluvial devido à escassez de recursos naturais como a água potável. Os banheiros públicos do Parque Hirano Cherry, em Tóquio, são cobertos por um tanque de armazenamento de água de chuva com capacidade suficiente para o abastecimento. Caso haja chuva excedente a água transborda pelas laterais onde existem plantas que são regadas. No entanto, caso a precipitação não seja suficiente para atender a demanda do banheiro, o abastecimento público fornece a água necessária (FENDRICH & OLIYNIK, 2002).

Kita et al. (1999) apontaram que as duas principais causas do reaproveitamento intenso de água de chuva na cidade de Tóquio: eram a longa distância da cidade aos reservatórios de água e o alto índice de pavimentação que impede a infiltração de água no meio urbano. O reaproveitamento de água de chuva diminui o risco de inundações urbanas e beneficia a economia de água em diversos usos: regas de jardins, lavagem de roupas, descargas de vasos sanitários, lavagem de veículos e sistemas de combate a incêndio. Desse modo, o governo japonês implementou um programa de incentivo à implantação de sistemas de coleta e armazenamento de água de chuva em diversas cidades. O valor do benefício variava de acordo com a localidade, a quantidade de reservatórios e o volume armazenado. Na cidade de Chofu o benefício variava entre 214 e 470 dólares americanos dependendo do volume armazenado de 100 a 200 litros, enquanto na cidade de Takamatau o benefício podia superar os 8.547 dólares americanos para volumes de armazenamento superiores a 1000 litros.

Na Alemanha, a partir do ano de 2000, foi implementada uma nova taxa de coleta de água de chuva para os residentes. Antes do ano 2000, os alemães pagavam uma tarifa única para o tratamento de esgoto cobrado por metro cúbico de água consumida, a partir da nova legislação a tarifa foi repartida e começou-se a pagar adicionalmente um valor para a coleta de

água de chuva calculado pela área de superfície impermeável nas propriedades urbanas. Essa medida foi implementada em Berlim e começou a ser relatada em várias outras cidades devido ao estímulo feito aos proprietários de implementar sistemas de reaproveitamento de água de chuva (SCHMIDT, 2001).

A Austrália desenvolveu vários programas de incentivo a implantação de sistemas de reuso de água de chuva. Nos Jogos Olímpicos de Sydney de 2000, a construção do Parque Olímpicos de Sydney previa a implantação de um sistema de coleta e tratamento de água de chuva com finalidade aproveitamento não potável como irrigação de parques, campos de esportes e para o reuso de residentes e estabelecimentos comerciais. A água de chuva coletada é armazenada em vários tanques com capacidade de armazenamento total de 300 mil metros cúbicos e podem ser misturadas com efluente de esgoto. O tratamento utiliza a microfiltração, removendo partículas de até 2 micrometros, e a osmose reversa, para remoção de sais, e chega a tratar até 7 mil metros cúbicos por dia. A água coletada abastece unidades residenciais no bairros vizinhos ao Parque Olímpico e é adequada para ornamentação, combate a incêndio rega, lavar roupas, carros e animais de estimação. Estima-se que após a utilização desse sistema foram economizados cerca de 850 mil metros cúbicos de água potável por ano (ATSE, 2004).

Os problemas de desabastecimento constantes nas cidades da Austrália, levaram o governo do estado da Nova Gales do Sul a criar um esquema de subsídio para encorajar a coleta e implementação da água de chuva nos usos doméstico. Os subsídios variavam de acordo com a quantidade de água armazenada: 150 dólares australianos para sistemas de coleta de 2000 a 3999 litros, 400 dólares australianos nos sistemas de 4000 a 6999 litros e 500 dólares para casos acima de 7000 litros. O subsídio ainda bonificava com 150 dólares adicionais os residentes que possuíssem pelo menos uma bacia sanitária ou máquina de lavar roupa abastecidos com água de chuva (ATSE, 2004).

No semiárido brasileiro o uso da água de chuva possui intenso uso, devido as crises históricas de abastecimento e a escassez de água. Além da baixa precipitação de água, a região sofre com alto índices de evaporação, o que leva ao armazenamento da água de chuva ser feito em cisternas de cimento. As cisternas são feitas de argamassa de cimento, reforçada com tela e arame ou podem ser construídas de placas pré-fabricadas de concreto, normalmente são cobertas e semi-enterradas e possuem tecnologia economicamente viável para reprodução em grande escala (GNADLINGER, 2001).

Por serem soluções resistentes, duráveis, sustentáveis e de baixo custo os reservatórios foram adotados no programa do governo federal para combater a escassez no semiárido

nordestino através da construção de um milhão de cisternas para as famílias com carência de água potável. O programa 1 Milhão de Cisternas (P1MC) visa a construção de cisternas de placas pré-moldadas com capacidade para armazenar 16 mil litros de água, volume estimado para o consumo de beber e cozinhar de uma família composta por cinco pessoas durante um período de oito meses, combatendo a pauta política negativa que o semiárido nordestino é marcado. Segundo Xavier (2010) a captação da água de chuva é uma alternativa para que a população do semiárido possa conviver com o problema da escassez de água através de programas de mobilização social com objetivo de avançar a utilização da água para a produção de alimentos, promover a segurança alimentar e gerar renda. A construção de uma cisterna de placas pré-moldada é ilustrada na figura 3.2.

Figura 3.2 – Construção de cisternas de placas pré-moldadas no semiárido nordestino



Fonte: XAVIER, 2010

O baixo custo de construção, a facilidade no método construtivo com ferramentas e materiais acessíveis no semiárido e treinamento acessível são as principais vantagens da escolha pela cisterna do tipo de placa pré-moldada. Portanto, o modelo de cisternas de placas está

difundido, continua ser promovido em todo o semiárido através do P1MC e de acordo com Gomes et al. (2015) o programa teve caráter inovador contrapondo-se as velhas políticas e decadentes práticas contra o combate à seca com capacidade de propor efetivamente uma mobilização para convivência no semiárido.

A soluções técnicas existentes para coletar, armazenar e reutilizar a água de chuva são diversificadas. Em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos as soluções são mais simples, devido ao baixo custo de implantação e a facilidade construtiva, enquanto nos países desenvolvidos, como a Austrália, as soluções técnicas são refinadas e sofisticadas fazendo-se o uso de radiação ultravioleta, microfiltração, osmose reversa e carvão ativado (ATSE, 2004; DIAS, 2007).

Enfim, a construção de um sistema de água de chuva compreende encontrar-se em pelo menos uma das situações: um alto volume anual de chuva, desabastecimento de água potável, elevado preço de água potável ou situação restritiva do poder público. Em localidade sem abastecimento do poder público a alternativa de coletar a água da chuva é propriamente justificável, em áreas com crise de abastecimento o aproveitamento da água de chuva complementa a oferta de água e em locais em que o pleno abastecimento a implantação de tal alternativa implica num estudo do ponto de vista econômico para a implantação (IWANAMI, 1985; ATHAYDE JÚNIOR et al., 2006).

3.2 Componentes de um sistema aproveitamento de águas pluviais

O aproveitamento da água de chuva é uma alternativa sustentável para o suprimento de água, independente de outros sistemas de abastecimento, e conseqüentemente promove a conservação dos mananciais de água. O funcionamento de um sistema de aproveitamento depende dos requerimentos necessários para os usos da água coletada e requer o tipo de tratamento específico que se deseja dar a água da chuva. Todavia, consiste basicamente em captar a água da chuva em uma superfície impermeável, conduzi-la através de calhas e tubulações até o local do armazenamento. É formada, portanto, por três elementos básicos: área de captação, condutores e armazenamento (SANTANNA, 2012).

3.2.1 Área de Captação

A captação de água de chuva pode ocorrer de várias formas: por represando uma grande área, por pavimentos ou telhados. A captação da água de chuva em represas é caracterizada por grande investimento econômico, afeta imensas áreas de cobertura vegetal, o volume de água captado é enorme e implica em diversos problemas ambientais. Pode ocorrer através de pavimentos que apresentam maior facilidade de manutenção, ou através de coberturas ou telhados (GOULD & NISSEN-PETERSEN, 1999).

A área de captação é a superfície impermeável em que a água de chuva faz o primeiro contato no sistema de aproveitamento. Por ser uma superfície em contato com o ambiente externo está sempre desprotegida e propensa a ser contaminada por poluentes atmosféricos, excretas de animais, pequenos animais, pragas urbanas, folhas e galhos. A área de coleta pode ser telhado, lajes de edificações, pisos pavimentados, como estacionamentos, calçadas e pátios e formada por diversos tipos de materiais: telhas cerâmicas, metálicas, concreto armado, zinco ou revestido por asfalto (MAY, 2004; TOMAZ, 2003).

No semiárido nordestino existem situações em que a água de chuva é coletada em superfícies de concreto impermeáveis, denominadas calçadões, e reservada em tanques subterrâneos. A vantagem encontra-se na facilidade de limpeza da área de captação que fica no nível do solo, todavia é um sistema de aproveitamento de água de chuva de maior custo financeiro (XAVIER, 2010).

O telhados são mais comuns por utilizarem de uma infraestrutura existente e possuem menor risco de contaminação por não estarem sob a influência do constante tráfego de pessoas e animais. Nos telhados brasileiros, os tipos de telhas mais utilizadas são as cerâmicas e as metálicas. As coberturas de telhas cerâmicas ao captar a água de chuva com alta velocidade de escoamento podem carrear partículas sólidas que se desprendem das próprias telhas, fenômeno causado quando a velocidade de escoamento da água é superior a resistência a abrasão do material cerâmico, assim prejudicando a qualidade física da água coletada. As telhas metálicas por possuírem resistência a abrasão superior as telhas cerâmicas não possuem desprendimento de material durante o escoamento da água. Na prática, quando comparada a qualidade das água coletadas por coberturas de telhas cerâmicas e metálicas, os indicadores biológicos apontaram uma melhor qualidade da água coletada por telhas metálicas, resultado explicado pelo fato da telha metálica, ao ser aquecida ao longo do dia e atingir temperatura superior, inativam vários microrganismos presentes na água de chuva (BOULOMYTIS, 2007; CARDOSO, 2009).

Os vários tipos de materiais das coberturas determinam também o coeficiente de escoamento superficial, também denominado de coeficiente de *Runoff*. O coeficiente estima o quanto de água que escoar superficialmente dado um volume de chuva, é um quociente entre o volume total de água escoar e o volume total de água de chuva precipitado. O valor do coeficiente varia de 0 a 1 e quanto maior o seu valor, maior é o volume de água que escoar na área de coberta. Fendrich (2002) apresenta na tabela 3.1 os valores de coeficiente de *Runoff* para diversos materiais.

Tabela 3.1 – Coeficiente de *Runoff* pelo tipo do material

Material	Coeficiente de <i>runoff</i>
Telhas cerâmicas	0,8 – 0,90
Telhas, lajotas e ladrilhos vitrificados	0,9 – 0,95
Telhas de cimento amianto	0,7 – 0,85
Telhas metálicas corrugadas	0,8 – 0,95
Lajotas e blocos de concreto	0,7 – 0,80
Lajotas e blocos de granito	0,9 – 0,95
Pavimentos de concreto	0,8 – 0,95
Pavimentos de asfalto	0,7 – 0,90

Fonte: FENDRICH, 2002

De acordo com Perius (2016) o coeficiente de escoamento superficial possui grande variação, podendo atingir valores que chegam até 0,95 como nos casos de telhas de aço galvanizado ou de plástico. Os materiais porosos possuem maiores perdas de água de chuva, como no caso de telhas cerâmicas que possuem coeficiente de *Runoff* entre de 0,80 e 0,90. Portanto, o material que capta a água de chuva reflete diretamente no aproveitamento de água e a confiabilidade do sistema.

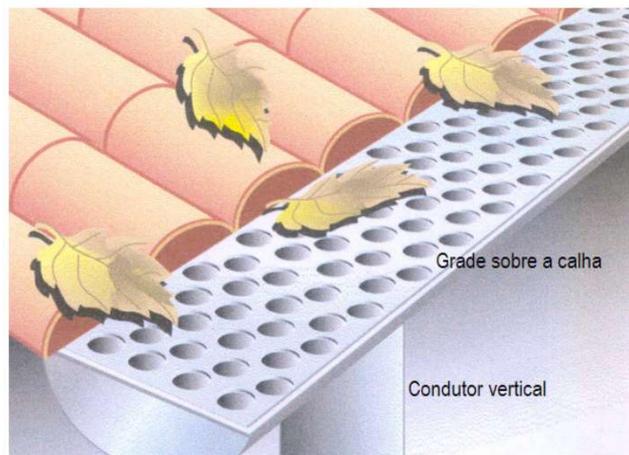
3.2.2 Condutores, grades e dispositivos de descarte inicial

Os sistema de condução da água de chuva é composto por calhas, condutores horizontais e verticais, que transportam a água de chuva coletada na área de captação até o local de armazenamento. A manutenção e limpeza do sistema é essencial para o transporte adequado da água de chuva e garante sua qualidade. O sistema de condução pode ser dotado de grades, filtros e dispositivo de descarte inicial visando manter a qualidade da água de chuva coletada (XAVIER, 2010; PERIUS, 2016).

As calhas e tubulações são encontrados em diferentes tipos de materiais: PVC, chapas de aço galvanizado ou de alumínio. Os tubos devem diferir em cor da tubulação utilizada para usos potáveis, assim evitando qualquer risco de conexão cruzada ou confusão entre qualidade das águas. As calhas comerciais disponíveis possuem formato de V, U, quadrada, semicircular ou retangular e são classificadas em calhas de beiral, de água furtada ou de platibanda. A primeira é instalada no beiral da telhas, enquanto a calha de água furtada é instalada nos pontos de encontro de águas do telhado e a última localiza-se na platibanda da cobertura (POZZEBON, 2013).

O dimensionamento das calhas e tubulações deve seguir o procedimento de instalações prediais de águas de chuva estabelecido na norma 10.844 (ABNT, 1989) devendo impedir a contaminação da água por excretas de animais, os entupimentos, facilitar a remoção de folhas e galhos, e garantir a autolimpeza do sistema. A instalação de grades e telas sobre as calhas cumpre várias dessas atribuições como ilustrado na figura 3.3.

Figura 3.3 – Gradeamento sobre calhas de beiral



Fonte: WATERFALL *apud* MAY, 2004

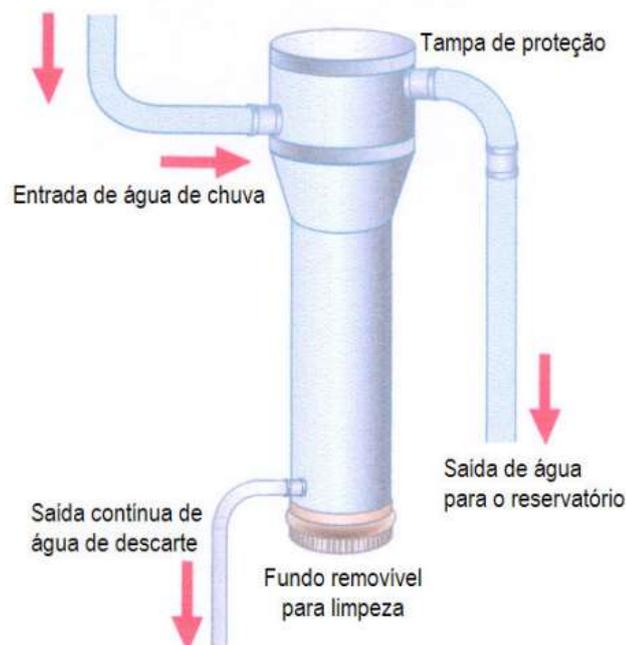
Durante o período de estiagens e secas o acúmulo de poeira, poluição, microrganismos e fezes de animais nos telhados pode comprometer a qualidade da água coletada. A limpeza do telhado pode ser feita pelo volumes iniciais de água precipitada e para esse fim é necessário o uso de dispositivos de descarte dos primeiros volumes de água pluvial. A água inicial de pior qualidade pode ser desviada de forma manual utilizando tubulações ou de forma automática através de dispositivos específicos.

