



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

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA
DE CHUVA PARA EDIFICAÇÕES VERTICAIS DO TIPO RESIDENCIAL NA
CIDADE DE JOÃO PESSOA-PB**

BYANCA EVELLY DOS SANTOS MARTINS

João Pessoa – PB
2020

BYANCA EVELLY DOS SANTOS MARTINS

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA
DE CHUVA PARA EDIFICAÇÕES VERTICAIS DO TIPO RESIDENCIAL NA
CIDADE DE JOÃO PESSOA-PB**

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

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde
Júnior

A553a Martins, Byanca Evely dos Santos.

Análise da viabilidade econômica do aproveitamento de água de chuva para edificações verticais do tipo residencial na cidade de João Pessoa-PB. / Byanca Evely dos Santos Martins. – João Pessoa, 2020.

60f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Junior. TCC (Graduação) – UFPB / Centro de Tecnologia

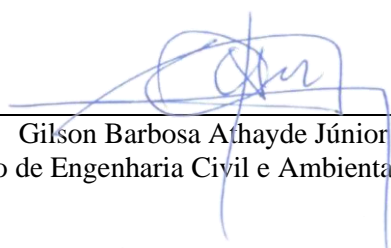



Sistemas de Aproveitamento de água da chuva 2. Análise econômica 3. Valor presente líquido 4. Relação benefício-custo I. Athayde Junior, Gilson Barbosa. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

BYANCA EVELLY DOS SANTOS MARTINS

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA EDIFICAÇÕES VERTICAIS DO TIPO RESIDENCIAL NA CIDADE DE JOÃO PESSOA-PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 09/12/2020 perante a seguinte Comissão Julgadora:

 _____ Gilson Barbosa Athayde Júnior Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	_____ Aprovado
 _____ Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	_____ Aprovado
 _____ Leonardo Vieira Soares Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	_____ Aprovado
 _____ Prof.ª Andrea Brasiliano Silva Matrícula Siape: 1549557 Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil	

Dedico à minha avó Edite dos Santos Silva, que, com muito carinho e apoio, nunca mediu esforços para que eu alcançasse esse objetivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela sua misericórdia na minha vida, sem ele nada seria possível.

Sou grata à minha família pelo apoio constante e motivação nas horas de dificuldade.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Gilson B Athayde Jr por aceitar conduzir o meu trabalho de conclusão de curso, com toda sua paciência e eficiência durante todo o processo.

Agradeço à Universidade Federal da Paraíba e todo corpo docente.

Aos meus amigos e amigas pelo incentivo e ajuda durante toda a minha graduação, em especial, Reginaldo Júnior, João Sérgio, Gracielle Souza, Laíssa Félix, Thales Machado e Marília Henriques.

À Macgyver Gouveia, o meu primeiro companheiro de estudo na minha trajetória pela Universidade Federal da Paraíba.

Agradeço a Lenore Menezes, por fornecer todas as informações necessárias que possibilitaram o andamento do meu trabalho.

Agradeço a Cindy Deina, pelo apoio, ajuda e boa vontade em mostrar caminhos para facilitar a elaboração desse trabalho.

Aos professores Leonardo Soares e Ana Cláudia Fernandes, por aceitarem fazer parte da banca examinadora.

