

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Amanda Alves Ayoroa

**Aproveitamento de águas pluviais nas capitais da região Norte do Brasil: estudo de
viabilidade técnica**

Juiz de Fora
2025

Amanda Alves Ayoroa

**Aproveitamento de águas pluviais nas capitais da região Norte do Brasil: estudo de
viabilidade técnica**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária. Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Luiz Evaristo Dias de Paiva

Juiz de Fora

2025

Imprimir na parte inferior, no verso da folha de rosto a ficha disponível em:
<https://www2.ufjf.br/biblioteca/servicos/#ficha-catalografica>

Amanda Alves Ayoroa

**Aproveitamento de águas pluviais nas capitais da região Norte do Brasil: estudo da
viabilidade técnica**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial
à obtenção do grau de bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária. Área de concentração:
Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Aprovada em 15 de maio de 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Evaristo Dias de Paiva - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Júlio César Teixeira
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marconi Fonseca de Moraes
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedico este trabalho ao meu avô e grande amigo, Pedro Miguel, que acompanhou todos os meus passos acadêmicos e me apoiou em cada pequena conquista desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados pais, Sammar e Adriana, pelo amor incondicional e por estarem ao meu lado em todos os momentos. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui.

Ao meu padrasto, Ivo, pelo cuidado e carinho genuínos.

À minha irmã, Adrissa, por ser minha melhor amiga e por tudo o que me ensinou com sua trajetória acadêmica e profissional.

Aos meus queridos avós, Adilson, Elizabeth e Nazaré, por todo o carinho, pelas preces e por me mostrarem que o caminho do estudo vale a pena.

Ao meu amor, Thailles, por me encorajar em cada passo da minha graduação, por acreditar no meu potencial e me motivar a seguir em frente. Seu amor fez toda a diferença para que esta conquista se tornasse possível.

A toda a minha família, que, de diferentes formas, me incentivou durante toda minha vida profissional. Minha gratidão a cada um de vocês.

Aos meus amigos, minhas afinidades espontâneas nesta vida, por me lembrarem de que ninguém chega longe sozinho.

Ao meu orientador, Luiz Evaristo, pela paciência, pelas valiosas contribuições e por acreditar neste trabalho desde o início.

Agradeço também ao professor Marconi pelo seu compromisso em me auxiliar a superar cada desafio da minha graduação, assim como a todos os meus queridos professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica.

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível.” (São Francisco de Assis).

RESUMO

O aproveitamento de águas pluviais destaca-se como uma estratégia sustentável e necessária para a gestão eficiente dos recursos hídricos no cenário urbano brasileiro. Frente aos desafios impostos pelo aumento da demanda hídrica e à necessidade de soluções sustentáveis para o abastecimento urbano, surge a questão: é tecnicamente viável implantar sistemas de aproveitamento de águas pluviais nas capitais da região Norte do Brasil? Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para uma residência padrão nas capitais da região Norte do Brasil. Utilizando o Método da Simulação mensal proposto pela NBR 15527/2019 e dados pluviométricos históricos entre 1963 e 2023, foi possível estimar o desempenho do sistema com base em uma demanda fixa de 14 m³ por mês e um reservatório de 5 m³. A análise incluiu a construção de curvas de permanência de precipitação, cálculo do volume de água aproveitado, estimativa da economia financeira gerada a partir das tarifas locais de água e esgoto, e a classificação comparativa entre as capitais. Os resultados indicam que o sistema é tecnicamente viável, com índices de economia superiores a 90% em cidades como Belém (PA) e Manaus (AM), mesmo com um reservatório de pequeno porte. Além disso, observou-se impacto financeiro significativo, especialmente em municípios com tarifas elevadas. A análise também considerou aspectos sociais, educacionais e políticas públicas, apontando a importância de incentivos e conscientização para a adesão ao sistema. Conclui-se que o aproveitamento de águas pluviais representa uma estratégia sustentável, replicável e eficiente no contexto urbano da região Norte do país.

Palavras-chave: aproveitamento de águas pluviais; sustentabilidade hídrica; economia de água; capitais da região Norte; Método da Simulação mensal (NBR 15527/2019).

ABSTRACT

The use of rainwater stands out as a sustainable and necessary strategy for the efficient management of water resources in the Brazilian urban context. In view of the challenges imposed by the increasing demand for water and the need for sustainable solutions for urban supply, the following question arises: is it technically feasible to implement rainwater harvesting systems in the capitals of the Northern region of Brazil? This study aims to assess the technical feasibility of implementing a rainwater harvesting system for a standard residence in the capitals of the Northern region of Brazil. Using the monthly Simulation Method proposed by NBR 15527/2019 and historical rainfall data from 1963 to 2023, it was possible to estimate the system's performance based on a fixed demand of 14 m³ per month and a 5 m³ reservoir. The analysis included the construction of precipitation permanence curves, calculation of the volume of water harvested, estimation of the financial savings generated from local water and sewage tariffs, and a comparative classification among the capitals. The results indicate that the system is technically viable, with savings rates exceeding 90% in cities such as Belém (PA) and Manaus (AM), even with a small reservoir. Furthermore, a significant financial impact was observed, especially in municipalities with high tariffs. The analysis also considered social, educational, and public policy aspects, highlighting the importance of incentives and awareness for the adoption of the system. It is concluded that rainwater harvesting represents a sustainable, replicable, and efficient strategy in the urban context of the Northern region of Brazil.

Keywords: rainwater harvesting; water sustainability; water savings; Northern region capitals; monthly Simulation Method (NBR 15527/2019).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Médias mensais dos índices pluviométricos em milímetros das capitais da região Norte do Brasil referentes ao período de 1963 a 2023	34
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica do Brasil	16
Tabela 2 – Comparativo do saneamento básico no Brasil.....	19
Tabela 3 – Consumo mensal de água não potável na residência padrão adotada	27
Tabela 4 – Médias de precipitação mensal de janeiro de 1963 a dezembro de 2023	34
Tabela 5 – Média de consumo.....	39
Tabela 6 – Dimensionamento do reservatório	42
Tabela 7 – Resultados do dimensionamento do reservatório nas capitais da região Norte pelo Método da Simulação	44
Tabela 8 – Potencial de economia anual das capitais da região Norte	45
Tabela 9 – Tarifas de abastecimento de água e esgotamento sanitário nas capitais da região Norte do Brasil	46
Tabela 10 – Resumo da economia de água e financeira com sistema de captação de água de chuva.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Precipitação média anual (mm) nas capitais da região Norte entre 1963 e 2023	33
Gráfico 2 – Curva de Permanência da capital Belém (PA) referente ao período de 1963 a 2023	35
Gráfico 3 – Curva de Permanência da capital Boa Vista (RR) referente ao período de 1963 a 2023	36
Gráfico 4 – Curva de Permanência da capital Macapá (AP) referente ao período de 1963 a 2023	36
Gráfico 5 – Curva de Permanência da capital Manaus (AM) referente ao período de 1963 a 2023	36
Gráfico 6 – Curva de Permanência da capital Palmas (TO) referente ao período de 1963 a 2023	37
Gráfico 7 – Curva de Permanência da capital Porto Velho (RO) referente ao período de 1963 a 2023	37
Gráfico 8 – Curva de Permanência da capital Rio Branco (AC) referente ao período de 1963 a 2023	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo do atendimento mensal da demanda de água pluvial nas capitais da região Norte pelo Método da Simulação	44
Quadro 2 – Classificação decrescente das capitais conforme a precipitação anual, o volume de água aproveitado e a economia financeira estimada	47
Quadro 3 – Dimensionamento do reservatório para Belém (PA).....	66
Quadro 4 – Dimensionamento do reservatório para Boa Vista (RR).....	66
Quadro 5 – Dimensionamento do reservatório para Macapá (AP)	67
Quadro 6 – Dimensionamento do reservatório para Manaus (AM)	67
Quadro 7 – Dimensionamento do reservatório para Palmas (TO)	68
Quadro 8 – Dimensionamento do reservatório para Porto Velho (RO)	68
Quadro 9 – Dimensionamento do reservatório para Rio Branco (AC)	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Acre
AM	Amazonas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
AP	Amapá
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
HAB	Habitantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	Índice Pluviométrico
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
NBR	Norma Regulamentadora Brasileira
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Pará
RO	Rondônia
ROI	<i>Return On Investment</i> (Retorno Sobre o Investimento)
RR	Roraima
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TO	Tocantins

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da superfície de captação de água de chuva
$D(t)$	Consumo ou a demanda no mês t
km^2	Quilômetro quadrado (unidade de área)
L	Litros (unidade de volume)
mm	Milímetros (unidade de comprimento)
m^2	Metro quadrado (unidade de volume)
m^3	Metro cúbico (unidade de volume)
$P(t)$	Índice pluviométrico mensal no mês t
$Q(t)$	Volume de chuva no mês t
R	Coefficiente de escoamento superficial (<i>runoff</i>)
$R\$$	Real (moeda brasileira)
$S(t)$	Volume de água no reservatório no mês t
$S(t - 1)$	Volume de água no reservatório no mês $t-1$
$\text{US\$}$	Dólar americano
V	Volume do reservatório escolhido

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	14
2. INTRODUÇÃO	15
3. OBJETIVOS	21
3.1. Objetivo geral	21
3.2. Objetivos específicos	21
4. REFERENCIAL TEÓRICO	22
5. ASPECTOS METODOLÓGICOS	25
5.1. Critérios para a escolha da região de interesse	26
5.2. Levantamento e processamento dos índices pluviométricos	26
5.3. Critérios de definição da moradia padrão	26
5.4. Prognóstico da demanda de água não potável	27
5.5. Critério para a definição do Método de Dimensionamento do volume de armazenamento	28
5.5.1. Método da Simulação	29
5.6. Análise da viabilidade econômica e técnica do projeto	30
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1. Análise das Precipitações Pluviométricas.....	32
6.2. Consumo Médio e Padrão de Referência.....	38
6.3. Consonância entre os instrumentos normativos e a eficiência do sistema de aproveitamento de água de chuva	39
6.4. Análise da viabilidade técnica e econômica na perspectiva de implantação da moradia padrão nas capitais de interesse	42
6.4.1. Resultados sobre o Método da Simulação	43
6.4.2. Viabilidade econômica e política pública	48
6.5. Análise de Impacto Ambiental e Sustentabilidade	51
6.6. Impactos do Uso Comercial e Industrial.....	55
6.7. Aspectos Sociais e Educacionais	57
7. CONCLUSÃO	59
8. REFERÊNCIAS	61

9. APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO PARA AS CAPITAIS DA REGIÃO NORTE DE ACORDO COM O MÉTODO DA SIMULAÇÃO PREVISTO NA NBR 15527	65
---	-----------

1. APRESENTAÇÃO

O Presente trabalho foi elaborado e avaliado no formato de monografia, de acordo com as normas definidas Resolução nº 17/2023 do Colegiado do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFJF, como pré-requisito para aprovação na disciplina Trabalho Final de Curso II (ESA098).

2. INTRODUÇÃO

A captação de águas pluviais desponta como uma abordagem integrada à gestão dos recursos hídricos, especialmente em cenários desafiadores como o da região Norte do Brasil. Esta prática, conforme destacado por Tomaz (2011), apresenta-se como uma solução viável para reduzir a pressão sobre as fontes de água potável e mitigar os efeitos da escassez hídrica em áreas urbanas.

Ademais, ao considerar o crescente impacto das mudanças climáticas, a utilização de águas pluviais torna-se ainda mais estratégica, contribuindo para a resiliência hídrica e a redução dos impactos ambientais associados ao uso intensivo de fontes convencionais. A crescente demanda por recursos hídricos, aliada aos desafios impostos pela variabilidade climática, destaca a necessidade premente de explorar alternativas inovadoras e sustentáveis para a gestão da água, um recurso escasso e finito de impacto mundial, conforme apontado por Nascimento (2021).

Com o objetivo de garantir a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, as Nações Unidas no Brasil estabeleceram a meta, até 2030, de:

(...) ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e 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 (Nações Unidas Brasil, 2023, s./p.).

Percebe-se a importância crucial da gestão adequada desse recurso vital, essencial para a sobrevivência humana, bem como para o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental. No entanto, esse recurso tem se tornado cada vez mais escasso devido ao crescimento da demanda, impulsionado pelo aumento populacional acentuado e desordenado, e pelo uso indiscriminado da água na cadeia produtiva, tanto industrial quanto agrícola. Esses fatores são apontados como os principais responsáveis pelo aumento do consumo de água, especialmente nos grandes centros urbanos (May, 2004).

No contexto brasileiro, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), a população do país cresceu 6,5% desde 2010 até 2022, representando um acréscimo de 12.306.713 (doze milhões trezentos e seis mil, setecentos e treze unidades no número de pessoas), ou seja, a população aumentou em pelo menos 12.300.000 pessoas. Além disso, comparando os dados do Censo dos dois anos sobreditos, observa-se, em pouco mais de

uma década, um aumento expressivo de 9,2 milhões de pessoas na população que reside em concentrações urbanas, o que poderá crescer ainda mais pressão pela demanda de água.

É importante ressaltar que o número de habitantes das regiões brasileiras é desproporcional à distribuição da água, conforme indicado pela Tabela 1:

Tabela 1 – Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica do Brasil

Região	Densidade demográfica (hab/km²)	Concentração dos recursos hídricos do país
Norte	4,12	68,5%
Nordeste	34,15	3,3%
Centro-Oeste	8,75	15,7%
Sudeste	86,92	6%
Sul	48,58	6,5%

Fonte: IBGE / Agência Nacional das Águas (2010).

Para um observador menos atento, aparentemente não seria sugestivo pensar nos projetos de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na região Norte. Mas, o aproveitamento de água de chuva torna-se essencial para quaisquer regiões do país, seja para as menos favorecidas, no quesito disponibilidade hídrica, ou para aquelas abundantes como a região Norte.

Se o foco for apenas na perspectiva de que a abundância de água nesta região concentre-se na alta densidade de rios, lagos e reservatórios, tudo indicaria que a população da região estaria abundantemente servida com os serviços de saneamento e a oferta de água em demasia para os mais diversos fins de usos preponderantes. Mas, há questões contraditórias, como os baixos índices de saneamento básico e acesso à água de qualidade equânime, e o desequilíbrio nas ofertas para os usos industriais; na agricultura; e aquelas destinadas ao abastecimento público aliadas à alta concentração da população em áreas urbanas, tornando essencial propostas de aproveitamento de água de chuva também na região Norte.

Além disso, segundo as informações do Painel Saneamento Brasil, uma parcela significativa da população da região Norte, equivalente a 15.372.192 pessoas, vive desprovida de coleta de esgoto, o que representa alarmantes 86,0% do total (SNIS, 2021). Os números apresentados na Tabela 2 corroboram de maneira contundente com essa análise, reforçando a

urgência de medidas para melhorar a infraestrutura de saneamento na região.