No estudo realizado por Blackburn et al. (2005) no interior de Pernambuco sobre a potabilidade da água em sistemas de captação pluvial verificou-se que a água de chuva coletada em sistemas sem dispositivo de desvio de primeiras águas apresentou qualidade inferior à água

coletada em sistemas com o dispositivo de desvio de primeiras águas. Pinheiro et al. (2005) compararam a qualidade da água de primeiro descarte, armazenado em um tanque específico, e a qualidade da água de chuva armazenado no reservatório posterior ao dispositivo em sistema de aproveitamento de água pluvial de cobertura cerâmica na cidade de Blumenau em Santa Catarina. Os parâmetros físico-químicos de cor aparente, cloretos, alcalinidade, dureza total, ferro total, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli* apresentaram qualidade inferior na água do tanque do primeiro desvio, com destaque para o índice de *E. coli* que na água de descarte apresentou valor de 3474,02 NMP/100ml e na água do reservatório posterior ao descarte apresentou 236,3 NMP/100ml, um concentração 14 vezes menor, comprovando que o descarte é uma etapa importante da coleta e condução da água de chuva ao reservatório.

A norma brasileira 15.527 (ABNT, 2007) indica que quando não houver dados suficientes o dispositivo de descarte deve desviar os primeiros 2 mm iniciais de precipitação. O funcionamento do desvio de primeira água do telhado é simples: a água de chuva que chega ao dispositivo é inicialmente direcionada a um reservatório de descarte com fundo removível, no instante em que o reservatório de descarte estiver cheio a água de chuva atinge o nível da tubulação de saída e escoar até o reservatório de armazenamento. Após a chuva o reservatório de fundo removível deve ser esvaziado e limpo (MAY, 2004). Um dispositivo de descarte é apresentado na figura 3.4.

Figura 3.4 – Dispositivo de descarte de água de limpeza do telhado



3.2.3 Reservatório de armazenamento e filtro de areia

O reservatório é o item mais importante do sistema de aproveitamento de águas pluviais, representa cerca de 50% a 85% do custo inicial e são determinantes na manutenção e preservação da qualidade da água coletada, eles podem estar enterrados, elevados ou simplesmente apoiados e ser de tijolos, concreto armado, polietileno, plásticos e blocos armados (TOMAZ, 2010).

Os reservatórios enterrados são vantajosos por não demandarem espaço físico, possuem custo de aquisição menor e a temperatura mais baixa e a pouca incidência de luz retarda a ação de microrganismos. Por outro lado, os vazamentos não são aparentes, são mais difíceis de serem reparados, em alguns casos, o esvaziamento é feito apenas por bombeamento e possuem alto custo de instalação. Os reservatórios apoiados têm baixo custo de instalação e manutenção, a retirada de água pode ser feita por gravidade, todavia necessitam de área externa, sofrem ação constante de intempéries e têm elevado custo de aquisição (RAINMAP, 2017).

Gonçalves (2006) mostrou em estudo que a qualidade da água no reservatório melhora com os dias ao analisar alguns parâmetros durante a chuva e após sete dias de armazenamento. Constatou-se, que após os sete dias, não houve presença de sólidos suspensos totais, entretanto não foi observada melhoria da água armazenada quanto a presença de coliformes totais. O estudo conclui que o reservatório também atua como um decantador, por sedimentar os sólidos presentes, mas não é suficiente para reduzir a quantidade de microrganismos presentes na água.

O dimensionamento dos reservatórios determinam a eficiência do sistema de aproveitamento e pode inviabilizar sua implantação, portanto devem ter dimensões que evitem perdas demasiadas no período chuvoso e previnam a falta de água durante os meses com baixos índices pluviométricos. A norma 15.537 (ABNT, 2007) determina que o dimensionamento de reservatórios deve ser baseado em critérios técnico, econômicos e ambientais, podendo ou não utilizar os métodos apresentados na norma desde que apresentem justificativa própria.

De acordo com Garcéz e Alvarés (1988) o reservatório de armazenamento pode possuir um filtro de areia anterior com objetivo de remover sólidos, galhos e folhas. O filtro é composto de pedregulho e areia que atuam como meio filtrante e melhoram as qualidades físico-químicas da água de chuva. Morelli (2005) em estudo sobre a reutilização de água para lavagem de carros adotou um filtro de areia anterior ao reservatório para melhorar a qualidade física da água, assim como Peters (2006) que ao avaliar o uso de fonte alternativas de água para fins não potáveis

constatou a redução na quantidade de cloretos e sulfatos e a melhora na turbidez da água de chuva posterior ao tratamento com filtro de areia e dispositivo de descarte inicial.

3.3 Qualidade da água de chuva

De acordo com Tomáz (2010) a qualidade de água de chuva é dividida em quatro estágios: antes de atingir o solo, depois de precipitar e correr pela superfície de captação, durante o armazenamento e no ponto de consumo. Luna et al. (2014) explica que durante o processo de condensação da água na atmosfera, apesar de inicialmente estar pura, sua composição é alterada pelos componentes atmosféricos e pela carga poluidora originada nos grandes centros urbanos. Ao atingir a superfície de escoamento do sistema de coleta, a água de chuva incorpora partículas de poeira, folhas, fuligem, animais mortos e agentes microbiológicos, alterando sua qualidade. Após ser conduzida para o reservatório, a água de chuva pode melhorar de qualidade com o tempo de armazenamento, principalmente na concentração de sólidos suspensos devido ao processo de sedimentação. Portanto, observa-se que a qualidade da água de chuva em estado bruto sem entrar em contato com qualquer superfície é boa, mas deteriora ao entrar em contato com a sujeira das áreas de captação, principalmente após longos períodos sem chuvas, sendo necessário algum tipo de tratamento ou dispositivo após a captação.

A qualidade de água no consumo final depende exclusivamente do uso destinado e os padrões de qualidade determinam cada utilização. A norma brasileira 15.527 (ABNT, 2007) estabelece requisitos para o consumo de água de chuva para fins não potáveis como: descargas de bacias sanitárias, paisagismo, lavagem de veículos, limpeza de ruas, calçadas, pátios, espelhos d'água e usos industriais. O padrão de qualidade deve ser respeitado de acordo com o uso segundo os parâmetros estabelecidos na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para fins não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^b , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH ^c
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

Fonte: ABNT, 2007.

A norma 13.969 (ABNT, 1997) também estabelece parâmetro de qualidade para água de reuso de acordo com o tipo de uso que são divididos em quatro classes. A classe 1 se refere a lavagem de carros e usos que requerem o contato direto com a água. A classe 2 especifica a lavagem de pisos, calçadas e ruas, irrigação de jardins, manutenção de lagos e para fins paisagísticos, a classe 3 refere-se a descarga de bacias sanitárias e a classe 4 cita o reuso nos pomares, cereais e pastagem para gado.

Tabela 3.3 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para reuso

Parâmetro	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
pH	-	6 a 8	-	-
Turbidez	uT	5	5	10
Cloro Residual	ppm	0,5 a 1,5	> 0,5	-
STD	ppm	200	-	-
Coliformes Fecais	NMP/100mL	200	100	500

Fonte: ABNT, 1997

Para que um sistema de aproveitamento de água funcione e garanta a qualidade de água favorável para reuso são necessários cuidados básicos de manutenção e operação do sistema previstos desde a fase de construção. Carlon (2005) cita alguns desses cuidados: o reservatório deve ser construído evitando a entrada de luz solar e diminuindo a proliferação de microrganismos na água armazenada; o fundo do reservatório deve possuir declividade; verificar a necessidade de filtração e cloração da água armazenada; o extravasor do reservatório deve possuir gradeamento; o reservatório e calhas devem ser limpos frequentemente.

A NBR 15.527 (ABNT, 2007) também determina a frequência de manutenção dos itens que compõe o sistema de aproveitamento como dispositivos, calhas, tubos, bombas e reservatório. A norma de aproveitamento de água de chuvas ainda regula que sempre que forem utilizados produtos químicos potencialmente nocivos à saúde humana na área de captação deve haver a desconexão completa do sistema de aproveitamento da área de captação e ser apenas reconectado quando não houver mais risco pelo uso dos produtos utilizados na lavagem. A tabela 3.4 apresenta a frequência de manutenção do sistema de captação e aproveitamento de água de chuva de acordo com o componente.

Tabela 3.4 – Frequência de manutenção do sistema de aproveitamento de água de chuva

Componente	Frequência de manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Fonte: ABNT, 2007

A qualidade satisfatória da água de chuva é fundamental para garantir a viabilidade técnica de um sistema de coleta e reuso de águas de chuva. Luna et al. (2014) verificou a qualidade de água de chuva em três pontos específicos de um sistema de aproveitamento localizado na cidade de João Pessoa: antes de atingir a área de captação, antes e após do dispositivo de descarte inicial. O estudo observou que a qualidade da água da chuva antes de entrar em contato com a superfície de captação é compatível com os usos da NBR 15.527/07 e todas as classes de uso da NBR 13.969/97 e o contato da água de chuva com os telhados deteriora bastante sua qualidade, especialmente nos meses de estiagem. O uso de dispositivos de descarte ou filtros de areia para melhorar a qualidade da água também tiveram eficácia comprovada por atender todos os padrões de uso das normas 15.527/07 e 13.969/97. Portanto, o sistema de captação e aproveitamento de águas de chuva é eficaz, desde que a qualidade da água não comprometa a saúde dos usuários, nem a vida útil do sistema.

3.4 Viabilidade econômica

Estimar o retorno financeiro de um investimento ou projeto é de grande importância para manter as empresas competitivas no cenário econômico atual. A grande rivalidade dos mercados obriga as empresas a desenvolverem novos projetos, estudarem sua implementação e definirem soluções finais que podem se tornar vantagem ou fracasso, caso tomadas decisões indevidas (BRAGA, 2011).

Um estudo do Sebrae (2014) verificou as causas de fechamento das empresas entre 2007 e 2011 no estado de São Paulo e analisou que as empresa que fecharam apontaram o planejamento prévio como o fator mais importante para a sobrevivência das empresas. Da mesma maneira, as empresas que se mantiveram em atividade apontaram que o planejamento prévio aliado com a gestão são determinantes para a sobrevivência após a abertura do negócio. As empresas que tendem a aperfeiçoar tecnologias e serviços, estar sempre atualizadas, inovar nos processos tendem a sobreviver mais no mercado. Portanto, planejamento prévio é um ponto chave para evitar o fracasso econômico e financeiro.

O estudo econômico de um projeto não verifica as implicações técnicas, sociais ou ambientais da implantação, analisa puramente os valores numéricos que subsidiarão a decisão de implantação ou não do projeto. O estudo de viabilidade permite determinar a tangibilidade de um determinado projeto e auxilia a tomada de decisão final sobre sua implementação. São diversos os indicadores que analisam a viabilidade econômica de um investimento para trazer os valores futuros projetados para o presente e garantir maior segurança e confiabilidade dos resultados.

Os indicadores relacionados a captação e aproveitamento de água de chuvas analisam os custos e os benefícios envolvidos no estudo de análise econômica. O valor presente líquido (VPL), a relação benefício-custo (B/C) e o tempo de retorno de capital (TRC) são os indicadores empregados para analisar a viabilidade econômica do sistema de aproveitamento desse estudo. Dias (2007), Marques (2012), Martins (2015) e Pozzebon (2016) utilizaram esses indicadores para determinação da viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento predial de água de chuva.

3.4.1 Valor presente líquido

O valor presente líquido (VPL) determina a diferença de todos os custos e benefícios envolvidos no horizonte de projeto e transforma-os em valores presentes. Esse indicador calcula a diferença obtida entre o valor de benefícios líquidos de caixa em cada período de duração do projeto e o valor dos investimentos. O valor presente líquido considera o valor do dinheiro ao longo do tempo considerando uma taxa de específica que descontam os fluxos de caixa da empresa no decorrer do investimento (ASSAF NETO & LIMA, 2011).

A expressão que determina o valor presente líquido é apresentada em 3.1. A expressão mostra que quando as alternativas de projeto apresentarem os mesmos benefícios, o valor

presente líquido (VPL) será maior na alternativa de menor custo. Quando os custos forem equivalentes, a alternativa de maior VPL é a opção que apresentar maior benefício.

$$\text{VPL} = \text{Benefícios} - \text{Custos} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Os critérios de decisão do valor presente líquido são apresentados na tabela 3.5 e se refere quando o VPL superou, igualou-se ou foi inferior ao valor necessário para manter inalterado o valor de mercado de uma empresa.

Tabela 3.5 – Critério de decisão do valor presente líquido

VPL > 0	Projeto cria valor econômico, aumenta a riqueza dos acionistas
VPL = 0	Projeto não cria valor econômico, não altera a riqueza dos acionistas
VPL < 0	Projeto destrói valor econômico, reduz a riqueza dos acionistas

Fonte: Adaptado de Assaf Neto & Lima (2011).

Quando o valor presente líquido for igual a zero, significa que o projeto é indiferente a alteração do valor financeiro. Quando o VPL for positivo, o projeto é atrativo, e quando o VPL for negativo, o projeto não é atrativo.

3.4.2 Tempo de retorno de capital

O tempo de retorno de capital (TRC), também chamado de *payback*, pode ser descontado ou não descontado. O não descontado é o tempo necessário para que o retorno econômico de um investimento ou projeto supere seus custos sem considerar a taxa de desconto do capital ou a depreciação das riquezas monetárias. O tempo de retorno descontado, ou *payback* descontado, é o tempo necessário para que os benefícios se igualem aos custos quando considerada o desconto da taxa de juros ao longo do tempo (GOMES, 2005).

Segundo Assaf Neto & Lima (2011) o *payback* descontado representa quantos períodos de tempo o projeto precisa durar para ser aceitável em termos de valor presente líquido (VPL), ou seja, é o tempo necessário para que o VPL atinja o custo de oportunidade para aceitação de projeto. Em síntese, o cálculo do tempo de retorno de capital representa o valor de tempo de recuperação do investimento.

A análise do tempo de retorno de capital (TRC) é feita com o tempo horizonte de projeto. Caso o *payback* descontado supere o horizonte de projeto, significa que o tempo de retorno do capital é superior à vida útil de projeto e o projeto demanda tempo demasiado para

criar valor econômico e superar seus custos. Caso o *payback* descontado for menor que o horizonte de projeto, o tempo de retorno de capital é inferior sua vida útil e, portanto, o projeto em algum momento da sua validade criará valor econômico suficiente ou superior ao seu custo. Segundo Souza & Clemente (2012) a medida que o *payback* se aproxima do final do horizonte de planejamento maior é o risco de projeto, conseqüentemente, quanto mais rápido o investimento retornar, menor serão os riscos envolvidos.