RESUMO

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial surgem como medidas que visam à conservação e redução de desperdícios da água e representam uma das alternativas contemporâneas de maior destaque no que se refere à sustentabilidade hídrica em áreas urbanas. Esses sistemas de captação de água da chuva possibilitam a redução do consumo de água potável, poupando-se a utilização de uma água de boa qualidade que passou por diversos processos para chegar à potabilidade, proporcionam a minimização de enchentes/alagamentos em áreas urbanas e é uma alternativa que pode ser mais barata que a água de abastecimento, uma vez que não requerem tecnologias avançadas para sua implementação e operação. Dessa maneira, o objetivo geral desse trabalho foi analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de aproveitamento da água de chuva para atender a usos não potáveis em edificações verticais do tipo residencial na cidade de João Pessoa-PB. A análise compreendeu em avaliar a possibilidade de uso da água captada pelo sistema para uso em descargas de bacias sanitárias. Partindo das características do empreendimento base, foram criadas algumas hipóteses para posterior análise de cenários diversos, bem como análise da viabilidade econômica correspondente a cada cenário. A primeira hipótese considerou a variação no número de pavimentos, variando de 5 a 30. A segunda hipótese considerou a variação no volume do reservatório. Os volumes considerados e testados foram 15m³, 25m³, 45m³ e 65m³. Dessa forma, foram criados 104 cenários, além dos reservatórios dimensionados pelo método de Rippl. Foram coletados dados dos consumos de água não potável da empresa e da disponibilidade pluviométrica da cidade de João Pessoa no intuito de descrever o balanço de volumétrico dos reservatórios determinantes no cálculo dos volumes aproveitados de cada sistema. O levantamento de disponibilidade e demanda de água, dos volumes aproveitados, custos de construção, implantação e manutenção foram necessários para o cálculo dos indicadores econômicos: valor presente líquido (VPL), relação benefício-custo (B/C) e período de retorno ao longo dos 30 anos de vida útil do projeto. Na análise financeira, considerou-se uma taxa de juros média de 6,42%, baseada na variação da taxa Selic nos últimos 3 anos. No panorama geral dos diferentes cenários analisados, 79,8% dos cenários apresentam B/C maior que 1. Restringindo essa análise para o reservatório de 15m³, o que apresentou maior atratividade econômica, 92,31% dos cenários apresentaram B/C maior que 1. Em contrapartida, o reservatório de 65m³ apresentou 65,38% dos valores do B/C maior que 1. O melhor desempenho atingido foi para o cenário de 21 pavimentos e reservatório de 15m³, com o B/C de 1,96, VPL de R\$ 24.446,92 e período de retorno em 9,3 anos.

Palavras-chave: Sistemas de aproveitamento de água da chuva. Análise Econômica. Valor Presente Líquido. Relação benefício-custo.

ABSTRACT

The systems for the use of rainwater emerge as measures aimed at the conservation and reduction of water waste and represent one of the most prominent contemporary alternatives with regard to water sustainability in urban areas. These rainwater catchment systems make it possible to reduce the consumption of drinking water, saving the use of good quality water that has undergone several processes to reach potability, provide the minimization of floods in urban areas and is an alternative that can be cheaper than the water supply, since do not require advanced technologies for its implementation and operation. Thus, the general objective of this work was analyzed the economic feasibility of implementing a system to use rainwater to meet non-potable uses in vertical residential buildings in the city of João Pessoa-PB. The analysis included assessing the possibility of using the water collected by the system for use in flushing sanitary basins. Based on the characteristics of the base enterprise, some hypotheses were created for further analysis of different scenarios, as well as an analysis of the economic viability corresponding to each scenario. The first hypothesis considers a variation in the number of floors, ranging from 5 to 30. The second hypothesis considers a variation in the volume of the reservoir. The volumes considered and tested were 15m³, 25m³, 45m³ and 65m³, thus, 104 scenarios were created, in addition to the reservoirs dimensioned by the Rippl method. Were collected data on the consumption of non-potable water by the company and the rainfall in the city of João Pessoa in order to describe the volumetric balance of the reservoirs that determine the calculation of the volumes used in each system. The survey of water supply and demand, volumes used, construction costs, implementation and maintenance were necessary for the calculation of economic indicators: net present value (NPV), benefit-cost ratio (B/C) and return period to over the 30 years of the project's useful life. In the financial analysis, an average interest rate of 6.42% was considered, based on the Selic rate. In the general panorama of the different scenarios analyzed, 79.8% of the scenarios have B/C greater than 1 and 20.2% less than 1. Restricting this analysis to the 15m³ reservoir, 92.31% of the scenarios presented B / C greater than 1, in contrast, the 65m³ reservoir presented 65.38% of the B / C values greater than 1. The best performance achieved was for the scenario of 21 floors and a 15m³ reservoir, with a B / C of 1.96, NPV of R \$ 24.446,92 and payback period of 9,3 years.