Ademais, ainda na Tabela 2 é possível visualizar que a evolução dos serviços de saneamento nas regiões Norte e Nordeste do Brasil vão de forma lenta em relação aos indicadores do país, impondo a necessidade de intensificação de políticas públicas voltadas aos serviços essenciais de saneamento para as populações dessas regiões. Por outro, os baixos índices observados afastam cada vez mais essas regiões das metas de universalização do acesso a água de qualidade e a outros serviços de saneamento essenciais à dignidade e à qualidade de vida, tal como defendidos pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Tabela 2 – Comparativo do saneamento básico no Brasil

Localidade	Parcela da população sem acesso à água (% da população)	Parcela da população sem coleta de esgoto (% da população)	Índice de esgoto tratado referido à água consumida (%)	Esgoto não tratado (mil m³)	Óbitos por doenças de veiculação hídrica (Número de óbitos)	Renda das pessoas sem saneamento (R\$ por mês)
Região Norte	40,0%	86,0%	20,6%	466.603,83	163	656,78
Região Nordeste	25,3%	69,8%	35,5%	1.261.309,04	583	395,66
Região Sudeste	8,5%	18,3%	58,6%	2.267.507,28	397	732,71
Região Sul	8,7%	51,6%	46,7%	860.910,36	222	830,62
Região Centro-Oeste	10,1%	38,1%	60,5%	365.242,13	128	885,31
Brasil	15,8%	44,2%	51,2%	5.221.572,64	1.493	486,37

Fonte: INSTITUTO TRATA BRASIL (2021).

Os dados referentes ao ano de 2021 apontam para uma situação alarmante no que diz respeito ao saneamento básico na região Norte do Brasil. Conforme o Painel Saneamento Brasil, desenvolvido pelo Instituto Trata Brasil (2021), 40,0% da população da região não possui acesso à água potável, enquanto 86,0% vivem sem coleta de esgoto. O índice de esgoto tratado,

considerando o volume de água consumida, é de apenas 20,6%, revelando deficiências estruturais significativas no tratamento de efluentes.

O volume de esgoto não tratado atinge 466.603,83 mil m³, o que contribui para a poluição dos corpos hídricos e para a proliferação de doenças. Em 2021, foram registrados 163 óbitos por doenças de veiculação hídrica na região, evidenciando os impactos diretos da ausência de infraestrutura sanitária adequada sobre a saúde pública. Além disso, a renda média mensal das pessoas sem acesso ao saneamento básico foi de R\$ 656,78, demonstrando a correlação entre exclusão social e deficiência nos serviços essenciais (Instituto Trata Brasil, 2021).

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023), a Região Hidrográfica Amazônica possui densidade populacional dez vezes menor que a média nacional, entretanto, concentra 81% da disponibilidade de águas superficiais do país. Contrariamente, as regiões costeiras, que abrigam praticamente metade da população, acumulam apenas 2,7% desses recursos, conforme destacado por Sell (2020).

Neste cenário, a região Norte enfrenta uma realidade distinta comparada às outras regiões brasileiras, mas compartilha a urgência de encontrar soluções que conciliem a eficiência técnica com a viabilidade econômica para a gestão da água. Esse desafio se intensifica diante do iminente risco de a região ser impactada por eventuais racionamentos, em virtude da falta de saneamento adequado, mesmo contando com uma população relativamente baixa, representada por 8,54% da população residente no Brasil.

Além disso, a região Norte ocupa cerca de 45% do território nacional, o que representa o indicativo para justificar a baixa densidade populacional. Por outro lado, a população é reconhecidamente carente de acessos aos serviços de saneamento básico essenciais e, ademais, cerca de 74% da população habitam as áreas urbanas (Francisco, 2023).

Por conseguinte, é minimamente contraditório observar abundâncias dos recursos hídricos disponíveis e ausência de serviços essenciais como a oferta de água tratada à população. Neste contexto, a alta disponibilidade de recursos naturais na região Norte não é impedimento para que os projetos de aproveitamento de água de chuva tornem-se relevantes para prover as comunidades urbanas.

Segundo Ribeiro (2019), o avanço de tecnologias construtivas e soluções sustentáveis propiciadas por estudiosos pode ser uma saída para a redução do consumo de água e o seu reaproveitamento. Assim, surge a necessidade de investigar a utilização desta fonte muitas vezes subestimada, porém abundante, que são as águas pluviais. A captação e o aproveitamento

de águas pluviais emergem como estratégias promissoras para mitigar a escassez de recursos hídricos, promovendo não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também representando uma potencial redução nos custos associados ao consumo de água potável.

Estima-se uma economia de 30% da água pública ao utilizar água de chuva, o que aumenta a eficiência do uso da água para liberar seus suprimentos para outros fins, como o crescimento da população, o estabelecimento de novas indústrias e a melhoria do meio ambiente (Tomaz, 2011). Diante do exposto, este trabalho visa explorar a viabilidade técnica do aproveitamento de águas pluviais na região mencionada, considerando as peculiaridades climáticas, socioeconômicas e ambientais que a caracterizam.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Este trabalho parte do questionamento sobre a viabilidade técnica da implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em residências padrão nas capitais da região Norte do Brasil. Assim, busca-se responder: é possível, de forma técnica, captar e utilizar águas de chuva no contexto residencial urbano desta região? Para atingir esse objetivo, foi realizada uma análise utilizando a base de dados fornecida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), visando investigar os quantitativos pluviométricos disponíveis nas capitais nortistas.

3.2. Objetivos específicos

- Apresentar e selecionar a metodologia de dimensionamento de reservatórios, seguindo a norma NBR 15.527, a fim de estabelecer critérios padronizados e técnicos para a avaliação dos sistemas de captação de água de chuva;
- Coletar e analisar, sob a perspectiva do aproveitamento de água de chuva, os dados pluviométricos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) referentes às capitais da região Norte do Brasil;
- Selecionar o método mais apropriado e realizar o dimensionamento do reservatório para o sistema de captação de chuva em uma residência padrão, aplicando a metodologia selecionada, e considerando as características específicas da região;

- Realizar uma pesquisa exploratória sobre a tarifação do consumo de água em m³ nas capitais da região selecionada, referente aos custos associados ao consumo de água potável;
- Realizar análises econômicas e técnicas associadas à captação de águas pluviais;
- Identificar a perspectiva de êxito na implementação do projeto. Esta análise contemplará os aspectos técnicos, econômicos e ambientais do projeto.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme estudo recente realizado pelo Trata Brasil (2020), a região Norte do Brasil se destaca negativamente pelos piores índices de cobertura nos serviços de saneamento básico, apresentando ainda a menor participação nos investimentos que são destinados ao abastecimento de água. Os indicadores analisados revelam que 40,0% da população nortista não possui acesso à água, configurando-se como a mais desfavorável média entre todas as regiões do país.

Essas informações, extraídas dos dados do Painel Saneamento Brasil, baseados nas estatísticas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), evidenciam que, do ponto de vista técnico, a análise das precipitações pluviométricas exerce um papel fundamental no planejamento e implementação dos sistemas de captação de água.

De acordo com dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), a distribuição das chuvas no território brasileiro apresenta forte sazonalidade, sendo a região Norte caracterizada por elevados índices pluviométricos ao longo do ano. Tais informações são necessárias para dimensionar os reservatórios sem erros, otimizando a eficiência do sistema e também minimizando os custos de implementação.

Ademais, a adoção de tecnologias apropriadas, como calhas, filtros e sistemas de armazenamento, deve seguir os preceitos da norma ABNT NBR 15.527/2019, que estabelece critérios técnicos rigorosos para garantir a qualidade da água captada e a segurança do sistema a ser projetado; todavia, a implementação desses sistemas enfrenta desafios econômicos e sociais diversos, especialmente em regiões com predominância de populações de baixa renda.

Como exemplo, temos que o alto custo inicial de instalação pode limitar a adesão, mesmo em um cenário onde a prática apresenta ganhos financeiros a médio e longo prazo. Nesse sentido, Ribeiro (2019) ressalta a importância de políticas públicas que promovam incentivos financeiros, como subsídios e linhas de crédito, para facilitar o acesso à tecnologia.

Além disso, campanhas de conscientização junto à comunidade e capacitação técnica são relevantes para ampliar o conhecimento da população sobre os benefícios e a operação adequada dos sistemas de captação de águas pluviais.

A adequação desta captação para atender a demanda da sociedade é viável em cidades com alta precipitação pluviométrica, onde sistemas menores conseguem suprir grande parte das necessidades diárias. Por sua vez, em localidades com menor volume de chuvas, estratégias como ampliação da área de captação e implementação de tecnologias para reaproveitamento da água tornam-se fundamentais para garantir eficiência (Ribeiro, 2019).

O impacto social de projetos de captação de águas pluviais também merece destaque neste trabalho. Em regiões com infraestrutura precária, como a região em estudo, o acesso à água de qualidade é frequentemente desigual, afetando diretamente a saúde pública e o bem-estar da população.

Conforme apontado pelo Instituto Trata Brasil (2024), a falta de saneamento básico na região Norte é um dos principais fatores associados à incidência de doenças de veiculação hídrica. Nesse contexto citado, o uso de águas pluviais para fins não potáveis pode atenuar a pressão sobre os sistemas de abastecimento público de água, direcionando os recursos hídricos convencionais para usos nobres como o consumo humano.

O cenário do saneamento básico na região Norte do Brasil está entre os mais graves do país, apresentando uma desigualdade histórica que impacta na qualidade de vida desta população. Destaca-se sua ampla disponibilidade hídrica natural, porém há um grande contraste entre a abundância dos recursos e a carência na infraestrutura dos municípios.

De acordo com Caldas e Lima (2025), os estados nortistas apresentam índice de atendimento dos serviços de rede de esgoto doméstico insuficiente, com destaque negativo para o Amapá, que atende apenas 7,70% da população, seguido de perto por Rondônia com 7,80% e pelo estado do Pará, com 10,70%. Temos, portanto, o paradoxo entre a riqueza ambiental da região em investigação e o déficit nas políticas públicas de saneamento que deveriam ser implementadas.

O Instituto Trata Brasil (2023), em seu estudo “A vida sem saneamento”, evidencia que grande parcela da população nortista enfrenta privações de abastecimento de água tratada e de coleta de esgoto, sendo a concentração desse problema em áreas periféricas urbanas. Há o comprometimento da saúde e do bem-estar das famílias, limitando o desenvolvimento econômico e social da região Norte.

Em seu levantamento mais recente, o Instituto reforça os impactos dessa realidade sobre populações vulneráveis: o relatório “Futuro em Risco” (Trata Brasil, 2024) evidencia como a ausência de saneamento básico compromete o desenvolvimento infantil e aumenta os riscos à saúde de gestantes e crianças nos primeiros anos de vida. A precariedade sanitária está associada ao aumento de partos prematuros, infecções urinárias e doenças de veiculação hídrica, criando um ciclo de vulnerabilidade que se perpetua por gerações.

As consequências dessa situação são expressivas também nas estatísticas de saúde pública, uma vez que, conforme reportado pela Agência Brasil (2025), foram registrados no país 11.544 óbitos por doenças relacionadas ao saneamento ambiental apenas no ano de 2023, indicando o impacto direto da ausência de infraestrutura sobre os sistemas públicos de saúde e sobre a vida das populações urbanas desassistidas.

Complementando essa análise, a Carta Amazônia (2024) destaca que a região Norte enfrenta uma verdadeira “epidemia silenciosa”, com mais de 46 mil internações hospitalares de crianças devido à falta de saneamento básico. As internações, muitas vezes recorrentes, comprometem o desenvolvimento físico e cognitivo da infância e afetam o cotidiano das famílias, especialmente aquelas em situação de pobreza. O texto também aponta que a desigualdade no acesso aos serviços essenciais está diretamente associada à distribuição territorial e à negligência histórica das políticas públicas direcionadas à região.

Diante desse contexto, a adoção de soluções alternativas e sustentáveis, como o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, apresenta-se como uma estratégia técnica viável para mitigar os efeitos da carência de infraestrutura. Em áreas com elevado índice pluviométrico, como é o caso das capitais da região Norte, sistemas de captação podem contribuir para aliviar a demanda sobre os sistemas públicos de abastecimento, melhorar as condições de saúde e promover a justiça socioambiental.

Tais estratégias, quando integradas a políticas públicas de incentivo e a campanhas de conscientização, podem representar um importante avanço rumo à universalização do acesso à água e à promoção da dignidade humana, especialmente em regiões historicamente marginalizadas, além de, quando associadas à integração de sistemas de captação de águas pluviais com outras soluções sustentáveis, como o reuso de águas cinzas e o tratamento descentralizado de esgoto, ampliarem significativamente os benefícios ambientais e econômicos.

Sell (2020) destaca que projetos que combinam múltiplas estratégias de gestão hídrica tendem a ser mais resilientes e eficientes, especialmente em áreas sujeitas a variações climáticas

extremas. A utilização integrada de recursos hídricos, portanto, é uma abordagem que deve ser considerada na elaboração de políticas públicas e no planejamento urbano sustentável.

A viabilidade econômica do aproveitamento de águas pluviais também está intrinsecamente ligada à tarifação da água e ao custo de implementação dos sistemas. Estudos realizados por Barros *et al.* (2015) apontam que soluções como os sistemas de reuso e captação de água da chuva se mostram promissoras, podendo atingir grandes potenciais de conservação e economia, como medidas de conservação da água potável.

No caso da região Norte, a análise da tarifação nas capitais é essencial para determinar a competitividade econômica da tecnologia e identificar os segmentos populacionais que podem ser priorizados em políticas de incentivo, destacando-se, ainda, que o aproveitamento de águas pluviais contribui significativamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao promover a gestão sustentável dos recursos hídricos e a inclusão social.

Conforme as Nações Unidas Brasil (2023), iniciativas que ampliam o acesso à água tratada e promovem a reutilização de recursos naturais são essenciais para alcançar as metas globais de sustentabilidade até 2030. Nesse sentido, a região Norte apresenta um enorme potencial para liderar a adoção de práticas inovadoras de gestão hídrica, combinando suas riquezas naturais com tecnologias modernas e políticas públicas eficazes.

Ao considerar os desafios e as oportunidades associados ao aproveitamento de águas pluviais na região Norte, fica evidente a necessidade de abordagens integradas que combinem critérios técnicos rigorosos, incentivos econômicos e ações educativas. Esses esforços, além de promoverem a sustentabilidade ambiental, têm o potencial de transformar a realidade social e econômica da região, contribuindo para um desenvolvimento mais equilibrado e inclusivo.

Nesse sentido, no próximo capítulo será demonstrada a metodologia adotada para a avaliação da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento de águas pluviais, por meio da implantação de uma residência padrão, considerando-se os índices pluviométricos e o equilíbrio entre o volume de água captado e armazenado.

5. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Com o intuito de avaliar a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento de águas pluviais em residências padrão nas capitais da região Norte, idealizou-se a implantação de uma residência modelo, de modo a produzir hipóteses que permitam prognosticar essa viabilidade. Nesse contexto, este trabalho adotará uma metodologia fundamentada em critérios baseados

nos índices pluviométricos (IP) e na busca pelo equilíbrio entre os volumes armazenados no reservatório e aqueles provenientes das precipitações.

5.1. Critérios para a escolha da região de interesse

A seleção da região Norte como foco do estudo foi precedida pela análise das regiões Sudeste e Nordeste, bem como pelo interesse em avaliar a suplementação da demanda de água para populações que vislumbram a possibilidade de adquirir uma residência padrão com potencial para o aproveitamento de água de chuva, visando à viabilidade técnica e econômica não somente na região Norte, mas também em outras regiões do país, considerando-se, ainda, o potencial da água de chuva para equilibrar a oferta e a demanda de água potável, visto que esta é a região brasileira com maior total pluviométrico anual (CPTEC, 2010).