3.4.3 Relação Benefício-Custo

A relação benefício-custo, também denominada de índice de lucratividade, representa o quanto de valor econômico é criado por unidade monetária investida. Esse índice é uma variante do valor presente líquido e indica quanto será o retorno de capital para cada real investido. É obtido pelo quociente do valor presente líquido e o desembolso de capital (ASSAF NETO & LIMA, 2011).

A identificação dos benefícios em projetos é determinado pela vida útil. Quanto maior a vida útil, maiores são os benefícios acumulados ao longo da validade do projeto. Os benefícios podem ser classificados em diretos, indiretos, economicamente mensuráveis (tangíveis) ou não (intangíveis). Os benefícios diretos são os ganhos imediatos da implantação do projeto, como por exemplo, no projeto de reaproveitamento de águas de chuva, a economia no consumo de água do abastecimento público. Os benefícios indiretos são ganhos remotos, de maneira não intencional, como por exemplo, a utilização da vazão de água economizada para outros usos. Os benefícios tangíveis são aqueles expressos em valores econômicos, como o valor em reais de água potável economizada, e os benefícios não tangíveis são aqueles que não consegue ter valor econômico mensurado, normalmente são de interesses políticos, sociais ou ambientais (DIAS, 2007).

Os custos são identificados em duas categorias: de investimento ou de exploração. Os custos de investimento são todas as despesas necessárias para tornar o projeto real, sendo diretos ou indiretos. Os custos de investimento direto são os gastos relacionados a criação física do projeto como despesas de construção, equipamentos e instalações, enquanto que os custos de investimento indireto são correspondentes aos gastos remotos de engenharia ou juros de empréstimos. No sistema de reaproveitamento de água de chuva a construção do reservatório, a instalação do sistema de distribuição, do conjunto motor-bomba, do dispositivo de descarte de primeira água de chuva e dispositivos de filtragem compreendem os gastos de investimento

direto. Os custos de exploração diferem dos custos de investimento, pois tratam dos gastos necessários para manter o projeto criando riqueza, por exemplo, despesas de manutenção, operação e administração. Enquanto os custos de investimento são fixos e ocorrem normalmente de maneira única no início do projeto, os custos de investimento são variáveis e ocorrem ao longo de toda vida útil de projeto (DIAS, 2007).

Os critérios de decisão de projeto segundo a relação benefício-custo estão resumidas na tabela 3.6. Quando o quociente for maior que 1, significa que o projeto gera mais riqueza que o montante de capital inicial investido, ao passo que quando o quociente for menor que 1, o projeto gera menos riqueza que o montante inicial de investimento.

Tabela 3.6 – Critérios de decisão de projeto para a relação benefício-custo

b/c > 1	A proposta deve ser aceita
b/c < 1	A proposta deve ser rejeitada

Fonte: adaptado de Braga (2011).

4. METODOLOGIA

Esse estudo se refere à viabilidade técnico-financeira da implantação de um sistema de captação e aproveitamento de águas de chuva na sede da Companhia Brasileira de Trens Urbanos na cidade de João Pessoa. Esse capítulo descreve o caminho tomado para o desenvolvimento da pesquisa e reúne todos os dados, observações e experimentações executadas na realização do estudo. A figura 4.1 mostra a frente do prédio central da companhia de trens.

Figura 4.1 – Prédio central da CBTU



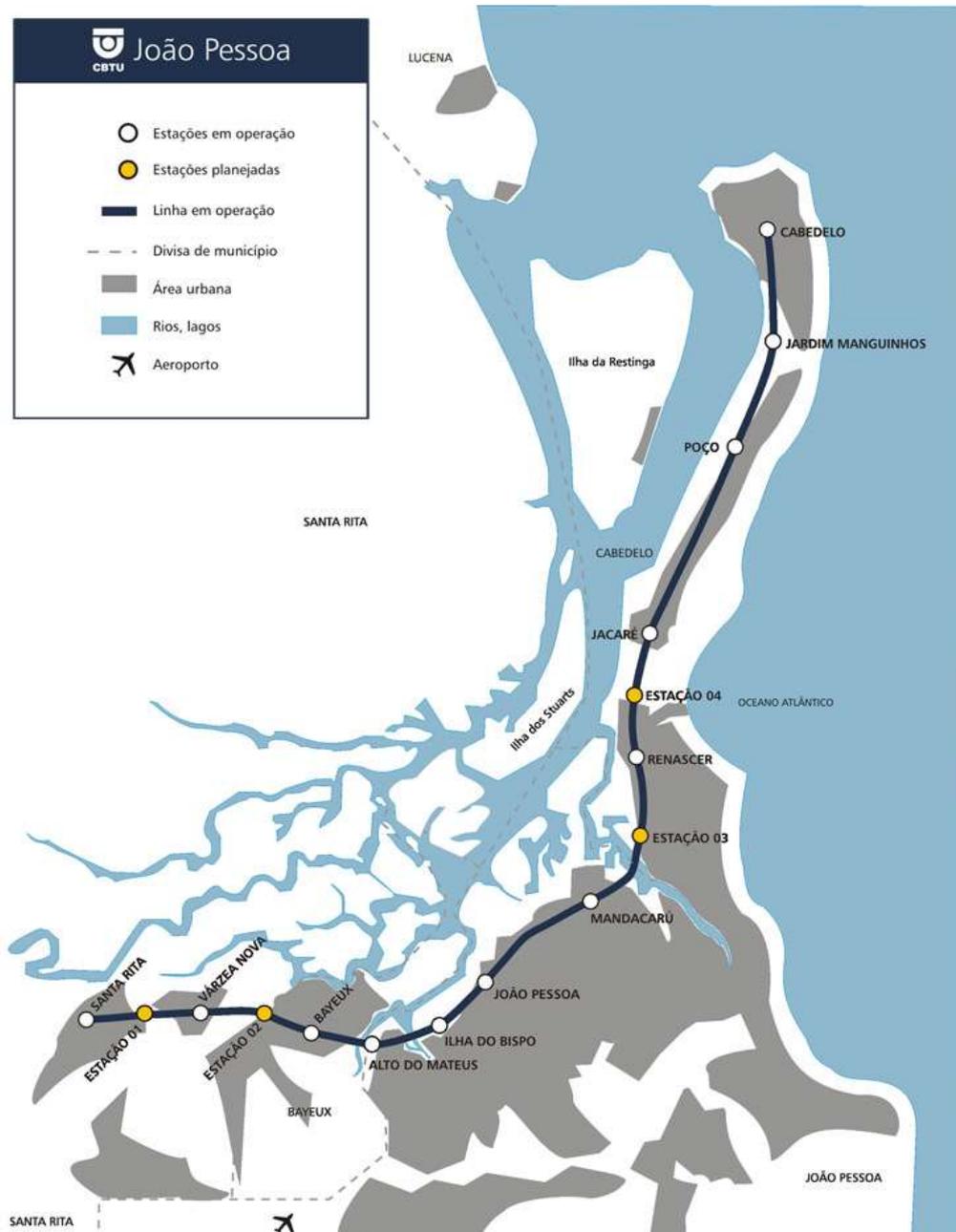
4.1 Área de estudo

O local da realização da pesquisa foi a sede da Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) localizado na cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba. A sede da empresa está situada no bairro do Varadouro, centro da cidade, e em anexo funciona a estação do Varadouro, a mais movimentada do sistema de trens urbanos da área metropolitana da capital. Na sede da CBTU, junto a estação do Varadouro, funcionam a administração central da empresa, o armazém, a Associação dos Pensionistas, o Serviço Social das Estradas de Ferro (SESEF) e a Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN)

O sistema de trens urbanos possui extensão de 30 km e interliga as quatro cidades da área metropolitana: Santa Rita, Bayeux, João Pessoa e Cabedelo, correspondente a um quarto

de toda a população do estado da Paraíba. O sistema é composto por 12 estações em operação: Santa Rita, Várzea Nova, Bayeux, Alto do Mateus, Ilha do Bispo, Varadouro, Mandacaru, Renascer, Jacaré, Poço, Jardim Manguinhos e Cabedelo; e completa 28 viagens de trem por dia. A sede administrativa possui cerca de 100 funcionários que trabalham a serviço da companhia diariamente. A figura 4.2 apresenta o mapa da linha ferroviários do sistema de transporte da CBTU.

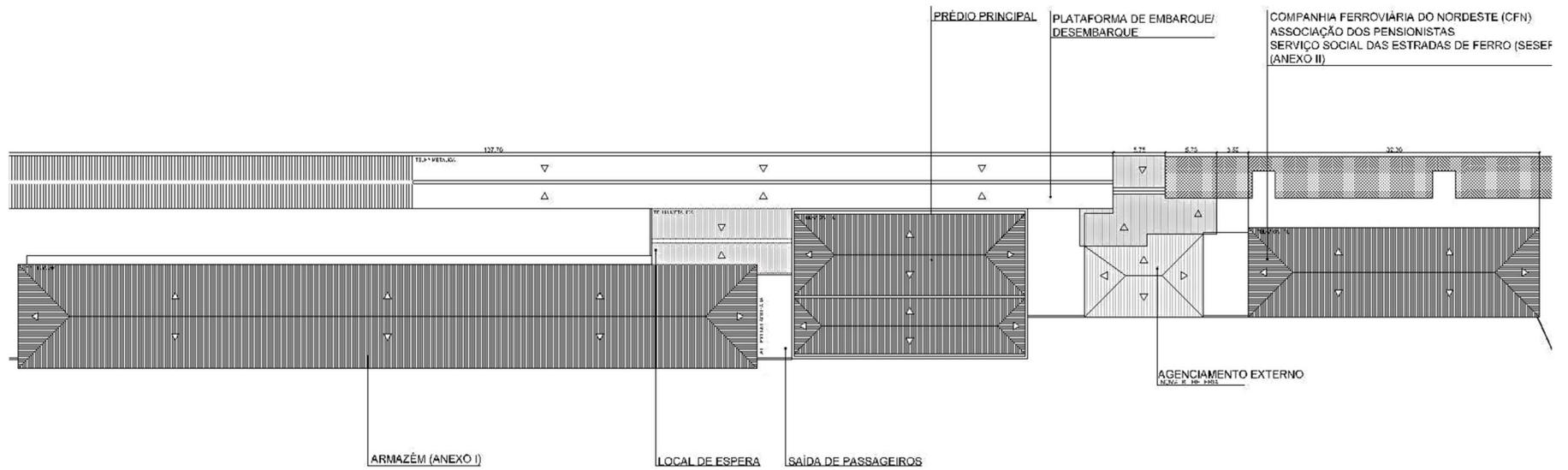
Figura 4.2 – Mapa da linha ferroviária na região metropolitana de João Pessoa



Fonte: CBTU, 2018.

A estrutura física do local é composta por quatro edificações ilustradas em planta baixa e na planta de cobertura nas figuras 4.3 e 4.4.

Figura 4.4 – Planta de cobertura da sede da CBTU



Fonte: CBTU, 2018

As edificações principais possuem coberturas em telhas cerâmicas e de telhas metálicas que protegem os passageiros do clima na plataforma de embarque e desembarque. A estrutura física contém estacionamentos, jardins, bilheteria, banheiros de acesso público e lanchonete. A figura 4.5 ilustra a plataforma de embarque e desembarque da estação.

Figura 4.5 – Acesso à plataforma de embarque e desembarque



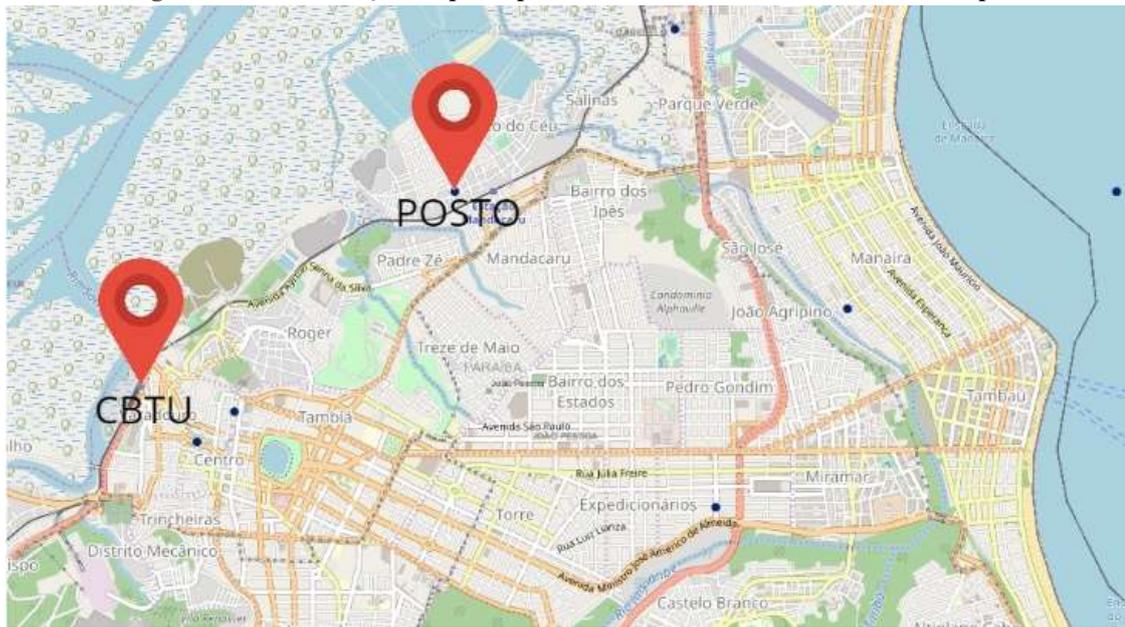
4.2 Características pluviométricas

A cidade de João Pessoa possui clima tropical úmido, com temperatura média de 25,7°C ao longo do ano. São seis meses de chuva intensa, entre março e agosto, e os meses de menor índice pluviométrico estão entre setembro e fevereiro. As maiores temperaturas anuais são registradas de dezembro a fevereiro e podem ultrapassar os 31°C.

Para o estudo foram extraídos os dados pluviométricos do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNRIH) da Agência Nacional de Águas (ANA), denominado Hidroweb. O portal Hidroweb é uma ferramenta que reúne todos os bancos de dados de chuvas, níveis fluviais, vazões, clima e qualidade da água dos mananciais nacionalmente. As séries históricas dos postos de coleta de dados são armazenados pela Rede Meteorológica Nacional (RHN) e o portal oferece acesso a todo o banco de dados.

Para o levantamento de dados de chuva no local de estudo, foi utilizada a série histórica disponibilizada pela estação pluviométrica localizada no bairro de Mandacaru, identificado pelo código 734006, com dados de pluviometria datados a partir de 1901. Para o cálculo do regime mensal médio de chuvas foram utilizados dados pluviométricos dos últimos 35 anos de operação da estação, de janeiro de 1983 até dezembro de 2016. A figura 4.6 e tabela 4.1 identificam a localização do posto pluviométrico e da sede da CBTU.