Keywords: Rainwater harvesting systems. Economic analysis. Net present value. Cost-benefit ratio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do empreendimento.	29
Figura 2 - Planta baixa do pavimento tipo.	30
Figura 3 - Planta baixa do pavimento térreo.	31
Figura 4 - Planta da cobertura.....	32
Figura 5 - hipóteses e cenários	33
Figura 6 -Localização do posto pluviométrico.....	34
Figura 7 - Área de captação.....	35
Figura 8 - Fluxograma dos processos metodológicos.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Viabilidade econômica na implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva de diversos tipos de edificações e em diferentes localidades do Mundo.....	20
Tabela 2 - Viabilidade econômica na implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva de diversos tipos de edificações e em diferentes localidades do Brasil.....	24
Tabela 3 - Coeficiente De Runoff.....	36
Tabela 4 - Precipitação média na localidade e disponibilidade pluviométrica mensal.	43
Tabela 5 - Consumo médio mensal de água não potável.....	44
Tabela 6 - Balanço mensal de volumes para o cenário de 5 pavimentos e reservatório de 15m ³	45
Tabela 7 - Panorama anual do aproveitamento de água de chuva.....	45
Tabela 8 - Orçamento para execução do filtro de areia.....	49
Tabela 9 - Orçamento para execução do sistema de reservação para o cenário de 5 pavimentos e reservatório de 15m ³	50
Tabela 10 - Custo do sistema de reservação para cada cenário.....	50
Tabela 11 - Custo do sistema distribuição para o cenário de 5 pavimentos.....	51
Tabela 12 - Custo do sistema distribuição para cada cenário.....	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Médias pluviométricas mensais.	35
Gráfico 2 - Série histórica da taxa Selic.	41
Gráfico 3 - VPL por pavimento	53
Gráfico 4 - B/C por pavimento.	53
Gráfico 5 - TRC por pavimento.....	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Sistemas de Captação de Água da Chuva no Mundo	18
3.2 Sistemas de Captação de Água da Chuva no Brasil	23
4 METODOLOGIA	29
4.1 Caracterização do Empreendimento	29
4.2 Cenários Hipotéticos	33
4.3 Disponibilidade Pluviométrica	33
4.4 Consumo de Água para Fins não Potáveis	36
4.5 Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva	37
4.5.1 Dimensionamento do reservatório de armazenamento de água da chuva	37
4.5.2 Tratamento	38
4.5.3 Cálculo da potência do Conjunto Motor-bomba	38
4.6 Análise Econômica	39
4.6.1 Custo de investimento direto	39
4.6.2 Custo de investimento indireto	40
4.6.3 Custo de exploração	41
4.6.4 Benefício econômico	41
4.7 Fluxograma dos processos metodológicos	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Disponibilidade Pluviométrica	43
5.2 Consumo de Água para fins não potáveis	44
5.3 Reservatórios	44
5.4 Tratamento	48
5.5 Cálculo da Potência do Conjunto Motor-Bomba	48
5.6 Benefício e Custo	48
5.6.1 Custo de investimento direto	48
5.6.1.1 Filtro de areia	48
5.6.1.2 Reservatórios	49
5.6.2 Benefício para o consumidor	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES	56

REFERÊNCIAS	57
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento da demanda por água, principalmente dos setores industrial, doméstico e comercial, bem como em sistemas de geração de energia elétrica, a demanda mundial por esse recurso tem uma estimativa de aumento em 55% até 2050, segundo o Relatório de Desenvolvimento Mundial da Água (WWAP, 2015). Além disso, as mudanças climáticas, a urbanização e a ausência de uma gestão hídrica adequada, aliadas ao uso não consciente da água, podem afetar o equilíbrio entre a oferta e a demanda de água potável, comprometendo assim, a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade suficientes para as gerações presentes e futuras (JIMÉNEZ CISNEROS et al., 2014).

Dados do Relatório da Organização Mundial da Saúde estimam que uma em cada 10 pessoas (aproximadamente 785 milhões) não têm acesso à água potável e que se nada for feito até 2030, no sentido de preservar a água para fins mais nobres, o planeta vai sofrer com a falta d'água (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019).