5.2. Levantamento e processamento dos índices pluviométricos

A obtenção dos dados pluviométricos das capitais da região Norte foi viabilizada por meio do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados processados estão apresentados e discutidos com base em informações sistematizadas em tabelas e infográficos, conforme exposto no Capítulo 6. A sistematização das informações foi precedida de uma breve avaliação amparada em técnicas de estatística descritiva.

5.3. Critérios de definição da moradia padrão

Os critérios adotados para definição da moradia padrão foram baseados em trabalhos antecedentes (Nascimento, 2021), balizados por informações extraídas de publicações do IBGE (2023) e da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Tais informações possibilitaram a categorização das modalidades de uso da água não potável — etapa essencial para estimar a demanda de consumo de acordo com os perfis e estilos de vida esperados para os ocupantes de uma moradia padrão.

Nesse contexto, foi possível idealizar, por exemplo, a taxa média de ocupação de pessoas por residência nas capitais da região Norte, bem como a estimativa da quantidade de automóveis por domicílio. Com essas prerrogativas, definiu-se como residência padrão uma

edificação com área de cobertura de telhado igual a 100 m², contendo as seguintes características:

- Área de pisos internos destinada à lavagem: 10 m²;
- Número de moradores fixos: 4 pessoas;
- Quantidade de veículos: 1 carro de passeio;
- Infraestrutura sanitária: 1 banheiro de uso comum.

5.4. Prognóstico da demanda de água não potável

A determinação da demanda para a residência padrão definida neste estudo seguiu as diretrizes tradicionalmente recomendadas de água de chuva, sem tratamento sofisticado. Portanto, a água deve ser usada para fins não potáveis.

Logo, pode se considerar o uso em descargas de bacias sanitárias, lavagem de veículos e roupas, irrigação de gramados e jardins, e ainda para limpeza em geral. Para cada uso, Tomaz (2011, *apud* Nascimento, 2021) traz uma referência de estimativa de consumo de água não potável, sendo estes dados expostos na Tabela 3 subsequente.

Tabela 3 – Consumo mensal de água não potável na residência padrão adotada

Consumo	Volume (L)	Volume (m ³)
Descarga em bacias sanitárias	5.400	5,400
Lavagem de roupas	6.837,6	6,838
Lavagem de pisos	320	0,480
Lavagem de carro	600	0,600
Total	13.157,6	13,158

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Apesar de o consumo mensal estimado de água não potável na residência padrão ser de 13,158 m³, conforme demonstrado na Tabela 3, optou-se, para fins de simulação do sistema de captação, pelo arredondamento desse valor para 14 m³. Essa escolha se justifica por razões de praticidade e segurança operacional, visto que uma pequena margem adicional pode absorver

variações sazonais no uso da água, perdas por manutenção ou até mesmo o uso eventual não previsto inicialmente, como a irrigação de plantas ou limpezas eventuais mais intensas. Além disso, esse valor arredondado facilita a padronização dos cálculos nas etapas posteriores de dimensionamento do sistema de armazenamento e análise de viabilidade econômica, sem comprometer a representatividade do consumo real estimado para a moradia padrão.

5.5. Critério para a definição do Método de Dimensionamento do volume de armazenamento

A escolha do método de dimensionamento de reservatórios para uma residência padrão das capitais da região Norte, sucedeu-se a partir do estudo das Normas ABNT NBR 15.527/2019; NBR 10.844/1989; e NBR 526/1988. A Norma Brasileira que apresenta as diretrizes para os projetos de aproveitamento de água de chuva (ABNT NBR 15.527/2019) traz no seu escopo a listagem de seis métodos para estimar o volume de armazenamento em reservatório de aproveitamento de água de chuva, a saber: Método de Rippl; Método da Simulação; Método Azevedo Neto; Método Prático Alemão; Método Prático Inglês e ainda o Método Prático Australiano.

No rol dos métodos dois deles merecem destaque por orientarem a determinação do volume do reservatório através de uma abordagem determinista, mais adequado para a necessidade de estimativa baseada no balanço hídrico entre a oferta de água e a demanda requerida nos projetos de aproveitamento de água de chuva. Os métodos referenciados em destaque são os métodos de Método de Rippl e o Método da Simulação.

Mesmo determinísticos, entre eles existem diferenças importantes e o entendimento de tais diferenças é fundamental para se optar pelo Método da Simulação nos projetos de aproveitamento de água de chuva em detrimento do Método de Rippl. O Método de Rippl é recomendado para a estimativa de volumes em que se destinam ao atendimento de demandas com vieses de ininterrupção como nos projetos de sistemas de abastecimento de água ou nas instalações industriais onde a interrupção na oferta é acompanhada de transtornos. Por este motivo, o método tende a superestimar o volume reservado para garantir que a demanda seja sempre atendida, mesmo em períodos de seca prolongada.

Por outro lado, o Método da Simulação realiza o balanço hídrico e permite avaliar a variação do volume do reservatório ao longo do tempo, simulando diferentes cenários de precipitação e demanda. O método ainda permite analisar a eficiência do sistema, possibilitando

distinguir ao longo da simulação a frequência de extravasamentos e igualmente a frequência com que o reservatório está sendo esvaziado (sem extravasar).

Isso permite maior confiabilidade no abastecimento. Para além dessas características, o método acaba se tornando ainda mais vantajoso sobretudo porque fornece valores menores e mais realistas para o volume do reservatório, tornando-o ainda mais atrativo do ponto de vista do custo de projeto. Por essas razões, presume-se que o melhor método para a estimativa do volume de armazenamento de água de chuva é o Método da Simulação (Ribeiro, 2019; Nascimento, 2021).

Na sequência (item 5.5.1) apresenta-se o arcabouço analítico do Método da Simulação. Já o resultado do seu uso para cada capital da região Norte está apresentado no Capítulo 6.

5.5.1. Método da Simulação

O Método da Simulação é uma técnica recomendada pela NBR 15527/2019 para o dimensionamento de reservatórios de águas pluviais, sendo utilizada por sua capacidade de representar o comportamento hidrológico do sistema ao longo de séries temporais. Trata-se de um modelo de balanço hídrico baseado na equação da continuidade, que permite estimar o volume de armazenamento necessário para suprir uma demanda específica em função da precipitação e da área de captação.

De acordo com Brandão e Marcon (2018), o Método da Simulação mensal parte da premissa de que o reservatório se encontra cheio no início da análise. A cada mês, calcula-se o volume captado e o volume consumido, sendo o volume armazenado atualizado pela equação:

$$S(t) = Q(t) + S(t - 1) - D(t)$$

Considerando:

$$Q(t) = R \times P(t) \times A \text{ e } 0 < S(t) < V; \text{ Se } S(t) < 0, \text{ então } S(t) = 0$$

As variáveis, conforme descrito por Brandão e Marcon (2018), são:

$S(t)$ = o volume de água no reservatório no mês t (m^3);

$Q(t)$ = o volume de chuva no mês t (m^3);

$S(t - 1)$ = o volume de água no reservatório no mês $t - 1$ (m^3);

$D(t)$ = o consumo ou a demanda no mês t (m^3);

R = o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*);

$P(t)$ = o índice pluviométrico mensal no mês t (m^3);

A = a área da superfície de captação de água de chuva (m^2);

V = o volume do reservatório escolhido (m^2).

Esse procedimento permite avaliar os meses em que o sistema atende ou não à demanda de água não potável. Conforme observado por Nascimento (2021), o Método da Simulação também se destaca por permitir a conciliação entre a oferta e a demanda com base em dados históricos representativos, podendo ser aplicado em resoluções mensais ou diárias.

5.6. Análise da viabilidade econômica e técnica do projeto

Esta etapa visa avaliar a eficácia e adequação do projeto às condições específicas das sete capitais. Esse processo inclui a comparação dos sistemas propostos, levando em conta tanto a eficiência técnica quanto o impacto econômico da sua implementação.

- Avaliação e comparação da eficiência dos sistemas a serem implementados nas 7 capitais;
- Cálculo do potencial de economia do projeto para cada capital;
- Estimativa do valor monetário economizado com a implementação do sistema de captação de água da chuva, levando em consideração as tarifas das concessionárias da região Norte (Nascimento, 2021);
- Determinação dos níveis mínimos de chuva para implementação;
- Verificação dos níveis de precipitação anuais para validação prévia do projeto nas capitais.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na singular realidade da região Norte, onde a urgência de equilibrar eficiência técnica e viabilidade econômica na gestão da água é premente, apresenta-se um enfoque atualizado

sobre a possibilidade de se prover novas formas de aproveitamento sustentável das precipitações pluviométricas.

Essas novas formas de aproveitamento devem agregar benefícios ambientais e econômicos, com vantagens pecuniárias e ambientais amplas, seja para regiões abundantes em recursos hídricos ou naquelas menos favorecidas.

Inicialmente, almeja-se compreender o comportamento pluviométrico regional para explorar estratégias promissoras de captação e aproveitamento de águas pluviais, visando equilibrar a oferta com a demanda de água cada vez mais crescente.

Além do viés da sustentabilidade ambiental, espera-se que o estudo tenha o alcance de motivar cada vez mais o uso do aproveitamento de água de chuva, através da reflexão da redução do uso de água potável pela substituição de uma água de fácil prospecção e de custo baixo, trazendo ao usuário a redução dos custos pecuniários associados ao consumo de água potável.

Isso foi realizado por meio da quantificação do potencial de aproveitamento, com o levantamento e o tratamento dos dados da precipitação mensal para todas as capitais da região Norte, entre 1963 e 2023. Acredita-se que essas iniciativas podem resultar em uma economia significativa, representando um avanço palpável em direção a alternativas sustentáveis para os usos dos recursos naturais.

Os objetivos específicos do estudo abrangem desde a investigação das tecnologias existentes até os estudos e as análises dos dados pluviométricos. Foi realizado um ordenamento das capitais por precipitação anual, volume aproveitado total e economia financeira gerada, proporcionando uma avaliação consubstanciada sobre a economia financeira e o retorno sobre o investimento do projeto.

Ao adotar critérios baseados em índices pluviométricos e normativas específicas, a metodologia visa fornecer uma análise abrangente e fundamentada. A escolha da região Norte, fundamentada na disponibilidade hídrica e densidade demográfica, pretende contribuir com resultados consistentes para a gestão hídrica na região.

Em última instância, a consolidação destes resultados não apenas fornecerá informações determinantes para a implementação do projeto nas capitais Belém (Pará), Boa Vista (Roraima), Macapá (Amapá), Manaus (Amazonas), Palmas (Tocantins), Porto Velho (Rondônia) e Rio Branco (Acre), mas também poderá servir como referência para iniciativas similares em outras regiões, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos em todo o país.

A materialização do TCC contribuiu para ratificar o aproveitamento de águas pluviais como uma alternativa viável à redução da dependência dos recursos hídricos convencionais, proporcionando benefícios econômicos, sociais e ambientais. A análise realizada neste estudo abrange dados pluviométricos, padrões de consumo hídrico, normativas técnicas e tarifas praticadas pelas concessionárias.

Os resultados obtidos demonstram o potencial significativo da implementação de sistemas de captação, especialmente na região Norte do Brasil, onde os índices de precipitação são elevados. Além disso, os resultados também foram hábeis a demonstrar tal possibilidade em outras regiões do país com indícios pluviosos volumosos.

6.1. Análise das Precipitações Pluviométricas

A análise das precipitações pluviométricas nas sete capitais da região Norte do Brasil foi conduzida com base em dados históricos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), abrangendo o período de 1963 a 2023. Esse levantamento teve como objetivo compreender o comportamento da distribuição espacial e temporal das chuvas ao longo do ano, subsidiando a avaliação do potencial de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis.

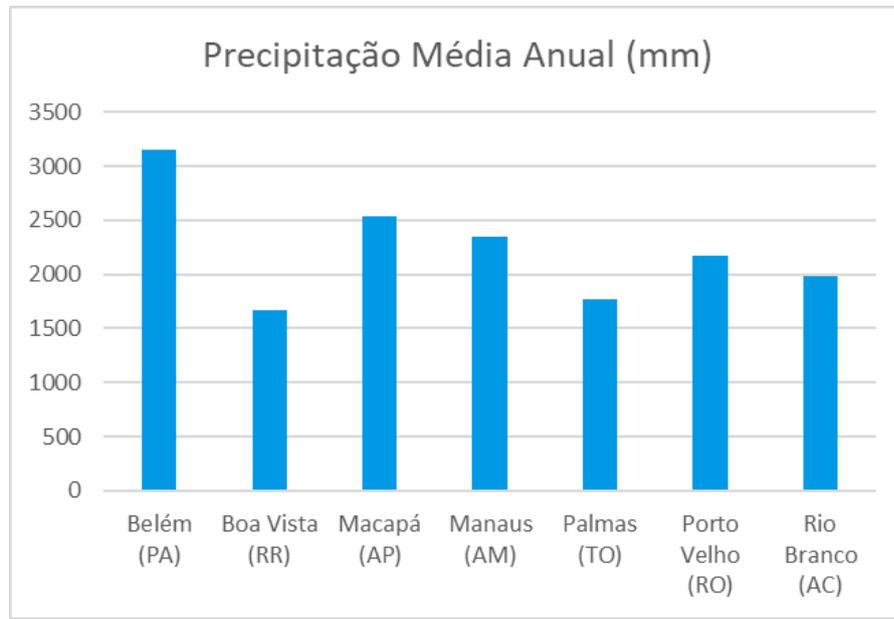
Os dados revelam uma heterogeneidade entre as capitais. Belém (PA) apresenta a maior média anual de precipitação, com 3.145,12 mm, seguida por Macapá (AP) com 2.535,22 mm e Manaus (AM), com 2.340,28 mm. Tais índices evidenciam um cenário favorável à implantação de sistemas de captação de água da chuva, considerando a elevada disponibilidade hídrica e a relativa regularidade da distribuição das chuvas ao longo do ano. Em um segundo patamar, encontram-se Porto Velho (RO) com 2.171,26 mm e Rio Branco (AC) com 1.982,89 mm, cujos volumes anuais também sinalizam viabilidade para a adoção dessa alternativa sustentável de abastecimento.

Por outro lado, Boa Vista (RR) e Palmas (TO) registram os menores volumes médios anuais da região, com 1.671,09 mm e 1.765,24 mm, respectivamente. Em especial, a cidade de Palmas, situada em uma zona de transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado, apresenta maior concentração das chuvas no primeiro semestre do ano e uma estiagem prolongada nos meses subsequentes.

Essa sazonalidade acentuada impõe desafios técnicos adicionais para o armazenamento eficiente da água captada, tornando fundamental o dimensionamento preciso dos reservatórios

e estratégias complementares de gestão do uso da água, como ilustrado no gráfico que representa os valores médios de precipitação anual das capitais, permitindo visualizar de forma clara a distribuição dos volumes ao longo da série histórica de 60 anos.