Figura 4.6 – Localização do posto pluviométrico e da sede da CBTU no mapa

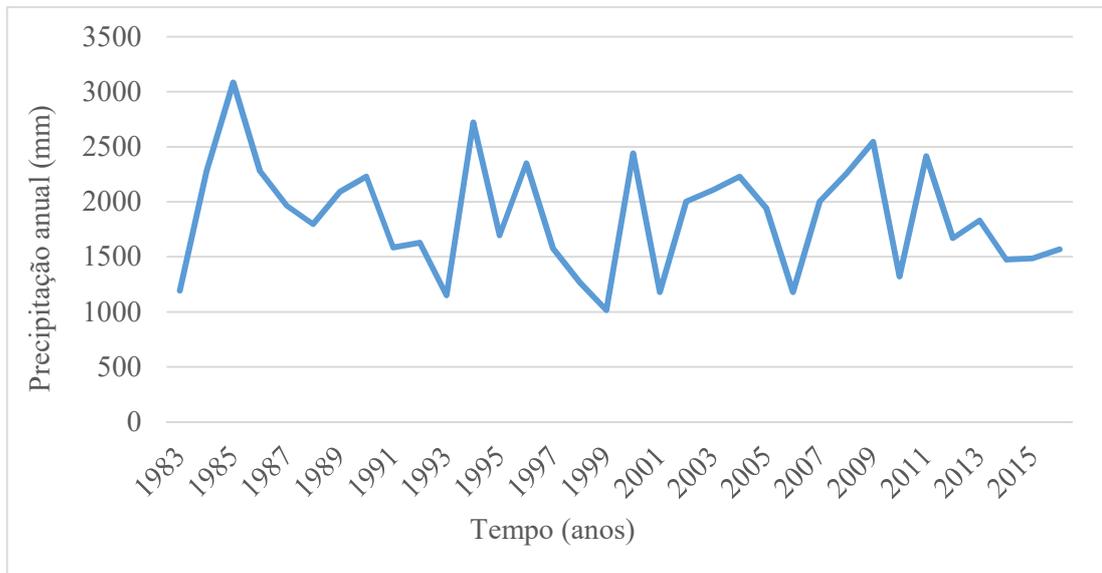


Fonte: adaptado de ANA, 2018.

Tabela 4.1 – Localização do posto pluviométrico e local da pesquisa

Local	Latitude	Longitude
Sede CBTU	07°1198 S	34°8903 W
Posto Pluviométrico	07°1000 S	34°8667 W

A média pluviométrica mensal em João Pessoa aproxima-se dos 156,90 milímetros de chuva por mês na capital e a média anual é de 1.869,40 milímetros. Portanto, anualmente um metro quadrado de área na cidade de João Pessoa recebe por volta de 1,87 metros cúbicos de água. O gráfico 4.1 apresenta os dados de precipitação anual ao longo de toda série histórica na estação pluviométrica compreendendo no total 12.784 dias de dados de chuva.

Gráfico 4.1 – Série histórica de chuvas anuais do posto pluviométrico entre 1983 e 2016

Fonte: ANA, 2018

A disponibilidade pluvial na sede da CBTU pode ser estimada em cada mês ao longo de todo o ano. A vazão de escoamento (Q) em um determinada área de captação é calculada através do produto da área da superfície (A), do coeficiente de escoamento superficial (C) e da altura pluviométrica de chuva (i) em um determinado período de tempo. A equação 4.1 apresenta o cálculo do volume de água de chuva num determinado período de tempo.

$$Q(t) = C.i.A \quad (\text{Equação 4.1})$$

No estudo foram apenas consideradas as áreas de captação do prédio principal da CBTU, das coberturas metálicas das plataformas e do agenciamento externo, pois essas edificações já dispunham da infraestrutura de calhas e tubulação vertical. Os prédios onde funcionam os recursos humanos e a CNF/SESEF, não foram contabilizados como área de contribuição, visto que necessitariam da implantação de calhas e tubulação vertical para a coleta de água de chuva, aumentando os custos de investimento diretos e podendo comprometer a viabilidade econômica de soluções mais baratas.

4.3 Levantamento do consumo de água não potável

A Companhia Brasileira de Trens Urbanos em João Pessoa realiza todos os sábados as atividades de limpeza dos trens, lavagens de pisos e de banheiros e durante os dias da semana a rega de jardins é feita em todos os canteiros de jardinagem presentes na sede. Essas atividades

são realizadas com água potável comprada e fornecida pela companhia de abastecimento público, entretanto essas tarefas poderiam ser executadas com água de qualidade inferior.

O espaço total das áreas de jardim e gramado é de aproximadamente de 310,48 metros quadrados e necessita de rega nos meses de chuva abaixo da média, de setembro a fevereiro, ilustrado nas figuras 4.7 e 4.8. A maior área de jardinagem está situada entre a plataforma de embarque e desembarque e o estacionamento dos funcionários da companhia, possuindo cerca de 150,48 metros quadrados de área. O consumo de água para rega pode ser calculado pelo produto da área de jardim disponível, da taxa de aplicação e da frequência de regas e em um determinado período de tempo.

Figura 4.7 – Área de jardinagem localizada entre o estacionamento e a plataforma de embarque e desembarque



Figura 4.8 – Gramado localizado na sede da CBTU



Segundo Tomaz (2010) a atividade de jardinagem consome uma média de 2 litros de água para cada metro quadrado de área por dia. A frequência pode variar podendo ser diária, duas vezes na semana, uma vez por semana ou uma vez a cada quinze dias.

A lavagem de trens é outra atividade com abundante consumo de água. Todos os sábados a companhia realiza a limpeza dos trens que estiveram em circulação por mais tempo. Normalmente, a lavagem acontece em dois veículos leves sobre trilhos (VLT) e nas semanas de maior movimento de passageiros, quando são colocados mais trens a disposição, a lavagem acontece em três unidades de transporte. A atividade é realizada na estação do Varadouro, localizado na sede administrativa da CBTU, ambiente da realização do estudo.

O trem selecionado para faxina realiza a última viagem de transporte de passageiros até a estação do Varadouro e é estacionado no local mostrado na figura 4.9, onde ocorre todo o procedimento de higienização. A limpeza é iniciada no interior do trem com pouco uso de água a fim de manter a integridade e a durabilidade do assoalho de madeira com compõe uma das camadas do piso dos VLTs. Após os uso de produtos de limpeza adequados a lavagem é feita no seu exterior, onde uma mangueira aberta em vazão máxima esguicha água enquanto os funcionários limpam com esfregão na superfície externa. A equipe é composta por seis ou sete funcionários, trabalhando sob supervisão, e a lavagem completa de um VLT pode durar entre uma hora e meia a duas horas dependendo das condições do veículo.

Figura 4.9 – Local de estacionamento e lavagem de trens



As figuras 4.10 e 4.11 mostram, respectivamente, o procedimento realizado no interior do VLT com pouco uso de água para prevenir patologias no piso interno e a lavagem externa que demanda considerável uso de água com a utilização de mangueira que possua vazão e pressão suficiente para remover fragmentos de barro.

Figura 4.10 – Higiene realizada no interior do VLT



Figura 4.11 – Lavagem externa do VLT com auxílio de mangueira



O volume de água utilizado nas lavagens foi estimado através de medições realizadas nos dias da lavagem. O consumo utilizado para a lavagem interna foi desprezado por ser tão pequeno. A quantidade de água para a limpeza externa do trem foi estimada pela medida de tempo em que a mangueira permanecia aberta com vazão máxima. Através da medida de vazão máxima ($Q_{\text{máx}}$) e do total de tempo de utilização da mangueira (Δt), o volume de água (V) é determinado através da equação 4.2.

$$V = Q_{\text{máx}} \cdot \Delta t \quad (\text{Equação 4.2})$$

De acordo com Tomaz (2010) as descargas de bacias sanitárias podem representar um consumo de 29% total de água potável de uma residência, resultado da utilização frequente dos habitantes que em média utilizam de 4 a 6 vezes por dia. Na indústria esse valor não é muito diferente, algumas estimativas consideram que um funcionário vai em média 5 vezes ao banheiro por dia, contudo em escolas de ensino médio, prédio de escritórios, como repartições

públicas, estima-se que uma pessoa aciona a descarga pelo menos 2 vezes ao dia. Apesar da bacia sanitária no Brasil possuir em torno de 6,8 litros por descarga, os vazamentos podem atingir valores de 30% do volume, portanto, considera-se que uma descarga de bacia possui 9,0 litros de água.

Considerou-se que na CBTU as descargas possuem volume fixo de 6 litros e os 100 funcionários acionam a descarga por 2 vezes ao dia. Nos banheiros de acesso ao público, foi considerado que cada chegada de trem na estação do Varadouro, no total 28 por dia, ocorrem pelo menos 5 acionamento de descargas.

4.4 Levantamento dos volumes de armazenamento

A determinação do volume do reservatório consiste na parte mais importante de um projeto de aproveitamento de água de chuva. A norma brasileira 15.527 (ABNT, 2007) recomenda que o dimensionamento do reservatório deve levar em conta os critérios técnicos, econômicos e ambientais, e descreve seis metodologias de cálculo utilizadas para a determinação do volume de armazenamento. Apesar da norma tratar dessas metodologias diversas, o estudo da implantação do sistema de aproveitamento de água na CBTU não realizou dimensionamento de reservatório, no entanto investigou técnico e financeiramente onze volumes de armazenamento distintos.

A implantação foi avaliada com reservatórios de polietileno em situações de armazenamento de 3.000L, 5.000L, 10.000L, 15.000L, 20.000L, 40.000L, 60.000L, 80.000L, 100.000L, 120.000L e 140.000L. Os sistemas com capacidade de acumulação superior a 15.000L, foram idealizados com a repetição de tanques de polietileno de 20.000L, volume comercial máximo de um reservatório fabricado por esse material.

O balanço volumétrico do sistema de armazenamento ao longo dos meses do ano foi determinado segundo as demandas de água para uso não potável e a oferta de água de chuva durante o ano. A equação 4.3 calcula o saldo volumétrico de um reservatório num determinado período de tempo de um mês.

$$S(t) = Q(t) - D(t) \quad (\text{Equação 4.3})$$

Em que:

$S(t)$: Volume de água no reservatório no término do mês corrente (t)

$D(t)$: Volume de água demandada durante o mês corrente (t)

$Q(t)$: Volume de entrada de água de chuva durante o mês corrente (t)

A tabela 4.2 resume o procedimento para determinação dos dados de balanço volumétrico da água de chuva em um reservatório nos meses do ano.

Tabela 4.2 – Determinação do saldo de água pluvial no reservatório ao longo do ano

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6
Mês	Precipitação média mensal (mm)	Área de Captação (m²)	Entrada mensal (m³/mês)	Consumo Mensal (m³/mês)	Saldo (m³/mês)
Janeiro					
Fevereiro					
Março					
Abril					
Maio					
Junho					
Julho					
Agosto					
Setembro					
Outubro					
Novembro					
Dezembro					

A coluna 1 corresponde aos meses do anos. Na coluna 2 são inseridos os dados de pluviometria mensal em milímetro de chuva e na coluna 3 os dados de área de captação de chuva do sistema. A entrada mensal, na coluna 4, é o resultado da aplicação da equação 4.1 com os dados das colunas 1 e 2. O consumo mensal, na coluna 5, é a estimativa de demanda para uso não potável de água de chuva em cada mês do ano. Na coluna 6, o saldo é resultado da diferenças volumétrica das colunas 5 e 6. Quando o saldo for negativo é sinal que a demanda é superior à oferta de água, quando for positivo é sinal que a oferta de chuva é superior a demanda naquele período de tempo.

O volume de água reservado no final do mês é determinado a partir da soma do saldo mensal de água com o volume reservado no final do mês anterior. Quando a soma do saldo com

o volume no mês anterior for negativo significa que não houve acumulação de água de chuva durante o mês corrente, portanto volume reservado no final do mês é igual a zero. Se a soma é positiva e inferior ao volume de água do reservatório, nessa situação o volume reservado é igual à soma. Se é positiva e superior ao volume de água do reservatório, o volume reservado é igual ao volume do tanque de armazenamento.

O extravasamento ocorre quando volume do tanque é insuficiente para armazenar toda a entrada de água ao longo do mês. O volume extravasado é calculado pela diferença do saldo volumétrico do tanque com o volume reservado o final do mês. Se essa diferença é negativa, significa que o extravasamento foi nulo, caso contrário é igual a diferença.

Cada sistema de armazenamento resulta em diferentes valores de volume aproveitado de água anualmente e essa grandeza indica a quantidade de água é disponibilizada para consumo. Quanto maior for o volume do reservatório, maior é o volume de água aproveitado por ano. Seu valor é obtido pela diferença da entrada total anual de água, resultado da soma dos valores coluna 5 da tabela 4.2, com o volume de água extravasado anualmente.

4.5 Identificação dos custos e benefícios do projeto

Os custos e benefícios para análise econômica foram identificados nessa seção. Os custos foram divididos entre custos de investimentos (diretos ou indiretos) e custos de exploração, e os benefícios representam o valor econômico da água disponibilizada para consumo pelo sistema de aproveitamento.

4.5.1 Custos de investimento direto

Os custos de investimento direto são as despesas relacionadas a implantação do sistema e compreendem os gastos de construção e instalação do reservatório, filtro de areia, tubulações e acessórios.

As despesas de tubulação e acessórios foram estimadas de acordo com o sistema predial existente nos prédios da CBTU. O prédio principal da companhia, o agenciamento externo e as cobertas metálicas localizadas na plataforma possuem calhas e tubulação vertical para coleta da água de chuva, enquanto as edificações onde funcionam os Recursos Humano e a CFN/SESEF

não possuem essas instalações. Os valores foram extraídos do catálogo de composições não desoneradas do SINAPI/PB de julho de 2018 fornecida pela Caixa Econômica Federal.

O sistema idealizado é composto por tubulações, caixas de inspeção em concreto pré-moldado, reservatório inferior de volume variado em poliuretano simplesmente apoiado, filtro de areia com base em concreto armado, bomba para recalque e reservatório superior de poliuretano de 1000L. Os gastos com reservatórios são referentes à compra do reservatório e a base de concreto magro e dependem da quantidade ou tipo de reservatório e da área total da base.

O filtro de areia foi instalado pela necessidade de um tratamento simplificado do sistema que reduzisse a quantidade de sólidos no efluente final. Considerou-se um filtro de camada de areia simples, com taxa de infiltração de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2$, espessura de 70 cm, área de leito filtrante e precipitação local de 140 mm/h. A equação 4.4 determina a vazão total que o filtro recebe.

$$Q = 0,024.I.A \quad (\text{Equação 4.4})$$

Em que:

Q: vazão em m^3/dia

I: precipitação local para duração de 5 min e tempo recorrência de 5 anos

A: área de captação

A área necessária para filtrar essa vazão (A_f) é determinada dividindo-se a vazão (Q) pela taxa de infiltração (T_x) apresentado na equação 4.5.