Até mesmo no Brasil, país com grande oferta de água doce, os sinais da falta de acesso à água são evidentes nas regiões Norte e Nordeste. De acordo com o Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento (SNIS), o índice total da população atendida com água é cerca 169,1 milhões, deste a região Norte se destaca com menor índice de atendimento entorno de 57,1%, seguidos da região Nordeste com 74,2%, logo após vem a região Centro-Oeste com 89%, e as regiões Sul com 90,2% e Sudeste com 91% se destacam com os maiores índices de abastecimento (SNIS, 2018).

Estes diferentes índices de abastecimento de água ocorrem devido alguns fatores. O principal se dá pela distribuição dos recursos hídricos que não ocorre de forma regular no território nacional, no qual as maiores reservas se encontram na região Norte do país com cerca de 80% e tem apenas 5% da população nacional. Em contrapartida, as regiões Sul e Sudeste do país possuem 45% da população e apenas 3% dos recursos hídricos do país (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).

Além disso, cabe destacar nas regiões Norte e Nordeste as causas da falta de água são distintas: enquanto a primeira carece de infraestrutura em relação aos sistemas de abastecimento de água, na segunda o problema é a baixa disponibilidade hídrica, sendo essa região conhecida por seus longos períodos de seca (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).

Diante dessa problemática da disponibilidade hídrica, aliada a dificuldade de se encontrar novas reservas, preocupações com o gerenciamento do uso da água ganham destaque e impulsionam pesquisas a buscarem fontes alternativas de captação deste recurso.

Inseridos nesse contexto, os sistemas de aproveitamento de água pluvial surgem como medidas que visam à conservação e redução de desperdícios da água e representam uma das alternativas contemporâneas de maior destaque no que se refere à sustentabilidade hídrica em áreas urbanas (MATOS et al., 2013; ZHANG; HU, 2014).

Esses sistemas de captação de água da chuva possibilitam a redução do consumo de água potável, poupando-se a utilização de uma água de boa qualidade que passou por diversos processos para chegar à potabilidade, proporcionam a minimização de enchentes/alagamentos em áreas urbanas (SALLA et al., 2013; KUCHINSKI; GASTALDINI, 2017; MOURA et al., 2018) e são uma das alternativas mais baratas, uma vez que não requerem tecnologias avançadas para sua implementação e operação (MOHAMMED et al., 2007).

De acordo com Maia et al. (2011), o uso das águas pluviais no meio urbano viabiliza a economia da água tratada proveniente do sistema convencional de abastecimento de água, uma vez que uma parcela da demanda de água doméstica, comercial, pública, ou mesmo de uso industrial, pode ser suprida por esse sistema.

A prática de captação de água da chuva, recentemente, tem sido usada em países com climas úmidos, principalmente com o interesse em aumentar as práticas de construção sustentável que apoiam o uso inteligente da água, especialmente para fins não potáveis (CARDOSO et al. 2020). São exemplos de países que têm financiamento para a construção de sistemas de captação de águas pluviais a Austrália, África do Sul, Estados Unidos, Itália, Espanha e Portugal (DOMÈNECH; SAURÍ, 2011; WARD et al., 2012a, 2012b; THOMAS et al., 2014; HAJANI; RAHMAN, 2014; SILVA et al., 2015; GHIMIRE et al., 2019).

No Brasil, embora a iniciativa de instalação desses sistemas não seja comumente praticada em edifícios públicos, comerciais e residenciais, o uso de a água da chuva já foi incorporado como um dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, pela Lei 13.501 de 2017 (BRASIL, 2017). Infelizmente, a percepção dos benefícios do uso de águas pluviais em edificações no Brasil é pequena, pois as leis e incentivos são ainda recentes e insuficientes. De acordo com Pacheco et al., (2017), dos 26 estados e do Distrito Federal, apenas 7 estados possuem legislação para o uso da água da chuva, o que representa 26%. Das 26 capitais, 16 possuem legislação referente a sistemas de captação de águas pluviais, o que corresponde a 62%, contudo, a eficácia da aplicação da legislação é questionável devido à falta de políticas de incentivo.