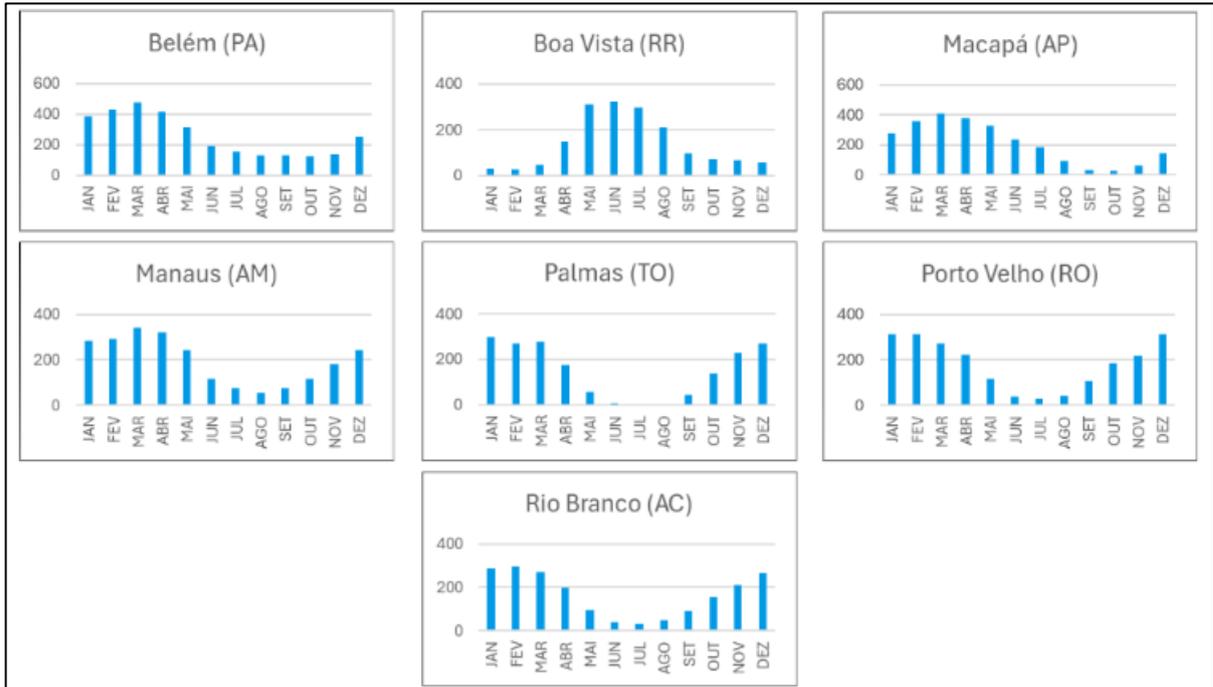
Gráfico 1 – Precipitação média anual (mm) nas capitais da região Norte entre 1963 e 2023



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Além da análise da precipitação anual, a Figura 1 apresenta as médias mensais dos índices pluviométricos em milímetros das capitais da região Norte, possibilitando observar a distribuição sazonal das chuvas ao longo do ano. Nota-se que cidades como Belém (PA) e Macapá (AP) mantêm elevada precipitação durante quase todos os meses, o que favorece uma captação mais regular. Em contraste, capitais como Boa Vista (RR) e Palmas (TO) registram períodos mais prolongados de estiagem, com concentrações de chuvas em poucos meses do ano, o que exige maior atenção no dimensionamento de sistemas de armazenamento.

Figura 1 – Médias mensais dos índices pluviométricos em milímetros das capitais da região Norte do Brasil referentes ao período de 1963 a 2023



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os dados da Figura 1 estão sistematizados na Tabela 4, que apresenta os valores médios mensais de precipitação registrados entre janeiro de 1963 e dezembro de 2023. Essa tabulação permite comparar o regime hídrico entre as capitais, sendo essencial para o planejamento de sistemas de captação e para a aplicação de métodos como o da Simulação.

Tabela 4 – Médias de precipitação mensal de janeiro de 1963 a dezembro de 2023

CAPITAIS	ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS (mm)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Belém (PA)	382,2	428,66	474,86	413,87	314,59	189,57	157,38	131,45	132,63	127	138,58	254,33
Boa Vista (RR)	28,98	27,51	45,28	148,15	309,61	320,35	295,46	206,73	95,36	70,84	67,23	55,59
Macapá (AP)	280,15	358,57	403,99	378,91	328,26	234,48	188,41	96,53	33	29,22	61,47	142,23
Manaus (AM)	282,87	291,97	339,35	319,46	242,7	115,79	75,96	54,24	75,87	116,21	182,06	243,8
Palmas (TO)	297,26	269,04	277,31	176,95	56,53	5,68	0,78	2,09	42,73	138,4	229,46	269,01
Porto Velho (RO)	312,91	310,76	272,47	222,12	117,3	38,3	28,54	43,84	108,58	184,06	219,13	313,25
Rio Branco (AC)	285,95	293,98	269,42	198,51	95,18	39,55	31,8	48,14	89,15	154,47	209,91	266,83

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A partir das médias mensais de precipitação foi possível construir as curvas de permanência para cada uma das capitais da região Norte do Brasil. Essas curvas permitem identificar a frequência relativa com que uma determinada lâmina de chuva foi igualada ou superada ao longo da série histórica.

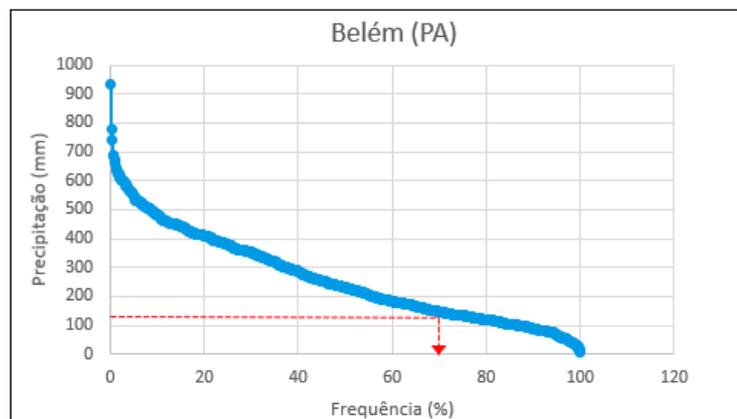
No eixo das ordenadas (Y), estão representados os valores mensais de precipitação, em milímetros (mm), enquanto o eixo das abscissas (X) apresenta as frequências relativas acumuladas, expressas em porcentagem (%). Para este estudo, adotou-se uma demanda mensal de 14 mil litros (14 m³) por residência e uma área de captação de 100 m².

Com base nessa relação, a lâmina mínima necessária para suprir integralmente essa demanda corresponde a 0,14 metros, ou 140 milímetros de precipitação. Assim, para cada capital, foi possível estimar o percentual da série histórica (1963 a 2023) em que a precipitação mensal foi igual ou superior a esse valor, indicando a frequência (em porcentagem no rol dos dados) com que o sistema de captação seria capaz de atender completamente às necessidades hídricas do projeto.

A linha hachurada no Gráfico 2 ilustra que para a capital Belém a série histórica iguala ou supera em quase 72% dos dados a lâmina líquida de 140 mm requerida para o atendimento da demanda. Avaliação semelhante foi feita para todas as demais capitais e jogou luz às discussões apresentadas no parágrafo subsequente do texto.

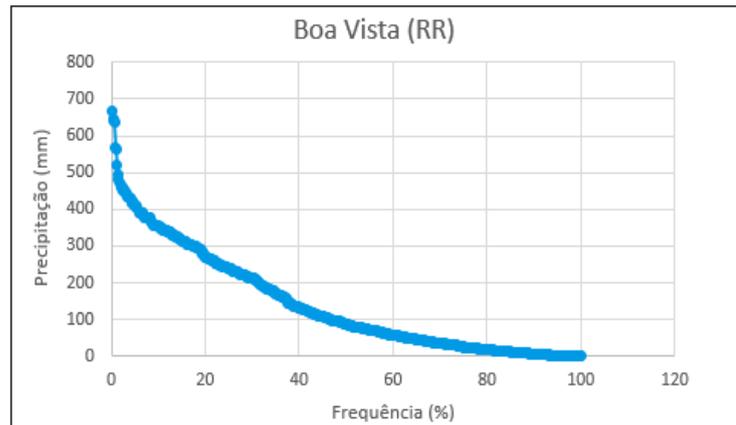
Para Belém, foi inserida uma linha horizontal pontilhada na altura de 140 mm no eixo Y da curva de permanência, representando a lâmina mínima de precipitação necessária para suprir a demanda hídrica mensal de 14 m³. Também foi adicionada uma linha vertical pontilhada com uma seta direcionada ao eixo das abscissas, indicando o percentual de meses em que essa demanda foi atendida. Juntas, essas marcações funcionam como recurso visual ao leitor para ilustrar o critério adotado na análise de frequência, facilitando a compreensão da metodologia aplicada, que se repete nas demais capitais.

Gráfico 2 – Curva de Permanência da capital Belém (PA) referente ao período de 1963 a 2023



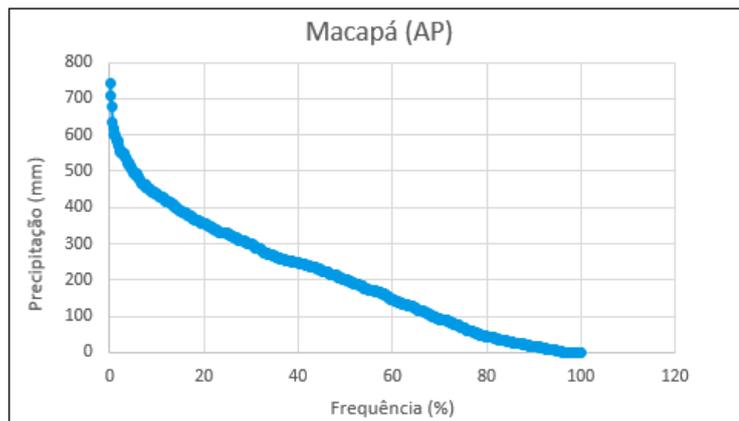
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Gráfico 3 – Curva de Permanência da capital Boa Vista (RR) referente ao período de 1963 a 2023



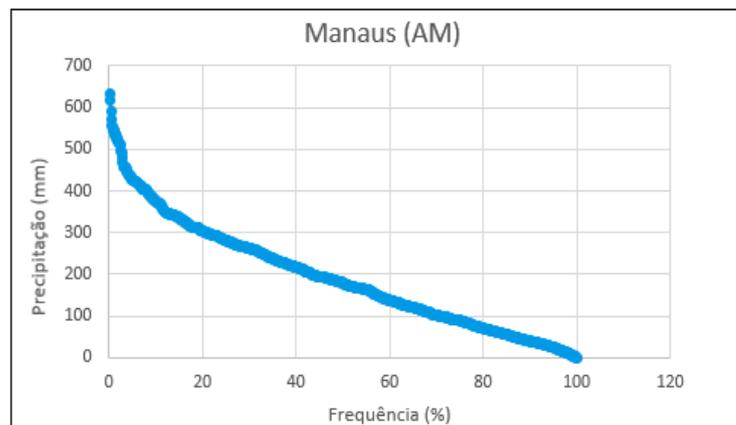
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Gráfico 4 – Curva de Permanência da capital Macapá (AP) referente ao período de 1963 a 2023



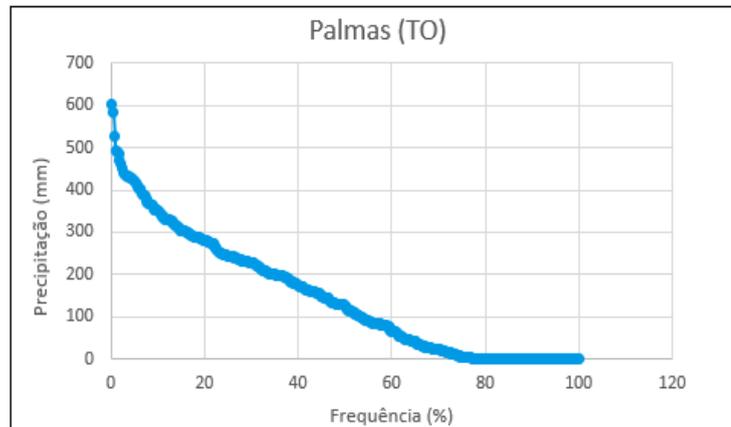
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Gráfico 5 – Curva de Permanência da capital Manaus (AM) referente ao período de 1963 a 2023



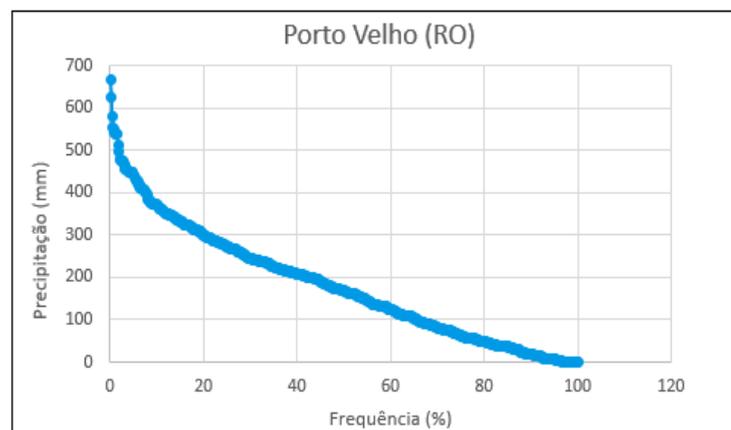
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Gráfico 6 – Curva de Permanência da capital Palmas (TO) referente ao período de 1963 a 2023



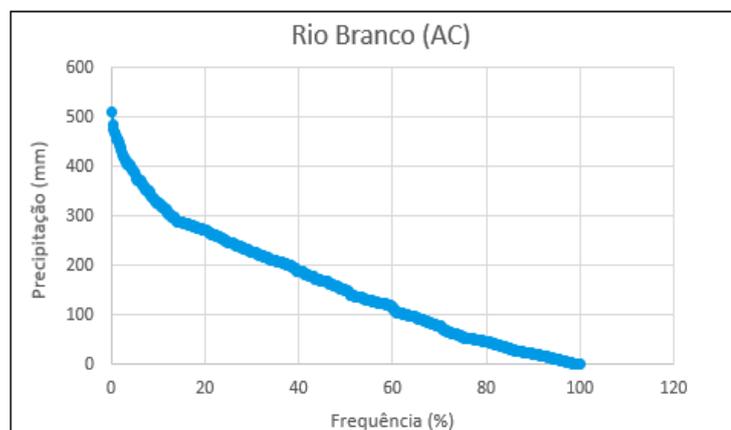
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Gráfico 7 – Curva de Permanência da capital Porto Velho (RO) referente ao período de 1963 a 2023



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Gráfico 8 – Curva de Permanência da capital Rio Branco (AC) referente ao período de 1963 a 2023



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Tal como descrito no parágrafo sobredito, os resultados demonstraram que Belém (PA) apresentou a maior taxa de atendimento, com 71,75% dos meses superando a lâmina mínima exigida. Macapá (AP) obteve 61,06%, seguida de Manaus (AM), com 59,38%, e Porto Velho (RO), com 56,00%. Rio Branco (AC) apresentou um percentual de 51,32%, enquanto Palmas (TO) registrou 46,74%. Por fim, Boa Vista (RR) apresentou o menor índice entre as capitais da região, com apenas 38,42% dos meses com precipitação suficiente para suprir integralmente a demanda de 14 m³ mensais.

Tais resultados evidenciam a variação no potencial de uso da água de chuva entre as diferentes localidades da região Norte, reforçando a importância da análise da distribuição da precipitação para o planejamento de sistemas de captação pluvial. Em locais como Belém e Macapá, o sistema se mostra altamente viável como fonte complementar ou até principal de abastecimento para fins não potáveis. Em contrapartida, capitais como Boa Vista e Palmas exigiriam a adoção de estratégias complementares, como o aumento da área de captação, o redimensionamento da capacidade dos reservatórios ou a suplementação do volume demandado com outras fontes provedoras de água.