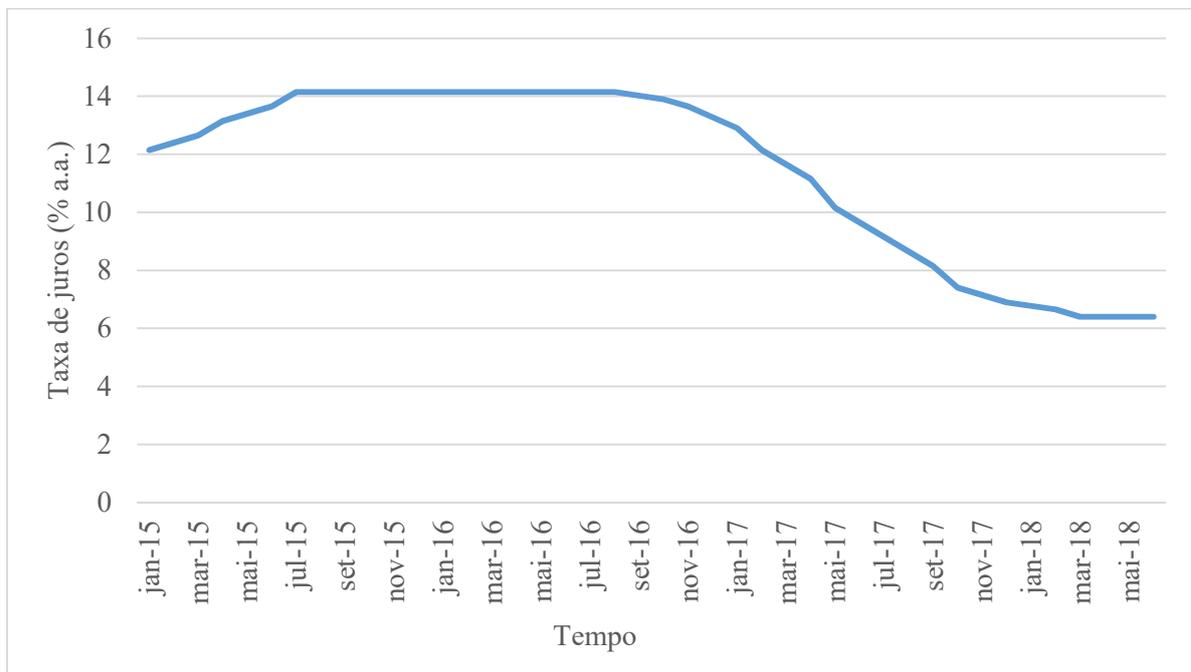
$$A_f = Q/T_x \quad (\text{Equação 4.5})$$

Portanto, são necessários $46,9 \text{ m}^2$ de área para filtrar toda a vazão. Considerando um filtro de área quadrada, o lado possui dimensão de 6,85m para atender a vazão captada pelo telhado. Os custos de construção e implantação do filtro de areia são iguais para todos os volumes de reservatório. Portanto, o custo total direto de implantação do sistema de captação e aproveitamento de chuva é calculado pela soma dos custos fixos (tubulação, conexões, bomba, caixas de passagens), de reservatório e do filtro de areia.

4.5.2 Custo de investimento indireto

O custo de investimento indireto considerado nesse estudo foi a depreciação devido a taxa de juros. A determinação da taxa de juros foi calculada através da série histórica da taxa Selic, determinada pelo Banco Central. O Sistema Especial de Liquidação e Custódia determina o custo do dinheiro para empréstimos bancários no Brasil e serve como base de referência para a taxa de juros nos bancos do país. A taxa Selic vem batendo as marcas de menores valores históricos no ano de 2018 e seu cálculo foi determinado com dados dos seus últimos 3 anos. O gráfico 4.2 apresenta a série histórica da taxa Selic nesse período.

Gráfico 4.2 – Série histórica da taxa Selic (% a.a.) a partir de 2015



Fonte: BCB, 2018.

A taxa de juros utilizada no estudo foi uma média ponderada pelo número de dias em que cada taxa de juros permaneceu ativa nesses últimos três anos. A média encontrada foi de 11,53% ao ano, superior aos 6,5% ao ano de taxa de juros no último mês da série histórica, em junho de 2018.

4.5.3 Custos de exploração

Os custos de exploração consistem nas despesas relacionadas à utilização do sistema de captação de chuvas. Os gastos de energia elétrica para bombeamento da água para o reservatório

superior e os gastos de manutenção da bomba, limpeza de telhados, troca de peças, tubulações, conserto de vazamentos constituem os principais custos de exploração.

Segundo Martins (2017) em estudo desenvolvido sobre a viabilidade de um sistema de aproveitamento de águas de chuva no Hospital Metropolitano de Santa Rita na Paraíba estimou um gasto de R\$ 1.000,00 por ano com troca de peças e tubos e pequenos reparos de vazamentos.

O uso de bombas elétricas para lançar a água em alturas desejadas demanda energia elétrica. A energia total de bombeamento é calculada segundo a equação 4.6, é o resultado do produto da massa de água bombeada, gravidade e altura desejada, segundo Dias (2007).

$$E = V \cdot \rho \cdot g \cdot H / (3,6 \cdot 10^6 \cdot n) \quad (\text{Equação 4.6})$$

Em que:

E: energia total consumida para bombeamento em KWh

V: volume de água bombeada

ρ : peso específico da água, igual a 1000 kg/m³

g: aceleração da gravidade, igual a 9,81 m/s²

H: altura manométrica (m.c.a)

n: rendimento do conjunto motor-bomba, considerado 50%

O custo relacionado ao consumo de energia é dado pela multiplicação do consumo de energia por ano pela tarifa de energia dada em reais por KWh da concessionária local. Para a rede de baixa tensão, a Energisa define que o valor da tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) para o serviço público na hora de ponta é de 0,78325 R\$/KWh. Entretanto, nesse estudo utilizou-se o valor de 0,76219 R\$/KWh, tarifa média calculada nas contas de energia da sede da companhia dos últimos meses.

4.5.4 Benefícios econômicos

O benefício econômico considerado foi o valor econômica da água aproveitada por ano. O cálculo relacionado ao consumo de água economizável foi feito através do produto do volume de água aproveitado anualmente pela tarifa de água referente a estrutura tarifária da Cagepa. A tarifa de água cobrada para o serviço público com consumo superior a 10 m³ por mês é de 12,89 R\$/m³ desde de maio de 2018.

A mesma tarifa de 12,89 R\$/m³ também é cobrada para a coleta de esgoto, faturada a partir do consumo da água medido no hidrômetro. A futura implantação do sistema de aproveitamento de águas de chuva, pode gerar mudanças na cobrança dessas tarifas. Desse modo, a provável redução inicial das faturas de água pela redução do consumo de água e o reconhecimento da utilização de fontes alternativas de água para a concessionária local pode não implicar futuramente um benefício econômico do faturamento do esgoto pago a partir do consumo da água. Portanto, apesar da sede da CBTU utilizar do sistema de coleta de esgoto da concessionária, a implantação do aproveitamento de água de chuva não provoca uma redução do lançamento de esgoto na rede da concessionária, assim, não sendo considerado como benefício econômico.

Os parâmetro de análise do benefício econômico são o valor presente líquido (VPL), relação benefício-custo (B/C) e tempo de retorno do capital (TRC), também chamado de *payback* descontado. A análise econômica feita por esses indicadores é essencialmente temporal e verifica a desvalorização do capital ao longo do tempo. O valor presente líquido é calculado segundo a equação 4.7.

$$VPL = \sum \frac{Receita\ líquida}{(1 + \frac{Juros}{100})^n} - custos\ iniciais \quad (\text{Equação 4.7})$$

Sendo:

VPL: benefício acumulado ao longo do horizonte de projeto em termos monetários atuais.

Receita líquida: valor anual que foi economizado, subtração dos benefícios pelos custos.

Custos iniciais: investimento inicial para implantação do sistema

Juros: taxa de juros anual, determinado em 11,53% a.a.

N: horizonte de projeto, determinado em 25 anos.

A relação benefício-custo é o quociente da divisão entre o valor presente líquido acumulado, que é primeiro termo da equação 4.7, e o investimento inicial. O *payback* descontado é obtido quando o valor presente líquido supera o custo inicial. Dependendo da taxa de juros e do benefício líquido inicial, é possível que um investimento nunca possua um tempo de retorno, uma vez que o benefício se torna cada vez menor e valor presente bruto tende a atingir um valor máximo com o passar dos anos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

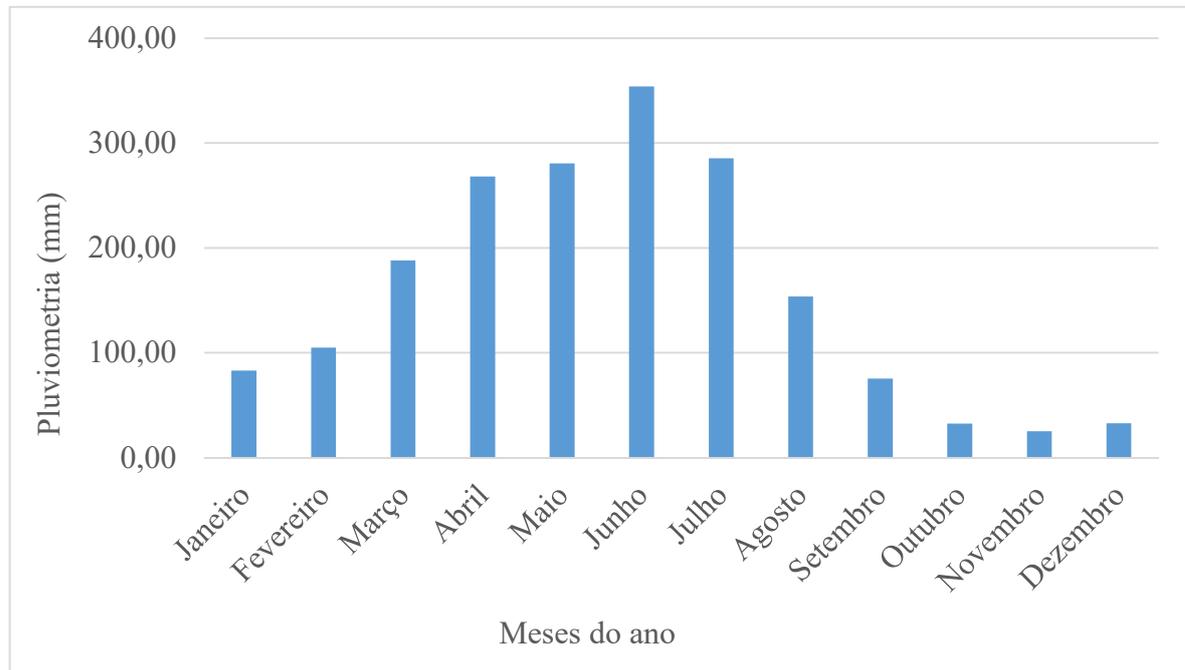
5.1 Disponibilidade de água pluvial

Os dados de precipitação de chuva do posto pluviométrico em Mandacaru dos últimos 35 anos resultou numa média pluviométrica mensal caracterizada na tabela 5.1 e no gráfico 5.1. O mês de maior média de chuva é junho, com precipitação média de 353,97 mm, enquanto o mês de menor média é novembro com apenas 25,04 mm de chuva precipitados.

Tabela 5.1 – Média mensal de precipitação no posto pluviométrico

Mês	Precipitação Média (mm)
Janeiro	82,87
Fevereiro	104,77
Março	188,06
Abril	268,13
Maiο	280,65
Junho	353,97
Julho	285,27
Agosto	153,45
Setembro	75,39
Outubro	32,56
Novembro	25,04
Dezembro	32,66
Média	156,90

Fonte: ANA, 2018

Gráfico 5.1 – Precipitação mensal média em milímetros de chuva no posto pluviométrico de Mandacaru

Fonte: ANA, 2018

A determinação da disponibilidade de água mensalmente para o sistema de aproveitamento foi feito considerando o coeficiente de *Runoff* igual a 0,90 e foram consideradas apenas as áreas de captação dos anexos considerados na tabela 5.2, totalizando 1251,36 m² de telhado.

Tabela 5.2 – Áreas de captação consideradas para o sistema de aproveitamento

Local	Área	Unidade
Prédio Principal	408,20	m ²
Agenciamento Externo	203,32	m ²
Plataforma Coberta 1	447,81	m ²
Plataforma Coberta 2	92,49	m ²
Acesso à Administração	99,53	m ²

Todas as áreas de telhado consideradas são disponíveis para a captação de água de chuva ao longo do ano, resultando numa entrada de água mensal apresentado na tabela 5.3. A entrada de água de chuva é diretamente proporcional ao índice pluviométrico mensal, portanto há maior água de chuva disponível em junho e menor entrada pluvial em novembro.

Tabela 5.3 – Entrada de água de chuva em metros cúbicos por mês

Mês	Entrada (m³)
Janeiro	93,33
Fevereiro	118,00
Março	211,80
Abril	301,97
Maio	316,08
Junho	398,65
Julho	321,28
Agosto	172,82
Setembro	84,91
Outubro	36,67
Novembro	28,20
Dezembro	36,78
Total	2120,48

5.2 Demanda por água pluvial

A lavagem de trens, a jardinagem e as descargas das bacias sanitárias foram os três consumos de água para fins não potável estimados para estudo de viabilidade econômica. Dois cenários de demanda de água de chuva foram estudados para análise financeira dos vários volumes de reservatório, o primeiro cenário compreende o consumo composto apenas por jardinagem e lavagem de trens, enquanto o segundo cenário compreende uma análise com a inclusão do consumo das descargas das bacias sanitárias.

O consumo da jardinagem foi obtido pelo cálculo total da área de jardinagem aplicado a uma taxa de consumo diário de 2 L/m².dia nos com baixo índice de chuva. Portanto, esse consumo existe apenas em seis meses do ano. A demanda de água para a lavagem de trens foi medido através do tempo em que a mangueira permanecia ligada em vazão máxima durante a lavagem e o consumo de água nas descargas estimado considerando 5 descargas por chegada de trem e 2 descargas por funcionário por jornada de trabalho. A tabela 5.4 resume as demandas de água para fins não potáveis.

- a) $V_{\text{jardinagem}} = (310,48 \text{ m}^2) \cdot (2 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}) = 620,96 \text{ L/dia}$
- b) $V_{\text{trem}} = (4365 \text{ seg}) \cdot (0,312 \text{ L/seg}) \cdot (1 \text{ lavagem}/2 \text{ trens}) / (3 \text{ trens}) = 905,70 \text{ L/lavagem}$
- c) $V_{\text{descarga}} = [(28 \text{ trem}/\text{dia}) \cdot (5 \text{ desc.}/\text{trem}) + (100 \text{ func.}) \cdot (2 \text{ desc.}/\text{func.})] \cdot (6 \text{ L/desc.}) = 2040 \text{ L/dia}$

Tabela 5.4 – Demanda de água para fins não potáveis

Uso não potável	Consumo	Unidade
Jardinagem	620,96	L/dia
Lavagem de trem	905,70	L/lavagem
Descargas	2040,00	L/dia

O consumo de água varia ao longo do ano, devido à ausência do consumo de jardinagem em alguns meses. A demanda varia também segundo o cenário analisado para o estudo de viabilidade econômica. Para o cálculo das demandas considerou-se que ocorrem em torno de 4,33 lavagens de trens todos os meses e que os mês possui 25 dias de consumo de descargas e jardinagem normais. Em um mês a jardinagem demanda 15,53 m³ de água, a lavagem 3,92 m³ e as descargas consomem pelo menos 51,00 m³. A tabela 5.5 apresenta os consumos de água de chuva de acordo com o mês do ano e o cenário.

Tabela 5.5 – Consumo de água não potável conforme o mês em cada cenário

Mês	Consumo (m³)	
	Cenário 1	Cenário 2
Janeiro	19,45	70,45
Fevereiro	19,45	70,45
Março	3,92	54,92
Abril	3,92	54,92
Maio	3,92	54,92
Junho	3,92	54,92
Julho	3,92	54,92
Agosto	3,92	54,92
Setembro	19,45	70,45
Outubro	19,45	70,45
Novembro	19,45	70,45
Dezembro	19,45	70,45
Total	140,24	752,24

O cenário 1 apresenta apenas consumo de jardinagem e lavagem de trens e o cenário 2 possui demanda de água para jardinagem, lavagem de trem e descargas de bacias sanitárias.