Como a iniciativa do governo é recente, as ações e implementações de estudos relacionados a essa temática ainda são incipientes, tornando este trabalho relevante e atual. Além disso, visto que a partir do século XXI ocorreu um aumento considerável na produção de edificações verticais para moradias, devido principalmente a diminuição de terrenos disponíveis nos centros urbanos, justifica-se a realização desse estudo como forma incentivar o uso de sistemas de captação de água de chuva no contexto de edifícios residenciais verticais, como parte integrante da gestão sustentável da água, além de apresentar dados de dimensionamento, que podem servir como parâmetro de referência para a legislações que se referem ao uso da água da chuva, visto que não existem muitos trabalhos que abordam instalação de sistemas de captação de água de chuva em edificações verticais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de aproveitamento da água de chuva para atender a usos não potáveis em edificações verticais do tipo residencial na cidade de João Pessoa-PB.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar uma análise econômica utilizando as principais ferramentas de tomada de decisão para análise de investimento: valor presente líquido, relação benefício-custo (B/C) e tempo de retorno capital (TRC);
- Analisar a influência da variação no número de pavimentos nos indicadores financeiros: valor presente líquido, relação benefício-custo (B/C) e tempo de retorno capital (TRC);
- Analisar a influência da variação no volume de armazenamento de água de aproveitamento nos indicadores financeiros: valor presente líquido, relação benefício-custo (B/C) e tempo de retorno capital (TRC).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vários trabalhos desenvolvidos estimam a economia de água potável que um sistema de aproveitamento de água de chuva pode promover. De acordo com as referências relativas ao assunto, serão abordados nas próximas seções tópicos relativos ao sistema de aproveitamento de água de chuva, bem como os aspectos técnicos necessários à sua implantação.

3.1 Sistemas de Captação de Água da Chuva no Mundo

A prática do aproveitamento da água da chuva é muito difundida em países desenvolvidos, a fim de atenuar os problemas de disponibilidade de água potável, inclusive, instituídas por leis. Na China (JING et al., 2017), Espanha (FARRENY et al., 2011) e Portugal (SILVA et al., 2015) são exemplos de nações que utilizam a água pluvial em diversas aplicações: desde os fins menos nobres, em serviços de lavagens e rega de jardins, até para fins mais nobres, como para consumo.

A Tabela 2 traz informações sobre a viabilidade econômica na implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva de diversos tipos de edificações e em diferentes localidades do mundo.

Na china, Jing et al. (2017) avaliaram eficiência de economia de água e viabilidade econômica de sistemas de coleta de água da chuva em oito cidades em quatro zonas climáticas. Três cenários de demanda de água não potável foram considerados (descarga do banheiro, irrigação do gramado e uma combinação dos dois cenários). Em quase todos os casos (diferentes cenários de demanda de água e capacidades de armazenamento) em regiões áridas e semiáridas, a relação benefício-custo foi inferior a 1,0. Ou seja, os sistemas se mostraram economicamente inviáveis nessas regiões. Contudo, para regiões úmidas em cenários de maior demanda, a relação benefício-custo se mostrou superior a 1, atingindo até 2,52 para reservatórios de 10 m³. Os autores demonstraram que a economia de água e os benefícios fornecidos pelos sistemas são limitados pelas condições de seca relativa, como resultado, as relações benefício-custo irão inevitavelmente diminuir com a capacidade de armazenamento.

Alam et al. (2011) observou que a água coletada pelo sistema de aproveitamento de água da chuva é quase três vezes mais barata que o de sistema de abastecimento de água

convencional e quase 4,5 vezes mais barata do que o abastecimento de água privado nos seus estudos. Os autores concluíram que o uso planejado de água da chuva por meio das captações do telhado pode atender toda a demanda anual de água doméstica de uma família nas áreas rurais de Bangladesh.

Bashar et al. (2018) menciona que em Bangladesh, para lidar com a grave escassez de água nas principais cidades, o governo tornou obrigatório instalar um sistema de captação de água da chuva em todos os novos edifícios propostos. De acordo com Relatório WWAP (2015), a sustentabilidade em países emergentes localizados na Ásia, África e América do Sul está intimamente ligada ao progresso no acesso a água potável e saneamento.