6.2. Consumo Médio e Padrão de Referência

A Tabela 5 apresenta a avaliação do consumo médio de água por habitante nas capitais da região Norte e foi baseada em dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que indicam um consumo médio diário de aproximadamente 151,1 litros por pessoa no Brasil. Embora os dados sejam do SNIS de 2020, a tabela foi extraída do portal INFOSANBAS (2025).

Esse valor foi utilizado como referência para estimar a demanda de uma residência padrão nas capitais nortistas. O tamanho médio das residências na região Norte, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), varia entre 3 e 4 moradores, o que resulta em um consumo total diário estimado entre 450 e 600 litros por residência.

Contudo, quando considerado apenas o uso para fins não potáveis, como descargas sanitárias, lavagem de roupas e limpeza, esse consumo reduz-se para cerca de 200 litros por dia (May, 2004). A análise estatística do consumo médio diário per capita revelou variações significativas entre as capitais nortistas.

De acordo com o INFOSANBAS (2025), Rio Branco apresenta o maior consumo médio, com aproximadamente 162 litros por habitante, seguido por Macapá, com uma média

de 150,7 litros. Outras capitais da região, como Palmas (149,5 litros), Boa Vista (140,4 litros) e Porto Velho (118,4 litros), registram consumos variando de 118 a 149 litros diários. Manaus, por sua vez, possui um dos menores consumos da região, com 108,5 litros per capita. Belém apresenta um consumo moderado, com cerca de 117,6 litros por habitante, abaixo da média da região.

À vista disso, a implementação de sistemas de captação de água de chuva nessas cidades poderia reduzir a pressão sobre os mananciais, contribuindo para a eficiência no uso da água e para a sustentabilidade da oferta (Tomaz, 2011; Nascimento, 2021).

Tabela 5 – Média de consumo

Capital	Consumo Médio (Litros per capita/dia)	Observações
BELÉM (PA)	117,60	Consumo moderado, abaixo da média da região.
BOA VISTA (RR)	140,40	Consumo acima da média geral.
MACAPÁ (AP)	150,70	Um dos maiores consumos, próximo a Rio Branco.
MANAUS (AM)	108,50	Menor consumo entre as capitais da região.
PALMAS (TO)	149,50	Consumo elevado, similar a Macapá e Boa Vista.
PORTO VELHO (RO)	118,40	Consumo inferior à média regional.
RIO BRANCO (AC)	162,00	Maior consumo da região.

Fonte: INFOSANBAS, 2025.

6.3. Consonância entre os instrumentos normativos e a eficiência do sistema de aproveitamento de água de chuva

A norma ABNT NBR 15.527 estabelece diretrizes para o aproveitamento de águas pluviais em áreas urbanas, delimitando critérios para captação, armazenamento e uso. Conforme a normativa, a captação deve ser realizada por meio de superfícies impermeáveis, garantindo a filtragem adequada para evitar contaminações (ABNT, 2019).

Com base nas diretrizes normativas e nos dados pluviométricos, foram avaliados, usando o Método da Simulação, o dimensionamento de reservatórios para diferentes capitais da região Norte. De modo padronizado, adotou-se a capacidade de 5.000 litros (5 m³) para todas as localidades, o que permite avaliar a eficiência dos sistemas de captação sob condições climáticas distintas.

Em Belém (PA), Macapá (AP) e Manaus (AM), onde os índices pluviométricos são elevados e bem distribuídos ao longo do ano, essa capacidade mostrou-se plenamente suficiente para suprir as necessidades de uma residência padrão durante a maior parte do ano. O mesmo padrão foi observado em Rio Branco (AC) e Porto Velho (RO), cujas médias anuais de precipitação garantem um abastecimento regular e eficiente com reservatórios dessa dimensão.

Nas capitais com menor índice pluviométrico, como Boa Vista (RR) e Palmas (TO), o uso de reservatórios com 5.000 litros também se mostrou viável, desde que associado a estratégias de uso racional da água e aproveitamento prioritário para fins não potáveis. Em Boa Vista, há uma estação seca mais marcada, o que exige uma gestão mais cautelosa do volume armazenado. Já em Palmas, onde os volumes de precipitação são os menores da região e a estiagem se prolonga por vários meses, o planejamento do consumo torna-se ainda mais relevante para garantir o suprimento hídrico durante todo o ano.

A adequação do sistema às diretrizes normativas provê a segurança hídrica e a qualidade da água armazenada, evitando riscos de contaminação. Além disso, a padronização dos sistemas facilita a implementação em larga escala, promovendo maior adesão a essa tecnologia sustentável (Tomaz, 2011).

Na Tabela 6 apresentam-se os valores de precipitação média anual em milímetros para as capitais estudadas. Nesse sentido, se por hipótese a chuva caísse sobre uma área uniforme, poderia se estimar que para cada 1 milímetro de chuva teria-se 1 litro de água por metro quadrado de área de captação.

Sendo assim, é possível estimar o volume potencial de aproveitamento mensal de águas pluviais nas capitais da região Norte do Brasil. Em Belém (PA), cuja média mensal de precipitação é de 262 mm, uma área de captação de 100 m² permitiria a coleta de cerca de 26.200 litros por mês.

Em Manaus (AM), com média mensal de 195 mm, o mesmo telhado resultaria em uma captação próxima de 19.500 litros mensais. Já em Palmas (TO), onde a média mensal é de 147 mm, o volume estimado de água coletada seria de 14.700 litros por mês, considerando a mesma área.

Esses valores demonstram o expressivo potencial de aproveitamento da água da chuva, especialmente nas capitais com maiores índices pluviométricos, mesmo em sistemas de captação simples e de baixa complexidade tecnológica. Na Tabela 6 convencionou-se estabelecer que, para valores de precipitações médias anuais no intervalo maior que 2200 mm, temos os status de capital com “volume elevado e distribuição satisfatória de chuva”.

Já para os valores de precipitações compreendidos entre 2000 mm e 2200 mm convencionou-se estabelecer o status que “apresenta abastecimento dentro dos padrões satisfatórios para os limites de precipitações pluviométricas ao longo do ano”. Por sua vez, os valores abaixo de 2000 mm receberam o status de “baixa precipitação; exige gestão cuidadosa durante períodos de estiagem prolongada”.

Tabela 6 – Dimensionamento do reservatório

Capital	Precipitação média anual (mm)	Capacidade sugerida do reservatório (litros)	Observações
BELÉM (PA)	3.145,12	5.000	Volume elevado e distribuição satisfatória de chuva.
BOA VISTA (RR)	1.671,09	5.000	Baixa precipitação; exige gestão cuidadosa durante períodos de estiagem prolongada.
MACAPÁ (AP)	2.535,22	5.000	Volume elevado e distribuição satisfatória de chuva.
MANAUS (AM)	2.340,28	5.000	Volume elevado e distribuição satisfatória de chuva.
PALMAS (TO)	1.765,24	5.000	Baixa precipitação; exige gestão cuidadosa durante períodos de estiagem prolongada.
PORTO VELHO (RO)	2.171,26	5.000	Apresenta abastecimento dentro dos padrões satisfatórios para os limites de precipitações pluviométricas ao longo do ano.
RIO BRANCO (AC)	1.982,89	5.000	Baixa precipitação; exige gestão cuidadosa durante períodos de estiagem prolongada.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

6.4. Análise da viabilidade técnica e econômica na perspectiva de implantação da moradia padrão nas capitais de interesse

Esta análise foi dividida em dois enfoques complementares. Por meio da aplicação do Método da Simulação, são apresentados os resultados técnicos obtidos para cada capital, considerando a capacidade de atendimento à demanda e o potencial de economia. Em seguida, são discutidas as implicações econômicas mais amplas, associadas às tarifas de abastecimento,

e as possibilidades de incentivo à adoção da tecnologia, com base em experiências nacionais e internacionais.

6.4.1. Resultados sobre o Método da Simulação

A utilização do Método da Simulação permitiu avaliar o comportamento do sistema de captação de águas pluviais para uma residência padrão nas capitais da região Norte do Brasil. Esse método, adotado por Nascimento (2021) como base metodológica de análise, consiste em realizar o balanço hídrico mês a mês ao longo de um ano, partindo da premissa de que o reservatório se encontra cheio no início da simulação e desconsiderando perdas por evaporação.

A simulação foi feita a partir de uma demanda constante de 14 m³/mês, uma área de captação de 100 m² e um volume físico máximo do reservatório de 5 m³. A partir dos dados pluviométricos mensais de cada capital e utilizando uma eficiência de captação de 80%, calculou-se o volume aproveitável de água da chuva.

Para cada mês, verificou-se se o volume disponível seria suficiente para atender à demanda. Em caso positivo, o volume excedente foi acumulado no reservatório para o mês seguinte, respeitando-se o volume máximo de 5 m³.

O excedente não armazenado foi considerado como transbordamento (*overflow*). Em caso negativo, a diferença foi registrada como necessidade de suprimento externo. Os resultados da simulação são apresentados na Tabela 7, e resume o volume total de água economizado, o volume perdido por *overflow* e o volume que precisou ser suprido por outras fontes.

Tabela 7 – Resultados do dimensionamento do reservatório nas capitais da região Norte pelo Método da Simulação

RESUMO DOS RESULTADOS DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO			
Capitais	<i>Overflow</i> total (m ³)	Suprimento externo total (m ³)	Economia total (m ³)
Belém (PA)	88,6464	10,0368	157,9632
Boa Vista (RR)	17,0336	61,3464	106,6536
Macapá (AP)	70,8216	36,004	131,996
Manaus (AM)	44,1768	29,9544	138,0456
Palmas (TO)	27,5224	59,3032	108,6968
Porto Velho (RO)	38,776	38,0752	129,9248
Rio Branco (AC)	27,968	42,3368	125,6632

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Além disso, foi analisado o comportamento mensal do sistema em relação ao atendimento da demanda de água pluvial. O desempenho foi classificado como "Total", quando a demanda foi completamente atendida no mês; ou "Parcial", quando houve necessidade de complemento externo. Esta avaliação está consolidada no Quadro 1:

Quadro 1 – Resumo do atendimento mensal da demanda de água pluvial nas capitais da região Norte pelo Método da Simulação

CAPITAIS	ATENDIMENTO											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Belém (PA)	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Parcial	Parcial	Parcial	Total
Boa Vista (RR)	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Total	Total	Total	Total	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Macapá (AP)	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Manaus (AM)	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Total	Total
Palmas (TO)	Total	Total	Total	Total	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Total	Total
Porto Velho (RO)	Total	Total	Total	Total	Total	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Total	Total	Total
Rio Branco (AC)	Total	Total	Total	Total	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Total	Total

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Com base nos volumes totais economizados ao longo do ano, em virtude do uso dos volumes de águas advindos do sistema de captação de água de chuva, em detrimento de outros volumes de água providos por fontes diferentes, foi possível calcular o potencial de economia

anual para cada capital. Este indicador foi calculado por meio da fórmula adotada por Nascimento (2021), apresentada a seguir:

$$\text{Potencial de economia} = \frac{\text{Economia total de água}}{\text{Demanda anual de água}} \times 100$$

Conforme já mencionado neste trabalho, a demanda mensal adotada para a residência padrão foi de 14 m³, totalizando uma demanda anual de 168 m³. Este valor foi utilizado como base para o cálculo do potencial de economia, que representa a razão entre o volume de água pluvial efetivamente utilizado e a demanda anual da edificação.

O resultado, expresso em percentual, indica o grau de substituição da água potável pelo sistema de captação de águas pluviais. Os percentuais apurados estão organizados na Tabela 8 e a demonstração dos valores registrados na aludida tabela encontra-se no Apêndice A.

Tabela 8 – Potencial de economia anual das capitais da região Norte

POTENCIAL DE ECONOMIA DAS CAPITAIS DA REGIÃO NORTE		
Capitais	Economia total (m³)	Potencial de economia (%)
Belém (PA)	157,9632	94,03
Boa Vista (RR)	106,6536	63,48
Macapá (AP)	131,996	78,57
Manaus (AM)	138,0456	82,17
Palmas (TO)	108,6968	64,70
Porto Velho (RO)	129,9248	77,34
Rio Branco (AC)	125,6632	74,80

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Para complementar a análise técnica, foi realizada uma avaliação econômica, considerando as tarifas de abastecimento de água e esgotamento sanitário praticadas em cada

capital, conforme levantamento junto às companhias estaduais e concessionárias responsáveis. Os valores utilizados estão sistematizados na Tabela 9:

Tabela 9 – Tarifas de abastecimento de água e esgotamento sanitário nas capitais da região Norte do Brasil

VALORES TARIFÁRIOS VIGENTES EM 2025		
Capitais	Tarifa de abastecimento de água (R\$/m ³)	Tarifa de coleta e tratamento de esgoto (R\$/m ³)
Belém (PA)	7,00 ¹	4,20 ¹
Boa Vista (RR)	4,363 ²	4,363 ²
Macapá (AP)	3,28 ³	3,28 ³
Manaus (AM)	11,7830 ⁴	8,8373 ⁴
Palmas (TO)	7,92 ⁵	6,34 ⁵
Porto Velho (RO)	6,24 ⁶	4,368 ⁶
Rio Branco (AC)	2,44 ⁷	1,95 ⁷

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Com base nesses dados tarifários e nos volumes economizados, calculou-se a economia financeira estimada para cada capital. Os resultados demonstram o impacto econômico positivo da adoção do sistema, e estão dispostos na Tabela 10:

1 Disponível em: https://www.cosanpa.pa.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Tarifa_Novembro_2023.pdf. Acesso em: 13 abr, 2025

2 Disponível em: <https://www.caer.com.br/downloads/pdf/caer-estrutura-tarifaria-2024-2025.pdf>. Acesso em: 13 abr, 2025

3 Disponível em: <https://caesa.portal.ap.gov.br/index.php/pagina/servicos/tarifas>. Acesso em: 13 abr, 2025

4 Disponível em: <https://www.aguasdemanous.com.br/legislacao-e-tarifas/>. Acesso em: 13 abr, 2025

5 Disponível em: <https://www.brkambiental.com.br/storage/tocantins-e-para/estrutura-tarifaria/tabela-de-tarifas-to-dez-24.pdf>. Acesso em: 13 abr, 2025

6 Disponível em: <https://agenciavirtualcaerd.gsan.com.br/gsan/exibirConsultarEstruturaTarifariaPortalCaerdAction.do>. Acesso em: 13 abr, 2025

7 Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1zG7cwxO8-OMutKBVybCrBS09_VInvWI/view. Acesso em: 13 abr, 2025

Tabela 10 – Resumo da economia de água e financeira com sistema de captação de água de chuva

Capitais	Volume de água aproveitável (m³/ano)	Tarifa total cobrada (R\$/m³)	Economia financeira (R\$/ano)
Belém (PA)	157,9632	11,2	1769,19
Boa Vista (RR)	106,6536	8,73	930,66
Macapá (AP)	131,996	6,56	865,89
Manaus (AM)	138,0456	20,62	2846,54
Palmas (TO)	108,6968	14,26	1550,02
Porto Velho (RO)	129,9248	10,61	1378,24
Rio Branco (AC)	125,6632	4,39	551,66

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Por fim, foi elaborado um quadro comparativo classificando as capitais de forma decrescente com base em três variáveis principais: precipitação anual, volume de água aproveitado e economia financeira. Essa consolidação está apresentada no Quadro 2:

Quadro 2 – Classificação decrescente das capitais conforme a precipitação anual, o volume de água aproveitado e a economia financeira estimada

Classificação das capitais conforme precipitação média anual		Classificação das capitais conforme volume aproveitado		Classificação das capitais conforme economia financeira anual	
Capitais	(mm/ano)	Capitais	Volume de água aproveitável (m³/ano)	Capitais	Economia financeira (R\$/ano)
Belém (PA)	3145,12	Belém (PA)	157,9632	Manaus (AM)	2846,54
Macapá (AP)	2535,22	Manaus (AM)	138,0456	Belém (PA)	1769,19
Manaus (AM)	2340,28	Macapá (AP)	131,996	Palmas (TO)	1550,02
Porto Velho (RO)	2171,26	Porto Velho (RO)	129,9248	Porto Velho (RO)	1378,24
Rio Branco (AC)	1982,89	Rio Branco (AC)	125,6632	Boa Vista (RR)	930,66
Palmas (TO)	1765,24	Palmas (TO)	108,6968	Macapá (AP)	865,89
Boa Vista (RR)	1671,09	Boa Vista (RR)	106,6536	Rio Branco (AC)	551,66

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Dessa forma, os resultados obtidos com o Método da Simulação evidenciam que, mesmo com um reservatório de pequeno porte (5 m³), o sistema de captação de águas pluviais apresenta desempenho técnico satisfatório e retorno econômico relevante. Conforme demonstrado por Nascimento (2021), a simulação se mostra uma ferramenta eficaz para o

dimensionamento de reservatórios e avaliação da viabilidade de sistemas sustentáveis de uso da água, adaptáveis às diferentes realidades climáticas do território brasileiro.