5.3 Volume aproveitado

As equação do balanço volumétrico foram aplicado em todos os cenários existentes a fim de obter o volume total aproveitado de cada volume de armazenamento. O cálculo da diferença entre consumo e demanda é o primeiro passo para a determinação do volume disponível para consumo. A tabela 5.6 resume dados de saldo volumétrico dos cenários analisados.

Tabela 5.6 – Saldo volumétrico mensal segundo o cenário de consumo

Mês	Saldo (m ³)	
	Cenário 1	Cenário 2
Janeiro	73,88	22,88
Fevereiro	98,55	47,55
Março	207,88	156,88
Abril	298,05	247,05
Mai	312,15	261,15
Junho	394,73	343,73
Julho	317,35	266,35
Agosto	168,90	117,90
Setembro	65,46	14,46
Outubro	17,22	-33,78
Novembro	8,75	-42,25
Dezembro	17,33	-33,67

Observa-se que o cenário 2 apresenta um déficit volumétrico nos últimos três meses do anos, devido à baixa de disponibilidade pluviométrica para um elevado consumo de água. Enquanto o consumo é superior a 70m³, a oferta de água de chuva é inferior a 40 m³ nesses mesmos meses. No cenário 1 nota-se que não há déficit de água de chuva.

O volume aproveitado anualmente varia para cada sistema de armazenamento. A tabela 5.7 e apresentam os valores dos volumes aproveitados de acordo com o volume de armazenamento do sistemas de aproveitamento.

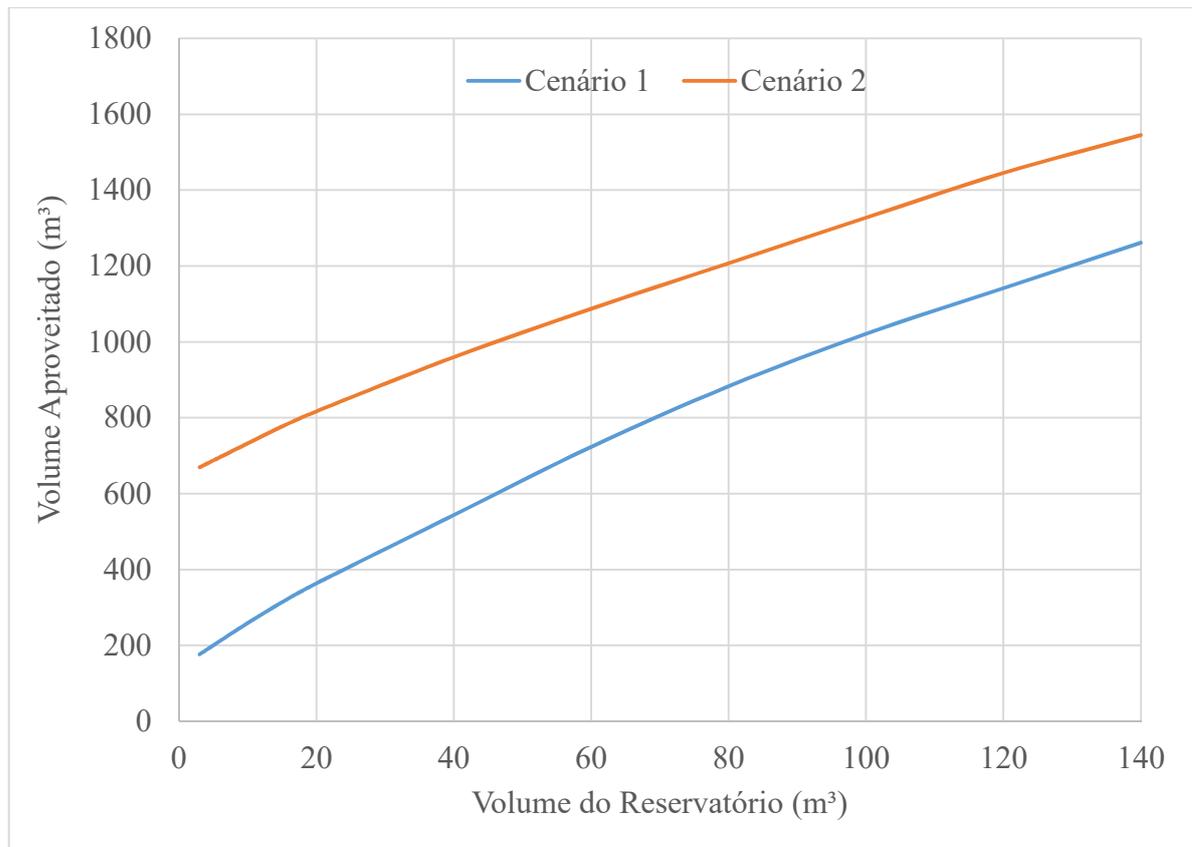
Tabela 5.7 – Volume aproveitado segundo o volume de reservatório

Volume do reservatório (m³)	Volume aproveitado (m³)	
	Cenário 1	Cenário 2
3	176,24	669,54
5	200,24	687,54
10	258,99	732,54
15	313,99	777,00
20	363,54	817,00
40	543,54	959,88
60	723,54	1087,43
80	882,88	1207,43
100	1021,43	1327,43
120	1141,43	1445,33
140	1261,43	1545,33

Em ambas situações o volume de água aproveitado são significantes e podem representar um benefício significativo. Observa-se, no entanto, que o volume aproveitado é superior no segundo cenário, quando há maior consumo. O aumento da demanda por água de chuva, apresentado no cenário 2, reduz o tempo de detenção hidráulico dos reservatórios, resultando numa maior renovação da água de chuva e melhorando o aproveitamento de água do sistema. Isso pode ser notado claramente nos reservatórios de volumes menores, quando o volume de aproveitamento chega a ser 3 vezes superior quando comparado os dois cenários de consumo.

O crescimento do volume aproveitado é evidente com o aumento do armazenamento de água, assim como, os custos de investimentos direto. A medida que o sistema de armazenamento cresce, o aproveitamento de água e o investimento inicial também. O gráfico 5.2 ilustra o crescimento do volume aproveitado segundo o volume de armazenamento para cada cenário de demanda.

Gráfico 5.2 – Variação do volume aproveitado segundo o volume do reservatório



O gráfico ilustra que a variação do volume aproveitado pelo volume de reservatório não é linear. Apesar do custo de investimento inicial aumentar linearmente na medida que o armazenamento cresce, como mostrado no gráfico 5.2, o aproveitamento não aumenta na mesma taxa. Desse modo, dado um aumento no volume do reservatório, um volume de aproveitamento pode estar relacionado a um custo de investimento incompatível. A investigação dos volumes de armazenamentos que possuem um custo compatível com seus benefícios são determinados na análise econômica.

5.4 Custos de investimento

O levantamento das despesas de investimento direto, gastos com implantação física do sistema, foram levantados de acordo com o volume de armazenamento. Os gastos que independiam dos volumes armazenados foram obtidos compreendendo a construção do filtro de areia, instalação e compra de tubos, caixa de areia, bomba e reservatório superior. A tabela 5.8

resume os gastos fixos relacionados ao sistema de aproveitamento com preços unitários levantado pelo sistema SINAPI da Caixa Econômica Federal.

Tabela 5.8 – Gastos fixos com o sistema de captação e armazenamento de água livre da capacidade de armazenamento

DESCRIMINAÇÃO	UND	QUANT	PREÇO	
			UNITÁRIO	TOTAL
DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SÉRIE R, ÁGUA PLUVIAL, DN 100 MM (INSTALADO EM RAMAL DE ENCAMINHAMENTO, OU CONDUTORES VERTICAIS), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS.	M	12,00	35,32	423,84
DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SÉRIE R, ÁGUA PLUVIAL, DN 150 MM (INSTALADO EM CONDUTORES VERTICAIS), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS.	M	153,00	43,40	6640,20
DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 25 MM (INSTALADO EM RAMAL, SUB-RAMAL, RAMAL DE DISTRIBUIÇÃO OU PRUMADA), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS.	M	135,00	26,83	3622,05
CAIXA DE INSPEÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO DN 60CM COM TAMPA H= 60CM - FORNECIMENTO E INSTALACAO	UN	5,00	167,24	836,20
CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO, 1000 LITROS, COM ACESSÓRIOS	UN	1,00	628,28	628,28
BOMBA CENTRIFUGA C/ MOTOR ELETRICO TRIFASICO 1CV	UN	1,00	1032,81	1032,81
INSTALACAO DE CONJ.MOTO BOMBA HORIZONTAL ATE 10 CV	UN	1,00	317,75	317,75
TOTAL				13501,13

Fonte: FEDERAL, 2018

Nota-se que os gastos desconsiderando as despesas com filtro de areia e reservatório de armazenamento representam um total de R\$ 13.501,13. Parte considerável dessas despesas se

refere a aquisição e instalação de tubulações de água de chuva para condução do volume de escoamento, representando um custo superior a 10 mil reais. O filtro de areia também é uma despesa fixa que independe do volume do reservatório. A construção do filtro foi idealizada em alvenaria e concreto armado com assentamento e construção manual. A tabela 5.9 resume as composição da construção do filtro de areia necessário para o volume de água captado pelo sistema.

Tabela 5.9 – Composição do custo de construção do filtro de areia

DESCRIMINAÇÃO	UND	QUANT	PREÇO (R\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
AREIA FINA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M ³	32,85	60,00	1970,75
CONCRETO MAGRO PARA LASTRO, TRAÇO 1:4,5:4,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L	M ³	2,35	6,40	15,02
ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA HORIZONTAL DE 9X19X19CM (ESPESSURA 9CM) DE PAREDES COM ÁREA LÍQUIDA MAIOR OU IGUAL A 6M ² COM VÃOS E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO MANUAL	M ²	41,1	51,75	2126,93
CONCRETO FCK = 20MPA, TRAÇO 1:2,7:3 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L.	M ³	4,69	272,50	1278,64
LANCAMENTO/APLICACAO MANUAL DE CONCRETO EM FUNDACOES	M ³	4,69	86,98	408,13
TOTAL				5799,46

Fonte: FEDERAL, 2018.

O gasto fixo para implantação do sistema que independe do volume de armazenamento é de R\$ 19.300,59. Todos os gastos que dependem do volumes de armazenamento são apenas a aquisição e instalação do reservatório inferior e construção da base de apoio em concreto magro. A tabela 5.10 resume as despesas referentes ao armazenamento de água do sistema e são diretamente proporcionais ao volume de reservatório.

Tabela 5.10 – Despesas referentes ao reservatório de água de chuva

Volume (m³)	Despesas com reservatórios (R\$)
140	65.271,52
120	55.947,02
100	46.622,51
80	37.298,01
60	27.973,51
40	18.649,01
20	9.324,50
15	6.402,66
10	3.530,62
5	2.520,19
3	1.307,67

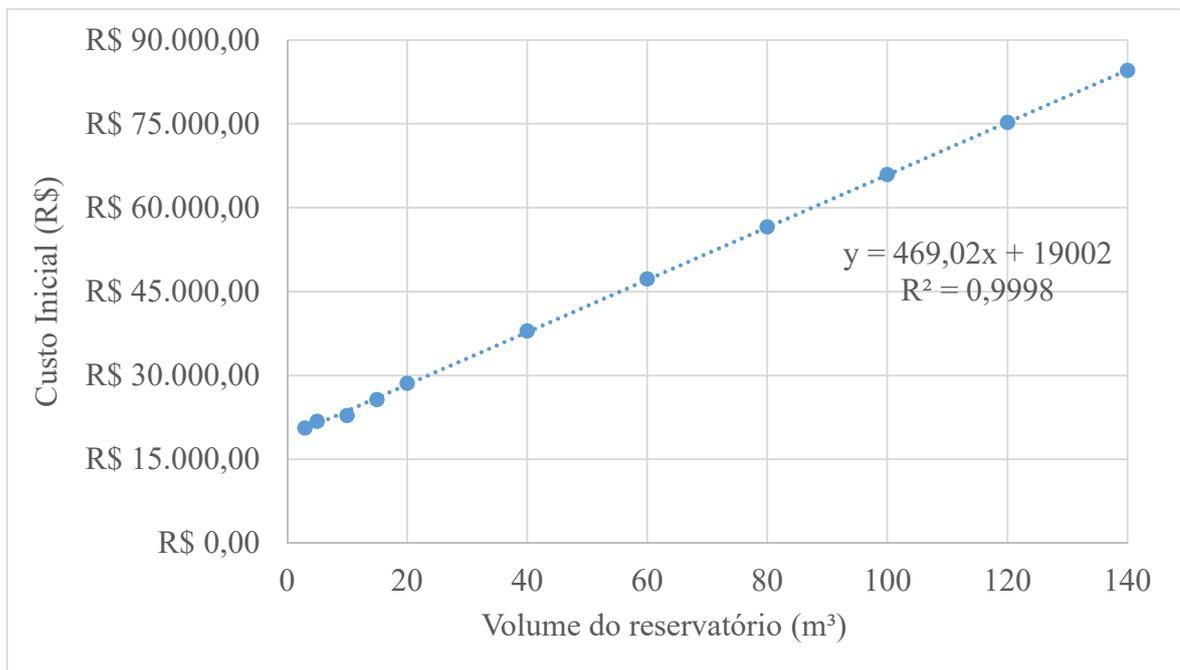
A tabela 5.11 apresenta os custos totais diretos de implantação do sistema de acordo com o volume de armazenamento.

Tabela 5.11 – Investimento inicial segundo o volume de armazenamento

Volume (m³)	Investimento Inicial (R\$)
140	84.572,10
120	75.247,60
100	65.923,10
80	56.598,60
60	47.274,09
40	37.949,59
20	28.625,09
15	25.703,24
10	22.831,21
5	21.820,77
3	20.608,25

O gráfico 5.3 mostra o crescimento do investimento inicial de acordo com o volume do reservatório. O volume do reservatório e o investimento direto possuem uma relação diretamente proporcional e linear. Nota-se que mesmo que o sistema não possua volume de armazenamento, o investimento inicial é de aproximadamente de R\$ 19.000,00 referente aos gastos fixos de tubulação, conexões, caixas de passagem e filtro de areia.

Gráfico 5.3 – Variação do investimento inicial em reais pelo volume de armazenamento em metros cúbicos



5.5 Análise econômica

O sistema de aproveitamento de água de chuvas da CBTU foi proposto com área de captação de 1250 m², numa localidade que fornece em média 156 mm de chuva por mês, resultando num fornecimento de água que varia entre 28 m³ a 398 m³ por mês. O sistema foi analisado de acordo com dois cenários de demanda para um horizonte de projeto de 25 anos com taxa de juros de 11,53%. A análise econômica foi realizada para reservatórios de diversos tamanhos com volume de armazenamento de iniciam em 3.000L até 140.000L. Os resultados dos indicadores econômicos de valor presente líquido (VPL), razão benefício-custo e tempo de retorno financeiro estão apresentados nesta seção.