Na Malásia, Lani et al. (2018) observaram que os tamanhos ideais de tanques para os edifícios comerciais pequenos e grandes foram 600 m³ e 1600 m³, respectivamente. Para três diferentes níveis tarifários (RM3,0 / m³, RM4,0 / m³ e RM4,7 / m³), os períodos de retorno em torno dos tamanhos de tanque ideais (400 m³ a 800 m³ e 1400 m³ a 1800 m³ para edifícios pequenos e grandes, respectivamente) variaram de 6,0 a 10,5 anos e 3,0 a 4,5 anos, e os VPL variaram de 0,05 milhões a 1,27 milhões e 1,1 milhões - 8,3 milhões, respectivamente. Este estudo sugeriu que o sistema de captação em maior escala resultou em melhor VPL, B/C e período de retorno em comparação com o sistema pequeno, confirmando assim a maior viabilidade econômica para o sistema maior.

Em Stec e Zelenáková (2019), uma análise da eficácia dos sistemas de captação de água da chuva para utilização em descargas de banheiros foi realizada em instalações acadêmicas existentes localizadas na Polônia e na Eslováquia. Os testes levaram em consideração os diferentes volumes dos tanques de armazenamento que coletam a água da chuva e com base no VPL e no período de retorno, a viabilidade econômica destes sistemas foi avaliada. Os resultados obtidos mostraram claramente que a implementação do sistema no dormitório em Rzeszów não era lucrativo para todas as capacidades do tanque testadas e o período de retorno excedeu significativamente o período de 30 anos aceito para a análise. Resultados diferentes foram obtidos para o sistema em um dormitório localizado na cidade de Košice, para os quais o VPL e o período de retorno foram muito favoráveis.

Tabela 1 - Viabilidade econômica na implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva de diversos tipos de edificações e em diferentes localidades do Mundo.

Referência	Localidade	Uso da água	Método	Tipo de edificação	TX água	TX Esgoto	Hab .	(mm)/ano	D total	C/ hab. dia	A cap. m ²	Vol. do R	Valor investido	Vida Útil	Tempo de retorno	B/C	VPL
SILVA et al. (2015)	Porto - Portugal	Não potáveis	Simulação de reservatório	Unifamiliar	€ 0,992	€ 0,391	3	≅ 1200	-	59 l/hab. dia	131,4	1 m ³	€ 820	20 anos	15,5 anos	-	-
SILVA et al. (2015)	Alameda - Portugal	Não potáveis	Simulação de reservatório	Unifamiliar	€ 0,910	€ 1,180	3	≅ 800	-	59 l/hab. dia	131,4	1 m ³	€ 820	20 anos	14,1 anos	-	-
JING et al. (2017)	Xangai - China	Não potáveis	Método do balanço hídrico	Multifamiliar	RMB 3,30	-	100	1110	-	-	100	5-100 m ³	Não específico	30 anos	-	1,03 - 2,52	-
	Pequim - China	Não potáveis	Método do balanço hídrico	Multifamiliar	RMB 6,00	-	100	584	-	-	100	5-100 m ³	Não específico	30 anos	-	0,56 - 1,39	-
	Xining - China	Não potáveis	Método do balanço hídrico	Multifamiliar	RMB 2,90	-	100	387	-	-	100	5-100 m ³	Não específico	30 anos	-	0,33 - 1,3	-
	Kaxgar - China	Não potáveis	Método do balanço hídrico	Multifamiliar	RMB 1,40	-	100	62	-	-	100	5-100 m ³	Não específico	30 anos	-	0,04 - 0,2	-
ZHANG et al. (2015)	Austrália	Não potáveis	-	Multifamiliar	U\$ 2,76 – 5,22	-	-	826	-	-	125 - 250	2,5 m ³	U\$ 2.109	15 anos	-	-	-
ALAM et al. (2012)	Bangladesh	Potável	-	Unifamiliar	-	-	5	-	-	51 l/hab. dia	11	2 m ³	Tk. 8.800	15 anos	-	-	-
FARRENY et al. (2011)	Espanha	Não potáveis	Método do balanço hídrico	Multifamiliar	€ 4	-	-	650	143 m ³ /ano	-	125	6 m ³	€ 6.505	30 anos	-	-	€ -3.192