6.4.2. Viabilidade econômica e política pública

A viabilidade econômica do aproveitamento de águas pluviais tem sido amplamente discutida na literatura, especialmente em contextos de regiões com desafios hídricos e tarifas elevadas de água tratada. Na região Norte do Brasil, onde a precipitação é abundante, mas os custos de abastecimento podem ser significativos, a implementação de sistemas de captação de águas pluviais representa uma alternativa viável para a redução do consumo de água potável e dos custos associados.

Além dos benefícios econômicos diretos, políticas públicas e incentivos governamentais desempenham um papel fundamental na disseminação dessa prática, reduzindo barreiras financeiras e técnicas para a adoção em larga escala. Neste capítulo, serão analisados os custos de instalação e operação dos sistemas, o retorno sobre o investimento, os impactos econômicos para os consumidores e o papel das políticas públicas no fomento à adoção dessa tecnologia.

A instalação de sistemas de captação de águas pluviais envolve custos relacionados à aquisição de materiais, como calhas, filtros, reservatórios e sistemas de bombeamento, além da mão de obra especializada para montagem e manutenção do sistema. Segundo Tomaz (2011), os valores podem variar significativamente de acordo com a escala do projeto e a complexidade da infraestrutura adotada.

Para residências padrão, o custo inicial estimado para a instalação de um reservatório de água da chuva varia entre US\$105/m³ e US\$178/m³, dependendo da capacidade do reservatório e dos materiais utilizados (Tomaz, 2011). Esse investimento pode ser reduzido por meio de incentivos fiscais e financiamentos governamentais, tornando o sistema mais acessível à população.

O retorno sobre o investimento (ROI) está diretamente relacionado à economia gerada na conta de água. Em cenários onde a tarifa da água é elevada, o tempo de retorno do investimento pode ser inferior a cinco anos, tornando o sistema economicamente viável a médio prazo.

A economia gerada pelo aproveitamento de águas pluviais depende do custo da água tratada nas diferentes cidades analisadas. Conforme dados fornecidos pelas concessionárias de

cada capital, as tarifas de água da região Norte variam entre R\$ 2,44 e R\$ 11,78 por metro cúbico (m³), sendo Manaus, Palmas e Belém as cidades com os valores mais elevados.

Além dos benefícios diretos para os consumidores residenciais, o aproveitamento de águas pluviais pode gerar impactos positivos para setores comerciais, industriais e públicos. O setor industrial, por exemplo, é um dos maiores consumidores de água no Brasil, e a adoção de sistemas de captação pode reduzir significativamente os custos operacionais, especialmente em indústrias que utilizam grandes volumes de água para processos de resfriamento e limpeza (Sell, 2020).

No setor público, a implementação dessa tecnologia em escolas, hospitais e prédios administrativos pode resultar em economia de recursos e melhor gestão dos gastos com abastecimento. Além disso, em contextos de adensamento populacional, a redução do consumo de água potável por meio da captação de águas pluviais contribui para aliviar a pressão sobre os sistemas públicos de abastecimento, favorecendo a disponibilidade hídrica (Nascimento, 2021).

A adoção de incentivos governamentais tem sido uma das principais estratégias para fomentar o uso de tecnologias sustentáveis, incluindo o aproveitamento de águas pluviais. Países industrializados, como o Japão e a Alemanha, estão seriamente empenhados no aproveitamento de água de chuva para fins não - potáveis. Outros países, como os Estados Unidos, Austrália e Singapura, também estão desenvolvendo pesquisas na área do aproveitamento de água de chuva (Tomaz, 2011).

No Brasil, algumas iniciativas já foram implementadas em nível estadual e municipal, como descontos na conta de água para imóveis que utilizam sistemas de captação e financiamentos com juros reduzidos para a instalação dos equipamentos (May, 2004). No entanto, ainda há um longo caminho a percorrer para a consolidação de uma política nacional de incentivo ao uso dessa tecnologia.

Para ampliar o uso da captação de águas pluviais no Brasil, especialmente na região Norte, algumas medidas podem ser adotadas pelo poder público, tais como:

- Criação de programas de financiamento para facilitar a aquisição de sistemas de captação por famílias de baixa renda;
- Incorporação de diretrizes sobre o uso da água da chuva em novos empreendimentos, tornando a captação obrigatória em edificações comerciais e públicas;

- Incentivos fiscais para empresas e indústrias que implementarem a tecnologia, reduzindo os custos operacionais e promovendo a sustentabilidade hídrica;
- Campanhas de conscientização e capacitação técnica, informando a população sobre os benefícios ambientais e econômicos da prática.

A implementação dessas medidas pode acelerar a adoção da tecnologia e contribuir para a segurança hídrica da região Norte, promovendo um modelo de desenvolvimento sustentável alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (Nações Unidas Brasil, 2023). A análise da viabilidade econômica e dos incentivos governamentais para o aproveitamento de águas pluviais na região Norte demonstra que essa tecnologia é financeiramente viável e apresenta potencial para gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais.

O custo de implementação dos sistemas pode ser compensado pela economia gerada na conta de água, tornando o investimento atrativo a médio e longo prazo. Além disso, políticas públicas voltadas para a ampliação do uso dessa tecnologia podem reduzir as barreiras de adoção e promover sua disseminação em larga escala.

O fortalecimento de incentivos financeiros, aliado a ações de conscientização e regulamentação, pode transformar o aproveitamento de águas pluviais em uma solução sustentável para a gestão hídrica na região de estudo e em outras áreas do Brasil. Cumpre salientar que a viabilidade econômica de sistemas de captação de águas pluviais é um aspecto determinante para sua adoção.

Conforme Nascimento (2021), o retorno sobre o investimento (ROI) desses sistemas geralmente se dá entre 2,6 e 8,1 anos, dependendo das condições locais, do custo da água e da tarifa praticada pelas concessionárias. Nas capitais analisadas, onde as tarifas variam entre R\$ 2,44 e R\$ 11,78 por m³, a economia potencial anual pode ultrapassar R\$ 2500,00 para uma residência padrão, conforme dados do quadro 2. Em cenários industriais e comerciais, onde o consumo é substancialmente maior, o retorno ocorre de forma mais rápida, justificando a implementação do sistema (May, 2004).

Além de sua viabilidade econômica, o aproveitamento de águas pluviais se alinha diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente ao ODS 6, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água para todos (Nações Unidas Brasil, 2023). Em um cenário de aumento da temperatura devido a mudanças climáticas e a urbanização, onde eventos extremos como secas e enchentes se tornam mais frequentes, a

captação de água de chuva surge como uma estratégia adaptativa (Tomaz, 2011), visto que a redução do escoamento superficial, proporcionada por esses sistemas, contribui para a diminuição dos riscos de enchentes e para a melhoria da qualidade das águas urbanas.

A análise dos resultados confirma que a captação de águas pluviais é uma solução prática e eficiente para a gestão hídrica na região Norte. Além de viável economicamente, a prática oferece benefícios sociais e ambientais, promovendo a sustentabilidade e a resiliência frente às mudanças climáticas.

O apoio governamental e a conscientização pública são elementos cruciais para a ampliação do uso dessas tecnologias. Com investimentos adequados e políticas de incentivo, a captação de águas pluviais pode se tornar uma prática comum, contribuindo para a segurança hídrica e a qualidade de vida das populações urbanas e rurais.

Os resultados obtidos demonstram que a captação de águas pluviais na região Norte brasileira é uma alternativa viável, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. As cidades com altos índices pluviométricos apresentam maior potencial para o aproveitamento, enquanto nas localidades com menor precipitação, o sucesso do sistema depende do dimensionamento correto dos reservatórios.

A análise econômica destaca que a implementação do sistema pode gerar retornos financeiros significativos a médio prazo. No entanto, políticas de incentivo, como subsídios e financiamentos acessíveis, são fundamentais para viabilizar a adoção da tecnologia em larga escala.

Isto posto, a integração entre diretrizes normativas, incentivos econômicos e ações educativas pode consolidar o aproveitamento de águas pluviais como uma estratégia sustentável e economicamente vantajosa, contribuindo para a segurança hídrica do país.

6.5. Análise de Impacto Ambiental e Sustentabilidade

O aproveitamento de água de chuva representa uma estratégia sustentável para a gestão hídrica, reduzindo a dependência de fontes convencionais e minimizando os impactos ambientais associados ao consumo excessivo de recursos hídricos. No contexto da região Norte do Brasil, onde a precipitação é abundante, mas a infraestrutura de saneamento básico permanece deficitária, a implementação de sistemas de captação pode contribuir significativamente para a mitigação de danos ambientais e a conservação dos mananciais.

Tal implementação dos sistemas de captação de águas pluviais tem como um de seus principais benefícios a redução da exploração de mananciais superficiais e subterrâneos. A prática da captação de águas pluviais pode minimizar essa dependência ao oferecer uma fonte alternativa para usos não potáveis, como irrigação, limpeza e descargas sanitárias (Tomaz, 2011).

Além disso, a captação da água da chuva contribui para a preservação dos aquíferos subterrâneos, pois quando a exploração de água subterrânea excede a capacidade de recarga natural do aquífero é inevitável o rebaixamento de seu nível até o esgotamento da água nele armazenada (Moura, 2004). A redução da demanda por essas fontes naturais permite uma gestão mais equilibrada dos recursos hídricos e pode ser especialmente relevante em períodos de estiagem, garantindo maior resiliência hídrica para as comunidades urbanas e rurais da região Norte.

Outro impacto ambiental significativo da adoção de sistemas de captação de águas pluviais é a redução do escoamento superficial, um dos principais fatores associados a enchentes e erosão do solo em áreas urbanas. Segundo Sell (2020), a urbanização desordenada e a impermeabilização do solo dificultam a infiltração da água da chuva, aumentando o volume de escoamento e sobrecarregando os sistemas de drenagem urbana.

Na região Norte, onde os índices pluviométricos são elevados, cidades como Belém e Manaus enfrentam frequentemente alagamentos devido à ineficiência dos sistemas de drenagem urbana. Segundo o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (2025), há uma possibilidade moderada de ocorrência de eventos hidrológicos nessas cidades, atribuída à previsão de chuvas intensas que podem gerar acumulados pluviométricos significativos, resultando em inundações pontuais e alagamentos temporários em áreas com deficiência na drenagem urbana.

Assim, a captação da água da chuva pode auxiliar no controle dessas enchentes ao armazenar parte do volume precipitado para uso posterior, reduzindo a quantidade de água que escoar diretamente para os sistemas de drenagem e corpos hídricos próximos. Outrossim, o aproveitamento da água de chuva pode diminuir a erosão do solo em áreas urbanas, uma vez que a redução do volume de escoamento contribui para a estabilidade do terreno e minimiza o carreamento de sedimentos para os rios e lagos.

Essa prática, portanto, pode ser considerada uma ferramenta eficiente de adaptação às mudanças climáticas, promovendo maior resiliência das cidades a eventos extremos, como chuvas intensas e enchentes.

A introdução de sistemas de captação de águas pluviais também pode contribuir para a melhoria da qualidade dos corpos hídricos na região Norte, ao reduzir a carga de poluentes que atinge rios e igarapés.

O escoamento superficial em áreas urbanas frequentemente carrega contaminantes provenientes de vias públicas e regiões com esgotamento sanitário precário, como valas, sarjetas e córregos. Além disso, há impactos diretos na poluição de grandes reservatórios públicos e mananciais, cuja qualidade tem se deteriorado progressivamente ao longo dos anos (Trata Brasil, 2023).

Ao captar e armazenar parte do volume precipitado, o sistema de aproveitamento reduz essa carga poluidora e pode contribuir para a melhoria da qualidade da água de rios urbanos, especialmente em áreas onde há déficit de saneamento básico. Como destacado por Nascimento (2021), a redução da entrada de contaminantes nos corpos hídricos também pode reduzir os custos de tratamento da água para abastecimento público, beneficiando diretamente a população local.

A disponibilidade hídrica é um fator determinante para a manutenção da biodiversidade na região Norte, onde a fauna e a flora dependem diretamente dos regimes hídricos naturais. A redução do consumo de água potável proporcionada pela captação pluvial pode auxiliar na preservação de nascentes, áreas úmidas e ecossistemas aquáticos sensíveis, minimizando a degradação ambiental causada pela extração excessiva de água para abastecimento humano (May, 2004).

Dessa forma, o uso racional da água por meio da captação pluvial não apenas promove a sustentabilidade do recurso, mas também fortalece a conservação dos ecossistemas da Amazônia e seu equilíbrio ecológico. A análise dos impactos ambientais do aproveitamento de águas pluviais na região Norte evidencia que essa estratégia representa uma alternativa sustentável para a gestão dos recursos hídricos.

Entre os principais benefícios identificados estão a redução da exploração dos mananciais, a mitigação do escoamento superficial, a melhoria da qualidade da água dos rios urbanos e a conservação da biodiversidade local. No entanto, para que esses impactos positivos sejam potencializados, é fundamental que haja incentivos governamentais e políticas públicas voltadas à implementação desses sistemas em larga escala.

Além disso, a conscientização da população sobre a importância da captação da água da chuva e o uso eficiente dos recursos hídricos pode contribuir para a ampliação dessa prática, promovendo benefícios ambientais e sociais de longo prazo para a região. Tal prática está

alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo o uso racional da água e incentivando a inclusão social por meio da ampliação do acesso hídrico (Nações Unidas Brasil, 2023).

Cumprido salientar que a utilização de águas pluviais não se limita ao contexto residencial. No âmbito comercial e industrial, a prática também apresenta vantagens significativas. Segundo Goedert (2012), empresas que adotam sistemas de captação conseguem reduzir custos operacionais relacionados ao consumo de água potável, direcionando recursos para outras áreas estratégicas.