5.5.1 Cenário 1

Para os volumes de reservatórios propostos calculou-se a diferença entre benefício e custos em termos de valores atuais no cenário com consumo de jardinagem e lavagem de trens. A tabela 5.12 mostra essa diferença em valor presente líquido (VPL) para cada volume de reservatório.

Tabela 5.12 – VPL em função do volume do reservatório no cenário 1

Volume do Reservatório (m³)	Benefício - Custo (VPL) (R\$)
3	-9.151,56
5	-7.572,90
10	-1.750,76
15	1.773,65
20	4.614,54
40	16.223,88
60	27.833,22
80	37.040,17
100	43.828,49
120	48.459,89
140	53.091,28

Observa-se que os sistemas de aproveitamento de água com reservatórios de 3 m³, 5 m³, 10 m³ apresentaram valor presente líquido negativo, o que significa que estes sistemas destroem valor econômico. A coleta e reuso de água de chuvas com um reservatório de 3.000 L é o que resulta em maior prejuízo financeiro, aproximadamente de R\$ 9.151,56 ao final da sua vida útil. Os sistemas de aproveitamento com volumes superiores a 15m³ resultam na criação de valor econômico, nessa situação os benefícios são prevalentes e determinam o ganho financeiro se utilizado pelos 25 anos de vida útil.

O tempo de retorno financeiro ou *payback* descontado também foi determinado para cada volume de armazenamento nesse cenário como apresentado na tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Tempo de retorno em função do volume do reservatório no cenário 1

Volume do Reservatório (m³)	Período de Retorno (anos)
3	-
5	-
10	-
15	19,70
20	14,99
40	9,85
60	8,46
80	7,76
100	7,71
120	7,81
140	7,88

Como discutido, os reservatório de volume 3 m³, 5 m³ e 10 m³ não conseguem dar retorno financeiro dentro do horizonte de projeto de 25 anos. O valor econômico do projeto tende a atingir um valor máximo após determinado tempo, uma vez que o benefício se torna cada vez menor com a aplicação da taxa de juros. O benefício financeiro máximo atingindo nos reservatórios de 3.000 L, 5.000L e 10.000 L são de, respectivamente, R\$ 12.257,31, R\$ 14.247,87 e 21.080,44, muito inferiores ao seus investimentos iniciais de R\$ 20.608,25, R\$ 21.820,77 e R\$ 22.831,21, justificando o fato de não existir *payback* nessas três situações, uma vez que mesmo em tempo infinito os benefícios nunca superariam os custos iniciais. Quando o reservatório é igual ou superior a 15 m³, o retorno financeiro acontece em menos de 25 anos comprovando sua a rentabilidade. Os volume de 15.000 L e 20.000L apresentam tempo de retorno entre 15 e 20 anos, apresentando maior risco de investimento, quando comparado aos outros sistemas que se pagam entre 7 a 10 anos, que indica retorno financeiro mais rápido.

O volume de 100.000 L apresentou o menor período de retorno de 7,71 anos. Os volumes superiores apresentaram valores de *payback* um pouco superiores indicando se atingiu

um teto no volume de 100.000 L, ou seja, a partir desse ponto um aumento do volume armazenado não representa uma diminuição do tempo de retorno.

A relação benefício-custo também foi determinada para todos os volumes de reservatório. A tabela 5.14 apresenta os resultados encontrados em função do volume armazenado.

Tabela 5.14 – Relação benefício/custo em função do volume de reservatório no cenário 1

Volume do Reservatório (m³)	Relação Benefício/Custo
3	0,56
5	0,65
10	0,92
15	1,07
20	1,16
40	1,43
60	1,59
80	1,65
100	1,66
120	1,64
140	1,63

A relação benefício-custo é inferior a 1 nos três menores volumes, portanto para cada uma unidade monetária investida nos reservatórios de 3.000 L, 5.000 L e 10.000 L o retorno esperado ao fim da vida útil é de, respectivamente, 0,56, 0,65 e 0,92 unidades monetárias, comprovando a redução da riqueza econômica. Os reservatórios acima de 15 m³ possuem relação benefício-custo superior a 1, comprovando a viabilidade econômica do sistema nessas ocasiões. A relação benefício-custo é maior quando o volume do reservatório é de 100.000 litros, e partir desse volume o sistema não apresenta mais crescimento da relação b/c indicando que o indicador atingiu um teto nesse volume.

5.5.2 Cenário 2

O segundo cenário de consumo compreende os consumos do cenário 1 adicionado a demanda de água de descargas das bacias sanitárias. Os resultados do valor presente líquido (VPL) no segundo cenários de consumo estão apresentados na tabela 5.15.

Tabela 5.15 – VPL em função do volume do reservatório no cenário 2

Volume do Reservatório (m³)	Benefício - Custo (VPL) (R\$)
3	48.218,91
5	49.099,77
10	53.322,80
15	55.621,65
20	57.351,77
40	64.644,21
60	70.153,24
80	74.784,64
100	79.416,03
120	83.802,72
140	86.108,14

Nota-se que para todos os volumes de reservatório os resultados de valor presente líquido (VPL) no cenários 2 são bastante satisfatórios. Os volumes de 3.000 L até 140.000 L apresentam retorno financeiro que variam de R\$ 48.218,91 até R\$ 86.108,14, indicando a alta criação de valor econômico na implantação do sistema de captação de águas de chuva nessa hipótese.

A tabela 5.16 apresenta os resultados do tempo de retorno financeiro ou *payback* descontado em cada volume de reservatório e a tabela 5.17 apresenta os resultados da relação benefício-custo em função do volume armazenado na segunda hipótese de consumo.

Tabela 5.16 – Tempo de retorno em função do volume do reservatório no cenário 2

Volume do Reservatório (m³)	Período de Retorno (anos)
3	3,01
5	3,09
10	3,01
15	3,17
20	3,52
40	3,91
60	4,25
80	4,79
100	5,04
120	5,26
140	5,78

Tabela 5.17 – Relação benefício/custo em função do volume de reservatório no cenário 2

Volume do Reservatório (m³)	Relação Benefício/Custo
3	3,34
5	3,25
10	3,34
15	3,16
20	3,00
40	2,70
60	2,48
80	2,32
100	2,20
120	2,11
140	2,02

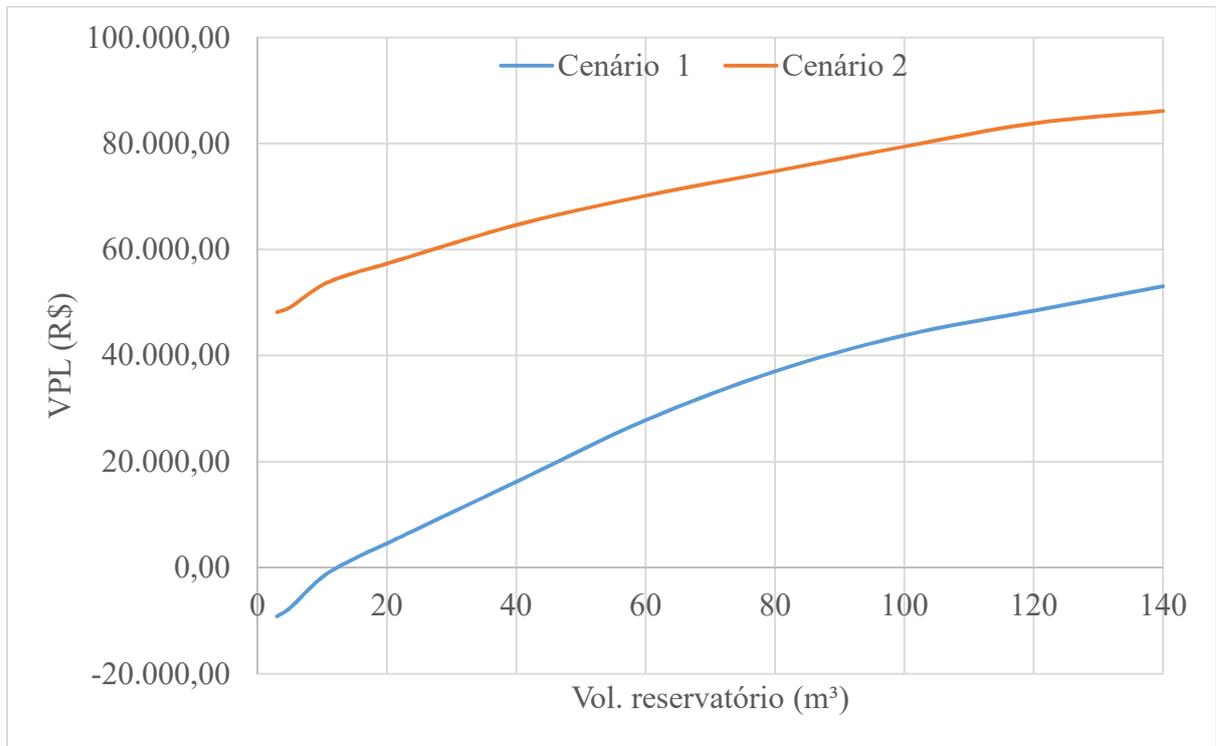
No segundo cenário os dados apontam que quando menor o volume do reservatório, mais rapidamente o investimento inicial é pago. Os volumes de 3.000 L, 5.000 L e 10.000 L apresentaram os menores *payback* de aproximadamente de 3 anos, enquanto os volumes superiores a 100.000 L apresentaram *payback* maiores que 5 anos. Esse cenário aponta que todos os volumes apresentam rápido retorno financeiro, e conseqüentemente menores riscos de investimento.

O quociente benefício-custo é um indicativo da taxa de lucratividade do investimento. Nessa hipótese, o menor valor de relação b/c foi de 2,02, para o volume de 140.000 L, indicando que todas as escolhas de volume de armazenamento resultam em pelo menos o dobro do investimento inicial ao final da vida útil do sistema. Os reservatórios de 3.000 L e 10.000 L resultaram nos volumes com maior relação benefício-custo, onde cada 1 real investido resulta em 3,34 reais no final de vida útil.

5.5.3 Comparação dos cenários

Para confrontar os resultados das duas hipóteses de consumo, os resultados dos indicadores econômicos foram plotados em gráficos para a visualização das diferenças de comportamento em função do volume. O gráfico 5.4 apresenta os resultados do valor presente líquido (VPL) de ambos os cenários conforme o volume de reservatório.

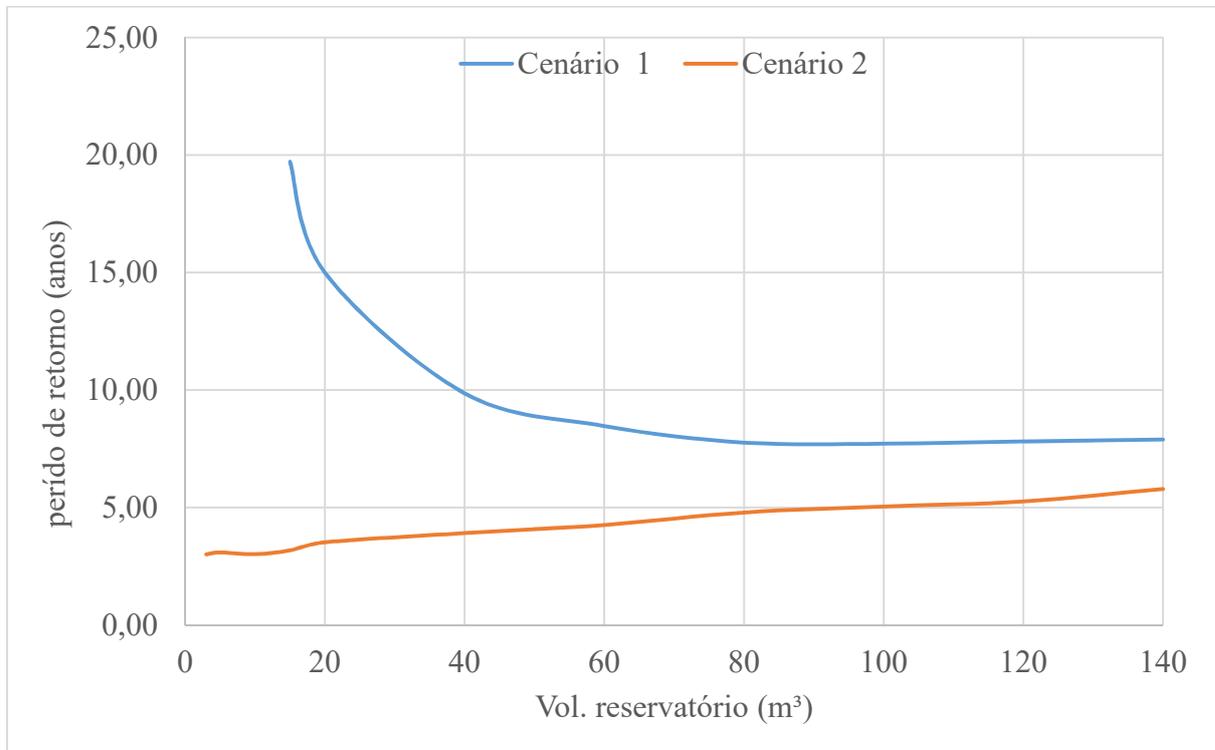
Gráfico 5.4 - VPL em função do volume de armazenamento em ambos cenários



O gráfico mostra que o cenário 2 possui um retorno financeiro muito superior ao apresentado no cenário 1. O aumento do consumo fez com que o aumento do volume aproveitado crescesse, implicando positivamente nos benefícios econômicos de todos os reservatórios. Nota-se que a distância entre as duas curvas representa o ganho econômico do valor presente líquido devido ao aumento do consumo, desse modo identifica-se que o resultado impactou positivamente os sistema de aproveitamento nos menores volumes de reservatório. Enquanto o reservatório de 3.000 L apresentou um ganho de R\$ 57.370,47 no VPL, o reservatório de 140.000 L apresentou ganho de aproximadamente R\$ 33.016,86.

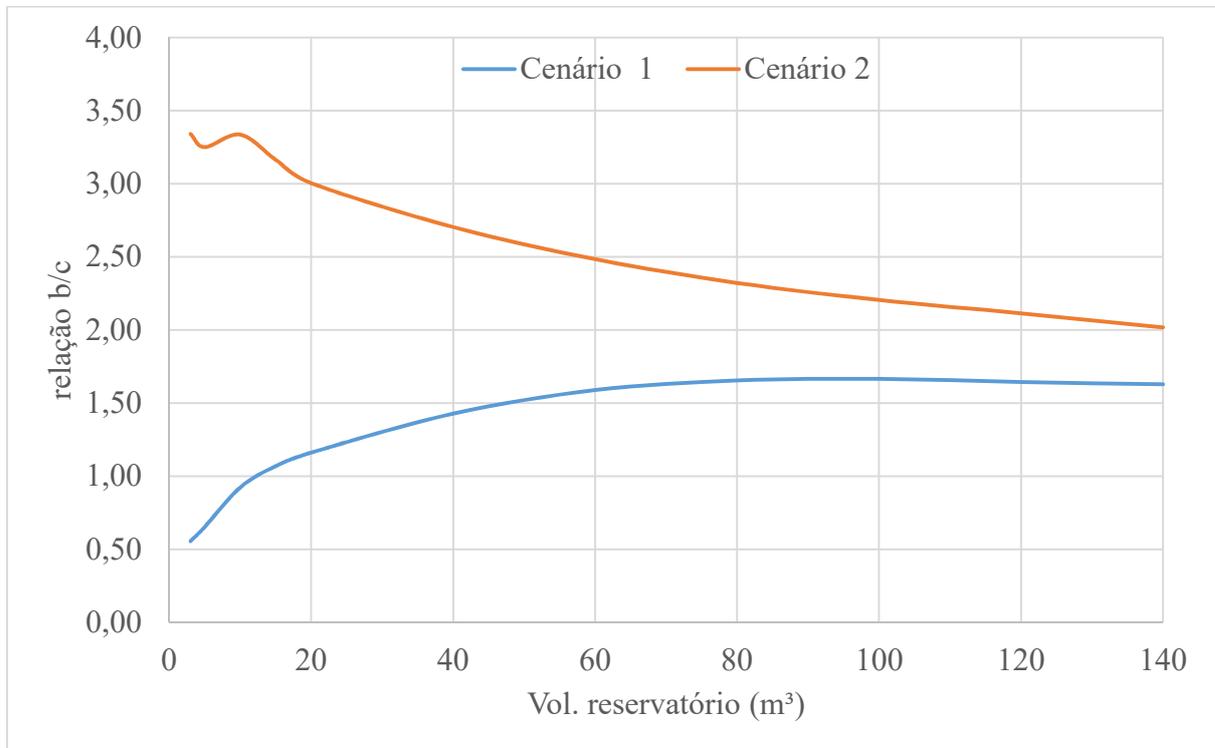
O gráfico 5.5 confronta os resultados do tempo de retorno de ambos os cenários segundo o volume de reservatório.