Um estudo realizado por Weierbacher (2008) analisou a captação e aproveitamento de água da chuva em uma indústria de móveis, resultando em uma redução no consumo de água de quase 40%. Esse aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis surge como uma alternativa que não só propicia o uso responsável e adequado da água potável, como um recurso para aliviar a rede pública de drenagem ao minorar o volume de escoamento (Sell, 2020).

O potencial econômico se amplifica quando analisamos setores industriais de alta demanda hídrica, como o têxtil e o alimentício. Goedert (2012) destaca que a captação de água da chuva, não é uma invenção nova, é uma prática muito difundida em países como a Austrália e a Alemanha, proporcionando a captação de água de boa qualidade, de maneira simples e efetiva em termos da relação custo-benefício.

Embora os benefícios sejam notáveis, a adoção de sistemas de captação de águas pluviais enfrenta desafios. O custo inicial de instalação é um dos principais entraves, especialmente em regiões de menor poder aquisitivo, onde o acesso a financiamentos e subsídios é limitado.

Outro obstáculo é a falta de conhecimento técnico sobre a operação e a manutenção dos sistemas. A ausência de campanhas educativas e de profissionais qualificados dificulta a disseminação dessa tecnologia, reduzindo a adesão popular.

Importante ressaltar que as normativas vigentes, como a NBR 15.527, estabelecem critérios técnicos rigorosos que podem elevar os custos de instalação. Embora necessárias para garantir a qualidade e segurança da água, essas exigências tornam o processo mais complexo e oneroso (ABNT, 2019).

Em síntese, a captação de águas pluviais pode desempenhar um papel fundamental na melhoria das condições de saúde pública, especialmente em áreas com infraestrutura de saneamento deficiente. Conforme apontado por Sell (2020), a integração de sistemas de

captação com outras soluções sustentáveis, como o reúso de águas cinzas, potencializa os benefícios para a saúde pública.

6.6. Impactos do Uso Comercial e Industrial

O aproveitamento de águas pluviais tem se consolidado como uma alternativa sustentável para diferentes setores econômicos, incluindo o setor industrial e comercial. A elevada demanda por água em processos produtivos e serviços comerciais torna a adoção dessa tecnologia uma estratégia eficiente para a redução de custos operacionais, mitigação de impactos ambientais e promoção da sustentabilidade hídrica.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2025), o setor industrial é um dos principais consumidores de água no Brasil, sendo responsável por cerca de 9,7% do consumo total do país. Cumpre salientar que algumas indústrias apresentam forte sazonalidade, ou seja, o consumo de água pode variar expressivamente dentre os meses de um mesmo ano (ANA, 2025).

A utilização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais pelas indústrias contribui para a redução do consumo desnecessário de água potável, diminuindo gastos com água tratada, além de minimizar o risco de enchentes ocasionadas pela impermeabilização do solo em decorrência da urbanização (Goedert, 2012). Indústrias de médio e grande porte, como as dos setores têxtil, alimentício e metalúrgico, possuem alta demanda hídrica e podem obter economias substanciais ao substituir parte da água tratada pelo uso de águas pluviais.

Estudo realizado por Goedert (2012) demonstrou que, em indústrias de laticínios, a substituição de até 28% da água potável por água captada da chuva é tecnicamente viável, resultando em economias significativas e contribuindo para a redução dos custos com tarifas de abastecimento e tratamento de efluentes. Além do benefício econômico direto, a utilização da água da chuva também pode contribuir para a redução da dependência de sistemas públicos de abastecimento, tornando a operação industrial mais resiliente em períodos de escassez hídrica e evitando a paralisação de atividades produtivas por falta de suprimento adequado.

No setor comercial, o aproveitamento de águas pluviais tem sido implementado principalmente em shopping centers, hotéis, supermercados e edifícios empresariais, onde a demanda por água para fins não potáveis é elevada. O uso da água captada da chuva para descargas sanitárias, irrigação de áreas verdes e limpeza de ambientes pode reduzir consideravelmente o consumo de água potável nesses estabelecimentos (May, 2004).

A adoção dessa tecnologia também tem sido incentivada por certificações ambientais, como a LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), que reconhece edificações comprometidas com a sustentabilidade e promove práticas ambientalmente responsáveis no setor da construção civil (Green Building Council Brasil, 2025). Empresas que já adotam o sistema de aproveitamento das águas pluviais promovem a sustentabilidade, aumentando a ecoeficiência do seu processo, além de reduzir os gastos com água tratada (Goedert, 2012).

Ademais, muitos consumidores têm demonstrado maior interesse em empresas que adotam práticas sustentáveis, o que pode aumentar a atratividade dos estabelecimentos comerciais que utilizam tecnologias de reaproveitamento hídrico, fortalecendo sua reputação e impacto no mercado. A captação de água de chuva em indústrias e comércios também pode gerar impactos positivos para a gestão dos recursos hídricos em nível municipal.

Conforme explicitado por Sell (2020), a retenção de água da chuva surge como forma de aliviar o volume escoado e, destiná-la para uso em atividades com fins não potáveis. Em cidades onde a infraestrutura de abastecimento é limitada, a redução do consumo de água potável por grandes consumidores pode aliviar essa pressão sobre os mananciais e garantir maior disponibilidade hídrica para a população.

Na região Norte, onde o abastecimento de água ainda enfrenta desafios, a implementação dessa tecnologia pode representar um avanço na distribuição equitativa dos recursos hídricos. Segundo Nascimento (2021), a redução da demanda por água tratada em grandes estabelecimentos pode contribuir para melhorar o fornecimento de água em áreas residenciais, especialmente em comunidades que ainda enfrentam dificuldades de acesso ao saneamento básico.

Além disso, a diminuição do consumo de água potável pelo setor comercial e industrial pode impactar diretamente os custos de tratamento e distribuição, reduzindo investimentos públicos necessários para ampliar a infraestrutura hídrica urbana. Apesar das vantagens econômicas e ambientais, a implementação de sistemas de captação de águas pluviais no setor industrial e comercial ainda enfrenta desafios.

O custo inicial da instalação pode ser um fator limitante, especialmente para pequenas e médias empresas, que possuem menor capacidade de investimento. Para superar essa barreira, políticas públicas de incentivo, como linhas de crédito subsidiadas e benefícios fiscais, podem desempenhar um papel fundamental na ampliação do uso dessa tecnologia.

Algumas cidades brasileiras já adotaram programas de incentivo, oferecendo descontos na tarifa de água para estabelecimentos que utilizam sistemas de captação de águas pluviais

(May, 2004). Por este caminho, além dos incentivos financeiros, a regulamentação também pode contribuir para a expansão do uso dessa tecnologia.

A criação de normas que incentivem ou tornem obrigatória a captação de águas pluviais em novos empreendimentos comerciais e industriais pode acelerar a adoção dessa prática e ampliar seus benefícios ambientais e econômicos. A Lei nº 14.546/2023, ao alterar a Lei nº 11.445/2007, estabelece medidas para o aproveitamento das águas de chuva e o reuso não potável das águas cinzas, promovendo a sustentabilidade no uso dos recursos hídricos (Brasil, 2023).

A análise dos impactos do uso industrial e comercial da captação de águas pluviais evidencia que essa prática representa uma solução viável para reduzir os custos operacionais, promover a sustentabilidade e minimizar a pressão sobre os sistemas públicos de abastecimento. Indústrias e comércios que adotam essa tecnologia podem obter vantagens econômicas diretas, além de contribuir para a preservação dos recursos hídricos e a melhoria da infraestrutura urbana.

No entanto, para que essa prática se torne mais acessível e amplamente adotada, é fundamental que políticas públicas de incentivo sejam implementadas, reduzindo os custos iniciais de instalação e promovendo a conscientização sobre os benefícios do reaproveitamento hídrico. A integração entre setor público e privado pode ser determinante para consolidar o uso da captação de águas pluviais como uma estratégia essencial para o desenvolvimento sustentável da região Norte e do Brasil como um todo.

6.7. Aspectos Sociais e Educacionais

A adoção de sistemas de captação de águas pluviais nas capitais da região Norte do Brasil representa não apenas uma solução técnica para mitigação da escassez hídrica, mas também um vetor de transformação social. A região enfrenta deficiências estruturais no acesso ao saneamento básico, como evidenciado nos estados do Pará e Amazonas, onde 7,026 milhões e 2,345 milhões de habitantes, respectivamente, ainda vivem sem acesso à coleta de esgoto.

Essa realidade impacta diretamente a saúde, a educação e a dignidade das populações afetadas (Trata Brasil, 2023). Diante disso, alternativas descentralizadas como o aproveitamento da água da chuva podem ser compreendidas como estratégias de enfrentamento às desigualdades socioambientais historicamente perpetuadas.

Nas periferias urbanas e em comunidades isoladas, onde a prestação de serviços públicos é limitada, a autonomia hídrica proporcionada pela captação pluvial pode representar uma melhoria concreta nas condições de vida. A vulnerabilidade social nessas áreas é agravada pelo impacto direto da precariedade sanitária, que se expressa em indicadores alarmantes.

Somente em 2024, mais de 340 mil internações no Brasil foram provocadas por doenças relacionadas à falta de saneamento (Agência Brasil, 2025). Essa realidade é ainda mais crítica no Norte, região que concentra os menores índices de cobertura de rede de esgoto do país (Trata Brasil, 2023).

Nesse cenário, pensar o acesso à água como direito humano torna-se fundamental. A captação de águas pluviais, mesmo que destinada a usos não potáveis, pode reduzir significativamente o contato com fontes contaminadas e contribuir para a prevenção de doenças de veiculação hídrica, especialmente entre crianças e gestantes — os grupos mais vulneráveis segundo o Instituto Trata Brasil (2024). Assim, trata-se de uma ferramenta que articula saúde, equidade e bem-estar, ampliando a resiliência comunitária frente às adversidades sanitárias e climáticas.

No campo educacional, a inserção de práticas sustentáveis no cotidiano — como o reuso da água da chuva — tem potencial para fortalecer processos de conscientização ambiental e cidadania. A educação ambiental traz consigo uma nova pedagogia que surge da necessidade de orientar a educação dentro do contexto social e na realidade ecológica e cultural onde se situam os sujeitos e atores do processo educativo (Silva; Almeida, 2017). Projetos escolares e comunitários voltados à gestão da água podem atuar como catalisadores de novos hábitos, tornando a sustentabilidade uma prática vivida e não apenas discursiva.

Outro ponto importante diz respeito à valorização do saber técnico e da formação profissional como meio de inclusão social. A ausência de mão de obra qualificada para a instalação e manutenção de sistemas de captação representa um gargalo para sua disseminação.

Nesse sentido, programas de capacitação voltados à população local podem cumprir dupla função: garantir a viabilidade técnica das instalações e gerar oportunidades de renda e emprego, conforme evidenciado no Programa Cisternas, que promove a formação de mão de obra local para a implementação de tecnologias sociais de acesso à água (Brasil, 2024). Além disso, é importante considerar que a apropriação comunitária dessas tecnologias depende da construção de vínculos de confiança, do diálogo com os saberes locais e da superação de estigmas culturais que associam a água da chuva à impureza ou à insegurança sanitária.

A sensibilização da população para os benefícios e limites da captação pluvial precisa ser construída a partir de ações integradas e contínuas, que respeitem os contextos sociais e territoriais (May, 2004). Portanto, os aspectos sociais e educacionais da captação de águas pluviais extrapolam o escopo técnico e assumem papel central na promoção da justiça hídrica.

Ao integrar saúde, educação, inclusão produtiva e valorização dos saberes locais, essa tecnologia pode ser um catalisador de transformações duradouras, contribuindo para a construção de cidades mais justas, saudáveis e ambientalmente responsáveis.

No próximo capítulo será apresentada a conclusão deste trabalho, com o fim de consolidar os resultados obtidos e refletir sobre suas implicações práticas e acadêmicas.

7. CONCLUSÃO

A análise realizada neste trabalho confirmou a viabilidade técnica e econômica da captação de águas pluviais para uso não potável nas capitais da região Norte do Brasil, mesmo com um reservatório de 5 m³. Os resultados do Método da Simulação demonstraram que o sistema foi capaz de atender até 94% da demanda anual em capitais com chuvas regulares, como Belém, e acima de 60% em cidades com distribuição mais irregular, como Palmas.

As curvas de permanência revelaram o padrão de frequência das chuvas em cada localidade. Capitais com maior constância pluviométrica apresentaram melhor desempenho na simulação, o que evidencia a importância de considerar a distribuição das chuvas no dimensionamento do sistema — e não apenas a média anual.

Além da redução significativa na demanda por água da rede pública, o sistema apresentou impacto na economia doméstica, com destaque para cidades onde as tarifas de água e esgoto são elevadas. Isso reforça que a viabilidade do sistema depende tanto do regime de chuvas quanto da realidade tarifária local.

Em síntese, a combinação entre a simulação hidrológica e a análise da permanência das chuvas auxilia no planejamento de sistemas de captação de águas pluviais. Os resultados demonstraram que esse tipo de solução deve ser considerado como parte importante para a segurança hídrica e o uso racional da água em todas as regiões brasileiras.

O presente trabalho, portanto, pôde chegar a uma conclusão sólida em relação ao problema de pesquisa e aos objetivos inicialmente propostos. A pesquisa foi orientada para compreender a viabilidade do aproveitamento de águas pluviais em residências padrão nas

capitais da região Norte, respondendo de forma afirmativa à possibilidade de reduzir a dependência da rede pública de abastecimento.

O problema foi respondido à medida que se comprovou, por meio da metodologia adotada, que o sistema é técnica e economicamente viável em diferentes contextos pluviométricos e tarifários. Os objetivos gerais e específicos também foram alcançados, evidenciados pela análise do consumo de água, das precipitações, das curvas de permanência, da economia potencial de recursos financeiros e da influência das tarifas públicas, fundamentados tanto no referencial teórico quanto na pesquisa aplicada.

A partir dos dados e análises deste estudo é esperado que possa contribuir para o desenvolvimento da agenda de pesquisas sobre o aproveitamento de águas pluviais em áreas urbanas, incentivando a formulação de políticas públicas mais integradas e estratégias de gestão hídrica adaptadas às especificidades regionais. A consolidação de sistemas descentralizados de captação representa, assim, não apenas uma solução técnica viável, mas uma resposta necessária às demandas de sustentabilidade, segurança hídrica e resiliência urbana no Brasil.

8. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. **Falta de saneamento provocou mais de 340 mil internações em 2024**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2025-03/falta-de-saneamento-provocou-mais-de-340-mil-internacoes-em-2024>. Acesso em: 08 abr. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Região hidrográfica amazônica**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 18 nov. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Usos da água**. Brasília: ANA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/ usos-da-agua>. Acesso em: 24 abr. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15527:2019: aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis**. Rio de Janeiro, 2019.
- BARROS, J. S.; SANTOS, L. D. J. C. M. D.; SILVA, M. F. L.; OLIVEIRA, M. D. J.; ARAÚJO, V. H. D. **Reuso de águas em residências: uma solução para o uso não potável e seus riscos**. In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Porto Alegre, 23 a 26 nov. 2015. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/VII-027.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.
- BRANDÃO, J. L. B.; MARCON, P. **Análise dos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais sugeridos pela NBR 15527/07 com base na simulação diária**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 6, p. 1031–1041, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/kCz967pDWf5YKpbKTZyBj5p/>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- BRASIL. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Previsão de riscos geo-hidrológicos**. 23 fev. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/riscos-geo-hidrologicos/23-02-2025-previsao-de-riscos-geo-hidrologicos>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- BRASIL. Lei nº 14.546, de 4 de abril de 2023. **Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para estabelecer medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas de chuva e de reuso não potável das águas cinzas**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 abr. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/114546.htm. Acesso em: 25 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome. **Água para colher futuro: 20 anos do Programa Cisternas**. Brasília: MDS, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mds/pt-br/acoes-e-programas/ acesso-a-alimentos-e-agua/programa-cisternas/cartilhas/livro_agua_para_colher_futuro_20_anos_do_programa_cisternas.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.

CALDAS, Iraneide Samira de Almeida; LIMA, Janaína Paolucci Sales de. **O saneamento básico na região Norte do Brasil: uma perspectiva do abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Revista Valore, Juiz de Fora, v. 10, n. 2, p. 1–18, 2025. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/1716/1289>. Acesso em: 25 abr. 2025.

CARTA AMAZÔNIA. **Região Norte enfrenta epidemia silenciosa por falta de saneamento básico**. Manaus, 2024. Disponível em: <https://cartaamazonia.com.br/regiao-norte-enfrenta-epidemia-silenciosa-por-falta-de-saneamento-basico>. Acesso em: 08 abr. 2025.

CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Climatologia de precipitação e temperatura**. São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>. Acesso em: 24 abr. 2025.

FRANCISCO, W. C. E. **A região Norte**. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/geografia/aregionorte.htm>. Acesso em: 30 nov. 2023.

GOEDERT, Matheus de Lima. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de águas pluviais em diferentes indústrias do oeste do Paraná**. 2012. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2012.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Certificação LEED**. São Paulo: GBC Brasil, 2025. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

INFOSANBAS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico**. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 14 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões de habitantes, aponta Censo 2022**. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/materias-especiais/21972-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes-de-habitantes-aponta-censo-2022.html>. Acesso em: 23 nov. 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **A vida sem saneamento: para quem falta e onde mora essa população**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/11/Estudo-ITB-A-vida-sem-saneamento-Para-quem-falta-e-onde-mora-essa-populacao-V.-2023-11-14.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Futuro em risco: os impactos da falta de saneamento para grávidas e crianças**. São Paulo, 2024. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/10/Release_Futuro-em-risco-os-impactos-da-falta-de-saneamento-para-gravidas-criancas-FINAL-1.pdf. Acesso em: 08 abr. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Painel saneamento Brasil: região Norte**. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/localidade/compare?id=1>. Acesso em: 30 nov. 2023.

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

MOURA, André Negrão de. **Recarga artificial de aquíferos: os desafios e riscos para garantir o suprimento futuro de água subterrânea**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: ABAS, 2004.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: ODS 6 – Água potável e saneamento**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 24 nov. 2023.

NASCIMENTO, T. C. **Avaliação da viabilidade técnica e econômica do sistema de aproveitamento de águas pluviais para uma residência padrão em diferentes capitais do nordeste e sudeste do Brasil**. 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais.

RIBEIRO, C. L. N. **Proposição de anteprojeto de aproveitamento de água de chuva drenadas por áreas de médio porte: estudo de caso no Instituto Federal de Sudeste de Minas Gerais – Campus de Juiz de Fora**. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais.

SELL, M. G. **Aproveitamento de águas pluviais: proposição de projeto e avaliação econômica preliminar para espaço educativo urbano**. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais.

SILVA, Alexandre Naildo da; ALMEIDA, Hermes Alves de. **Práticas de educação e gestão ambiental: uso e reúso da água na Escola Municipal José Caetano – Toritama/PE**. In: ENCONTRO NACIONAL DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA – ENID, 2017, Recife. Anais... Recife: Editora Realize, 2017. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/enid/2017/TRABALHO_EV100_MD1_SA5_ID243_22112017123841.pdf. Acesso em: 24 abr. 2025.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Painel de informações sobre saneamento**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>. Acesso em: 30 nov. 2023.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água da chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. 4. Ed. Guarulhos: Navegar, 2011.

TRATA BRASIL. **Região Norte do Brasil carece de investimentos em saneamento básico**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2020. Disponível em: [https://tratabrasil.org.br/regiao-norte-do-brasil-carece-de-investimentos-em-saneamento-basico/#:~:text=A%20regi%C3%A3o%20Norte%20do%20pa%C3%ADs,base%20do%20SNIS%20\(2019\)](https://tratabrasil.org.br/regiao-norte-do-brasil-carece-de-investimentos-em-saneamento-basico/#:~:text=A%20regi%C3%A3o%20Norte%20do%20pa%C3%ADs,base%20do%20SNIS%20(2019).). Acesso em: 30 nov. 2023.

WEIERBACHER, R. Estudo da captação e aproveitamento de água da chuva em uma indústria de móveis. In: MARINOSKI, D. L.; GHISI, E. Reaproveitamento de água pluvial: um estudo de caso. Revista Construindo, Belo Horizonte: FUMEC, v. 6, n. 1, p. 63–74, 2008.

9. APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO PARA AS CAPITAIS DA REGIÃO NORTE DE ACORDO COM O MÉTODO DA SIMULAÇÃO PREVISTO NA NBR 15527

O dimensionamento do reservatório para as capitais da região Norte foi realizado com base no Método da Simulação, conforme previsto pela NBR 15527/2019 e aplicado por Nascimento (2021). A simulação considerou uma demanda mensal constante de 14 m³, uma área de captação de 100 m² e um volume físico máximo de armazenamento de 5 m³.

Para a execução do cálculo, adotou-se a metodologia descrita por Nascimento (2021), na qual se analisa, mês a mês, o comportamento do reservatório ao longo de um período de um ano. Assume-se, como condição inicial, que o reservatório está completamente cheio no primeiro mês e que não há perdas por evaporação.

O volume de água aproveitável mensal é obtido multiplicando-se a precipitação média mensal da localidade pela área de captação, considerando uma eficiência média de coleta de 80%. A simulação verifica, para cada mês, se o volume disponível no reservatório é suficiente para suprir a demanda de 14 m³.

Quando o volume captado no mês, somado ao volume remanescente do mês anterior, supera a demanda, o excedente é armazenado para o mês seguinte, respeitando-se o limite físico do reservatório (5 m³). O volume que ultrapassa essa capacidade é contabilizado como transbordamento (*overflow*).

Por outro lado, se o volume acumulado for inferior à demanda, a diferença é considerada como necessidade de suprimento externo, indicando falha no sistema de abastecimento. Essa análise permite avaliar a adequação do volume de 5 m³ para o atendimento da demanda em diferentes contextos pluviométricos da região Norte, destacando os meses em que o sistema é autossuficiente e os períodos em que há necessidade de complementação por fontes externas.

Quadro 3 – Dimensionamento do reservatório para Belém (PA)

Dimensionamento do reservatório para Belém (PA)							
MÊS	Média de chuva no tempo t	Oferta de água de chuva aproveitável	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t-1	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t	Overflow	Suprimento externo	Economia
	P (mm)	V (m³)	S (t-1)	S (t)	(m³)	(m³)	(m³)
JAN	382,2	30,576	0	5	11,576	-	14
FEV	428,66	34,2928	5	5	20,2928	-	14
MAR	474,86	37,9888	5	5	23,9888	-	14
ABR	413,87	33,1096	5	5	19,1096	-	14
MAI	314,59	25,1672	5	5	11,1672	-	14
JUN	189,57	15,1656	5	5	1,1656	-	14
JUL	157,38	12,5904	5	3,5904	-	-	14
AGO	131,45	10,516	3,5904	0,1064	-	-	14
SET	132,63	10,6104	0,1064	0	-	3,2832	10,7168
OUT	127	10,16	0	0	-	3,84	10,16
NOV	138,58	11,0864	0	0	-	2,9136	11,0864
DEZ	254,33	20,3464	0	0	1,3464	-	14
Volume do reservatório adotado = 5m³				TOTAL	88,6464	10,0368	157,963

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Quadro 4 – Dimensionamento do reservatório para Boa Vista (RR)

Dimensionamento do reservatório para Boa Vista (RR)							
MÊS	Média de chuva no tempo t	Oferta de água de chuva aproveitável	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t-1	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t	Overflow	Suprimento externo	Economia
	P (mm)	V (m³)	S (t-1)	S (t)	(m³)	(m³)	(m³)
JAN	28,98	2,3184	0	5	-	11,6816	2,3184
FEV	27,51	2,2008	5	0	-	6,7992	7,2008
MAR	45,28	3,6224	0	0	-	10,3776	3,6224
ABR	148,15	11,852	0	0	-	2,148	11,852
MAI	309,61	24,7688	0	0	5,7688	-	14
JUN	320,35	25,628	0	0	6,628	-	14
JUL	295,46	23,6368	0	0	4,6368	-	14
AGO	206,73	16,5384	0	2,5384	-	-	14
SET	95,36	7,6288	2,5384	0	-	3,8328	10,1672
OUT	70,84	5,6672	0	0	-	8,3328	5,6672
NOV	67,23	5,3784	0	0	-	8,6216	5,3784
DEZ	55,59	4,4472	0	0	-	9,5528	4,4472
Volume do reservatório adotado = 5m³				TOTAL	17,0336	61,3464	106,654

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Quadro 5 – Dimensionamento do reservatório para Macapá (AP)

Dimensionamento do reservatório para Macapá (AP)							
MÊS	Média de chuva no tempo t	Oferta de água de chuva aproveitável	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t-1	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t	Overflow	Suprimento externo	Economia
	P (mm)	V (m³)	S (t-1)	S (t)	(m³)	(m³)	(m³)
JAN	280,15	22,412	0	5	3,412	-	14
FEV	358,57	28,6856	5	5	14,6856	-	14
MAR	403,99	32,3192	5	5	18,3192	-	14
ABR	378,91	30,3128	5	5	16,3128	-	14
MAI	328,26	26,2608	5	5	12,2608	-	14
JUN	234,48	18,7584	5	5	4,7584	-	14
JUL	188,41	15,0728	5	5	1,0728	-	14
AGO	96,53	7,7224	5	0	-	1,2776	12,7224
SET	33	2,64	0	0	-	11,36	2,64
OUT	29,22	2,3376	0	0	-	11,6624	2,3376
NOV	61,47	4,9176	0	0	-	9,0824	4,9176
DEZ	142,23	11,3784	0	0	-	2,6216	11,3784
Volume do reservatório adotado = 5m³				TOTAL	70,8216	36,004	131,996

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Quadro 6 – Dimensionamento do reservatório para Manaus (AM)

Dimensionamento do reservatório para Manaus (AM)							
MÊS	Média de chuva no tempo t	Oferta de água de chuva aproveitável	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t-1	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t	Overflow	Suprimento externo	Economia
	P (mm)	V (m³)	S (t-1)	S (t)	(m³)	(m³)	(m³)
JAN	282,87	22,6296	0	5	3,6296	-	14
FEV	291,97	23,3576	5	5	9,3576	-	14
MAR	339,35	27,148	5	5	13,148	-	14
ABR	319,46	25,5568	5	5	11,5568	-	14
MAI	242,7	19,416	5	5	5,416	-	14
JUN	115,79	9,2632	5	0,2632	-	-	14
JUL	75,96	6,0768	0,2632	0	-	7,66	6,34
AGO	54,24	4,3392	0	0	-	9,6608	4,3392
SET	75,87	6,0696	0	0	-	7,9304	6,0696
OUT	116,21	9,2968	0	0	-	4,7032	9,2968
NOV	182,06	14,5648	0	0,5648	-	-	14
DEZ	243,8	19,504	0,5648	0,5648	1,0688	-	14
Volume do reservatório adotado = 5m³				TOTAL	44,1768	29,9544	138,046

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Quadro 7 – Dimensionamento do reservatório para Palmas (TO)

Dimensionamento do reservatório para Palmas (TO)							
MÊS	Média de chuva no tempo t	Oferta de água de chuva aproveitável	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t-1	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t	Overflow	Suprimento externo	Economia
	P (mm)	V (m³)	S (t-1)	S (t)	(m³)	(m³)	(m³)
JAN	297,26	23,7808	0	5	4,7808	-	14
FEV	269,04	21,5232	5	5	7,5232	-	14
MAR	277,31	22,1848	5	5	8,1848	-	14
ABR	176,95	14,156	5	5	0,156	-	14
MAI	56,53	4,5224	5	0	-	4,4776	9,5224
JUN	5,68	0,4544	0	0	-	13,5456	0,4544
JUL	0,78	0,0624	0	0	-	13,9376	0,0624
AGO	2,09	0,1672	0	0	-	13,8328	0,1672
SET	42,73	3,4184	0	0	-	10,5816	3,4184
OUT	138,4	11,072	0	0	-	2,928	11,072
NOV	229,46	18,3568	0	4,3568	-	-	14
DEZ	269,01	21,5208	4,3568	4,3568	6,8776	-	14
Volume do reservatório adotado = 5m³				TOTAL	27,5224	59,3032	108,697

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Quadro 8 – Dimensionamento do reservatório para Porto Velho (RO)

Dimensionamento do reservatório para Porto Velho (RO)							
MÊS	Média de chuva no tempo t	Oferta de água de chuva aproveitável	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t-1	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t	Overflow	Suprimento externo	Economia
	P (mm)	V (m³)	S (t-1)	S (t)	(m³)	(m³)	(m³)
JAN	312,91	25,0328	0	5	6,0328	-	14
FEV	310,76	24,8608	5	5	10,8608	-	14
MAR	272,47	21,7976	5	5	7,7976	-	14
ABR	222,12	17,7696	5	5	3,7696	-	14
MAI	117,3	9,384	5	0,384	-	-	14
JUN	38,3	3,064	0,384	0	-	10,552	3,448
JUL	28,54	2,2832	0	0	-	11,7168	2,2832
AGO	43,84	3,5072	0	0	-	10,4928	3,5072
SET	108,58	8,6864	0	0	-	5,3136	8,6864
OUT	184,06	14,7248	0	0,7248	-	-	14
NOV	219,13	17,5304	0,7248	4,2552	-	-	14
DEZ	313,25	25,06	4,2552	4,2552	10,3152	-	14
Volume do reservatório adotado = 5m³				TOTAL	38,776	38,0752	129,925

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Quadro 9 – Dimensionamento do reservatório para Rio Branco (AC)

Dimensionamento do reservatório para Rio Branco (AC)							
MÊS	Média de chuva no tempo t	Oferta de água de chuva aproveitável	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t-1	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo t	Overflow	Suprimento externo	Economia
	P (mm)	V (m³)	S (t-1)	S (t)	(m³)	(m³)	(m³)
JAN	285,95	22,876	0	5	3,876	-	14
FEV	293,98	23,5184	5	5	9,5184	-	14
MAR	269,42	21,5536	5	5	7,5536	-	14
ABR	198,51	15,8808	5	5	1,8808	-	14
MAI	95,18	7,6144	5	0	-	1,3856	12,6144
JUN	39,55	3,164	0	0	-	10,836	3,164
JUL	31,8	2,544	0	0	-	11,456	2,544
AGO	48,14	3,8512	0	0	-	10,1488	3,8512
SET	89,15	7,132	0	0	-	6,868	7,132
OUT	154,47	12,3576	0	0	-	1,6424	12,3576
NOV	209,91	16,7928	0	2,7928	-	-	14
DEZ	266,83	21,3464	2,7928	2,7928	5,1392	-	14
Volume do reservatório adotado = 5m³				TOTAL	27,968	42,3368	125,663

Fonte: Elaborado pela autora (2025).