Gráfico 5.5 – Tempo de retorno em função do volume do reservatório em ambos os cenários



O gráfico aponta que o cenário 2 apresenta período de retorno bastante inferior ao cenário 1. Nesse cenário os volumes 3.000 L, 5.000 L e 10.000 L são completamente inviáveis economicamente, entretanto no cenário 2 foram os reservatórios que apresentaram os menores tempos de retorno. Assim como no indicador econômico VPL, a mudança de cenário mostrou que os reservatórios de volumes menores também foram os mais impactados com a mudança de cenário. O fato desses três volumes serem considerados os piores reservatórios no cenário 1 e os melhores no cenário 2, indicam o quanto que os sistemas com baixo volume de armazenamento foram muito sensíveis a mudança de consumo para determinar sua viabilidade econômica.

Finalmente, o gráfico 5.6 contrasta os resultados da relação benefício-custo de ambos os cenários conforme o volume de reservatórios.

Gráfico 5.6 – Relação benefício/custo em função do volume de reservatório em ambos os cenários

Assim como identificado nos gráficos de comparação do VPL e do tempo de retorno, nota-se que o cenário 2 apresentou os resultados mais satisfatórios do que o cenários 1. Observa-se também que o aumento do consumo mais impactou os sistemas de menor volume. Enquanto os reservatórios de volumes mais baixos possuem relação b/c inferiores a 1 no cenário 1, no cenário 2 esses mesmos reservatórios apresentam relação b/c superior a 3.

6. CONCLUSÃO

O sistema de aproveitamento de águas de chuva apresentou volumes de aproveitamento variando entre 200 m³ a 1500m² de água por ano independente do cenário. A implantação do sistema de coleta e armazenamento de água de chuva representa a economia de volumes de água potável que é utilizada para fins não potáveis. Esse grande volume de água resultante da captação e disponibilizado para consumo é suficiente para garantir a funcionalidade e aceitação técnica de um projeto de aproveitamento de água pluviais.

Com relação à análise econômica do sistema, os resultados relacionados ao valor presente líquido apontaram que no cenário de menor consumo de águas não potáveis qualquer sistema com reservatório superior a aproximadamente 11m³ é suficiente para garantir um retorno financeiro ao longo da vida útil de projeto. No cenário de maior demanda qualquer reservatório dos valores estudados gera valor econômico positivo até o fim do horizonte de projeto. Portanto, os resultados apontam que apenas quando utilizado um reservatório inferior a 11m³ num cenário em que a água potável é destinado apenas a lavagem de trens e jardinagem o sistema não é economicamente viável. Entende-se que na maioria das hipóteses analisadas a implantação de um sistema de captação de água de chuva foi viável economicamente.

Quanto ao tempo de retorno de capital, os resultado apontaram no cenário 1 (jardinagem e lavagem de trens) o *payback* reduz com o aumento de volume do reservatório e estabiliza a partir dos 100.00L tendendo a atingir um valor em torno de 8 anos. Quando considerado o volume de descarga, o *payback* aumenta em taxas pequenas, à medida que o volume do reservatório cresce. Os resultados da relação benefício-custo reportam que no cenário de menor consumo a relação b/c cresce até o volume de 100.000L e tende a estabilizar em torno de 1,60 mesmo com o aumento dos volumes de armazenamento. Quando considerado o aumento do consumo pelas descargas, a relação b/c decresce com aumento do volume e tendendo a 2,00 nos volumes maiores.

O cenário de menor consumo apresenta inviabilidade de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva nos reservatórios menores que 11m³, pelo fato do custo de implantação ser muito superior aos benefícios que pode prover. O único benefício considerado foi o valor econômico da água aproveitada, que pode ser maior, se o consumo de água também

for maior. Nota-se, então, que o aumento do consumo, mostrado no cenário com adição do volume de descargas, tornou as soluções com baixo volume de armazenamento que apresentam tempo de retorno inexistente e menor relação b/c, nas soluções de menor tempo de retorno e maior relação b/c. Desse modo, não se pode desconsiderar as soluções técnicas que apresentam volumes de reservatório inferiores a 11 m³, uma vez que a os indicadores econômicos são bastante susceptíveis a variação de consumo, e uma pequeno adição à demanda de água para fim não potável no cenário 1 (lavagem de trens e jardinagem) poderia representar, para esses volumes, um sistema de aproveitamento viável e de baixo valor de implantação. Constata-se que a lavagem de trens e a jardinagem não é uma demanda suficiente para viabilizar a implantação de sistemas com volumes de armazenamento menores que 11m³, desse modo, deve-se observar a adição de outros consumos não potáveis, até desconsiderados desse estudo como a lavagem de pisos, para viabilizar o a implantação do sistema nesses casos.

Se considerar um cenário 2 (lavagem de trens, descargas de bacias e jardinagem) a implantação do sistema apresenta excelentes indicadores econômicos. No entanto, o volumes de reservatório de 3.000L, 5.000L e 10.000L se destacam, pois apresentam menor valor de investimento inicial, em torno de R\$ 20.000, pagam seu investimento nos tempos mais baixos, em torno dos 3 anos, e possuem a mais altas relação benefício/custo.

Conclui-se que a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva é atraente e viável em termos técnicos e econômicos. Portanto, na CBTU o reuso da água de chuva poderia ser subsidiado devido as suas numerosas vantagens e as baixas possibilidades de prejuízo financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.969: Tanques Sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo. / Ministério do Meio Ambiente; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA, 2007.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em Agosto de 2018.

AQUASTAT. Banco de dados online. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/aquastat>. Acesso em outubro de 2018

ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G. Curso de administração financeira. São Paulo: Atlas, 2011.

ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; FAGUNDES, G. S.; GOMES, T. A.; BORBA JÚNIOR, J. C. Viabilidade econômica do aproveitamento de águas de chuva em edifícios residenciais de João Pessoa. In: VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, 2006.

ATSE. Water Recycling in Australia: A review undertaken by the Australian Academy of Technological Sciences and Engineering. Australian Academy of Technological Sciences and Engineering. Victoria, 2004. Disponível em: <https://www.atse.org.au/Documents/reports/water-recycling-in-australia.pdf>. Acesso em: 03/20/2018

BRAGA, R. Fundamentos e técnicas de administração financeira. São Paulo: Atlas, 2011.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 9 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 07/10/2018

BRASIL. Lei nº 13.501, de 30 de Outubro de 2017. Altera o art. 2o da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13501.htm. Acesso em: 07/10/2018.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Selic – Mercado de Títulos públicos. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdiarios.asp>. Acesso em: 15/08/2018.

BANCO MUNDIAL. High and Dry: Climate Change, Water and Economy. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Washington DC.2016. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23665>. Acesso em: 28/09/2018

BLACKBURN, D. M.; BUSTAMANTE, Y.; JALFIM, F.; VIANA, A. A.; JUNIOR, M. F.; LIMA, M. Avaliação de potabilidade da água na região de atuação da Diaconia no semi-árido nordestino. 1º edição, Diaconia, Recife, 2005.

BOULOMYTIS, V. T. G. Estudo da qualidade da água de chuva captada em telhado residencial na área urbana para fins de irrigação de alface. 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Águas de Chuva. Belo Horizonte, 2007.

BURITI, C. O.; BARBOSA, E. M. Políticas públicas de recursos hídricos no brasil: olhares sob uma perspectiva jurídica e histórico-ambiental. Veredas do Direito, v.11, n.22, p.225-254. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/viewFile/431/423>. Acesso em: 08/10/2018.

CBTU. Consumo de Água e Energia Sustentável: Relatório Final 2017. CBTU – Companhia Brasileira de Trens Urbanos. João Pessoa, 2017.

CARDOSO, E.; BORDIGNON, N. J. “O desafio para garantia do abastecimento público em situações de estiagem em municípios abastecidos por mananciais em pequenas bacias hidrográficas: O caso de São Bento do Sul – SC”. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande, Brasil, ABRH. 2009.

CARDOSO. M. P. Viabilidade do aproveitamento de água de chuva em zonas urbanas: estado de caso do município de Belo Horizonte - MG. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

CARLON, M. R. Percepção dos atores sociais quanto às alternativas de implantação de sistema de captação e aproveitamento de água de chuva em Joinville – SC. Dissertação de Mestrado. Universidade do Vale do Itajaí. Santa Catarina, 2005.

CIOCCHI, L. Para utilizar a água de chuva em edificações. Revista Técnica, nº 72, p.58-60. Março de 2003. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/72/artigo285266-1.aspx>. Acesso em: 01/10/2018

DIAS, I. C. S. Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2007.

FEDERAL, Caixa Econômica. SINAPI – Índice da Construção Civil. Brasil: Governo Federal, 2018.

FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. Manual de utilização de águas pluviais – 100 maneiras práticas. 1ª edição, Livraria do Chain Editora. Curitiba, 2002.

GARCEZ, L. N.; ALVARES, G. A. Hidrologia, 2º edição, São Paulo; Edgard Blucher, 1988.
GITMAN, L. J. Princípios da administração financeira. São Paulo: Pearson, 2010.

GNADLINGER, J. Captação da água de chuva para uso doméstico e produção de alimentos: A experiência do estado de Gangu no norte da China. 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva, ABRH. Paraíba, 2001.

GOULD, J.; NISSEN-PETERSEN, E. Rainwater catchment systems for domestic supply. Intermediate Technology. 1999.

GOMES, H. P. Eficiência hidráulica e energética em saneamento: Análise econômica de projetos. Rio de Janeiro: ABES. ISBN: 85-7022-47-9. 114p, 2005.

GOMES, U. A. F. et al. Elementos para uma Avaliação Crítica do Programa Brasileiro de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido – um milhão de cisternas rurais (PIMC). O Direito à Água como Política Pública na América Latina: uma exploração teórica e empírica. IPEA. Brasília, 2015.

GONÇALVES, R. F. Uso Racional da Água em Edificações. ABES. Rio de Janeiro, 2006.

GUANAYEM, M. Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. Palestine, Applied Research Institute-Jerusalem. In: Rainwater International Systems. Manheim, 2001. Proceedings, Germany, 2001. p11.

HOEKSTRA A. Y., MEKONNEN M. M., Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances Vol.2. University of Twente, 2016. Disponível em: <http://advances.sciencemag.org/content/2/2/e1500323>. Acesso em: 29/09/2018

IIASA. Water Future and Solutions: Fast Track Initiative. Austrian Development Agency. Laxenburg, 2016. Disponível em: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf>. Acesso em: 28/09/2018

IPEA. O direito a água como política pública na América Latina: uma exploração teórica e empírica. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. Brasília, 2015.

IWANAMI, H. Rainwater utilization systems in building. CIB W62 Symposium water supply and drainage for building. Tokyo, 1985.

JOÃO PESSOA, Lei nº 12.166, de 15 de Setembro de 2011. Cria o sistema de reuso de água de chuva para utilização não potável em mercados municipais, subprefeituras, condomínios, clubes, entidades, conjuntos habitacionais, e demais imóveis residenciais, industriais e comerciais dentro de João Pessoa e dá outras providências. João Pessoa, 2011.

KITA, I. et al., Local government's finance assistance for rainwater utilization in Japan. Conferência Internacional sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva. Petrolina, 1999.

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

MORETTI, R. S.; VARALLO, L. S.; COMARU, F. O direito a água potável e os riscos de desabastecimento: Um estudo do ABC Paulista. Revista UFMG, V. 20, nº 2, p. 290-305. Belo Horizonte, 2013.

MARINHO, S. D. A. M. Planejamento urbano sensível aos recursos hídricos: análise a partir do metabolismo urbano e da população do espaço em Campina Grande-PB – Universidade Federal de Campina Grande, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/388>. Acesso em: 03/10/18.

MARQUES, C. M. Proposição de sistema de aproveitamento de água de chuva para o campus Campina Grande do IFPB: Estudo de viabilidade econômica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2012.

MARTINS, R. T. Estudo da viabilidade econômica para uso de águas pluviais no hospital metropolitano de Santa Rita. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.

MORELLI, E. B. Reuso de Água na Lavagem de Veículos. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

ONU – Organização das Nações Unidas. A Agenda 2030. 2015. Disponível em :< <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/> >. Acesso em: ago. de 2018.

PARAÍBA. Lei nº 9.130, de 27 Maio de 2010. Cria o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações Públicas da Paraíba, conforme especifica e adota outras providências. João Pessoa, 2010.

PERIUS, F. C. Variáveis de projeto e sua influência no desempenho e dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água de chuva. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.

PETERS, R. M. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

PINHEIRO, A.; VALLE, J. A. B.; TORDO, O. C.; MINATTI, C. Efeito da abstração inicial no aproveitamento da água de chuva. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.

PINTO, A. L. C.; ARAUJO NETO, M. D. Estudo preliminar do abastecimento público para subsidiar o uso dos recursos hídricos no Distrito Federal. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande, Brasil, ABRH, 2009.

POZZEBON, P. H. B. Viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento das águas de chuva e cinzas para consumo não potável na cidade de Santa Maria/RS. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.

RAINMAP, Sistemas Sustentáveis. Análise de viabilidade para implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais no Centro Tecnológico – CTC/UFSC. Florianópolis, 2017.

SANTANNA, N. C. B. Qualidade das águas de chuva em João Pessoa – PB. Estudo comparativo com padrões de qualidade para uso comercial. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

SEBRAE. *Causa Mortis*: o sucesso e o fracasso das empresas nos primeiros cinco anos de vida. São Paulo, 2014.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

SCHIMIDT, M. Captação da água de chuva na Alemanha. 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva, ABRH. Paraíba, 2001.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Guarulhos, 2010. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf Acesso em: 28/09/2018

UNESCO. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. World Water Assessment Program. Paris, 2012. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf>. Acesso em: 28/09/2018

WUCB. A water conservation guide for commercial, institutional and industrial users. New Mexico: Ed. Water Use and Conservation Bureau, 1999.

XAVIER, R. P. Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