FARRENY et al. (2011)	Espanha	Não potáveis	Método do balanço hídrico	Multifamiliar	€ 4	-	-	650	8.030 m ³ /ano	-	5.375	275 m ³	€ 361.352	30 anos	27 anos	-	€ 447,599
LANI et al. (2018)	Malásia	Não Potáveis	Balanço de massas	Edifício comercial	RM 3,00-4,70	-	-	11,8 mm/dia	535,7 m ³ /dia	-	95.760	1400 - 1800 m ³	RM 1.075.049 - 1.275.049	30 anos	3 - 4,5 anos	-	RM 1,1 milhões - 8,3 milhões
LANI et al. (2018)	Malásia	Não Potáveis	Balanço de Massas	Edifício comercial	RM 3,00-4,70	-	-	11,8 mm/dia	213,9 m ³ /dia	-	16.506	400 - 800 m ³	RM 440.750 - 640.750	30 anos	6 - 10,5 anos	-	RM 0,05 milhões - 1,27 milhões
STEC; ZELENÁKO VÁ (2019)	Polónia	Não Potáveis	Método do balanço hídrico	Universidade Rzeszów	€ 1,076	€ 0,981	600	695,4	21 m ³ /dia	-	2450	90 m ³	€ 71.000	30 anos	-	-	€ - 11.797
STEC; ZELENÁKO VÁ (2019)	Eslováquia	Não Potáveis	Método do balanço hídrico	Universidade Técnica de Košice	€ 1,603	€ 1,184	600	640,1	21 m ³ /dia	-	4900	100 m ³	€ 76.000	30 anos	20,27 anos	-	€ 21.234
WARD et al. (2012)	Reino Unido	Não potáveis	-	Edifício comercial	£ 1,57 -1,69	£ 2,42 - 2,58	111	807	1,72 m ³ /dia	-	1500	25 m ³	£ 16.050	25 anos	11 anos	-	-

Fonte: Autora.

Em Portugal, a viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais foi semelhante entre os dois locais, Porto e Almada, com períodos de retorno de 14,1 e 15,5 anos, respectivamente, apesar das precipitações anuais e das taxas de água e esgoto serem diferentes nos dois locais (SILVA et al. 2015).

Amos et al. (2016), em um estudo de revisão bibliográfica, menciona que sistemas de aproveitamento de águas pluviais podem economizar uma grande quantidade de água de qualidade relativamente alta a um custo razoável. O fator dominante na avaliação do benefício econômico desse tipo de sistema é o preço da água economizada. Isso depende em grande parte das previsões futuras do preço da água, que devem aumentar substancialmente no futuro, e da modelagem precisa do sistema. O preço da água mais alto, taxas de juros mais baixas, maior precipitação e dimensionamento adequado do reservatório em relação ao perfil de demanda contribuem para fazer sistemas de aproveitamento de águas pluviais economicamente favoráveis.

Amos et al. (2016) constatou que a maioria das pesquisas na Austrália, incluindo Zhang et al. (2015) (Tabela 2) e em outros países com economias fortes demonstraram que a água dos sistemas de aproveitamento de água da chuva é geralmente mais cara do que água da torneira ao preço atual. Os estudos apresentados na revisão bibliográfica sobre os aspectos financeiros dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais, frequentemente apresentavam conflitos nos resultados. A representação incorreta dos custos operacionais dos sistemas, em particular, levou a essas conclusões em muitos casos. Tendo em vista os resultados variáveis e conflitantes, os autores destacam que há necessidade de padronização dos métodos de análise econômica para sistemas de aproveitamento de água da chuva.

No Reino Unido, Ward et al. (2012) constataram que a economia de custos estimada resultou em períodos de retorno de capital de 11 anos. No entanto, mais dados detalhados sobre os custos de manutenção são necessários para realizar a análise mais completa sobre a viabilidade econômica, uma vez que os autores só consideraram os custos de instalação. Estes resultados indicam que os sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios comerciais oferecem potencialmente água não potável e economia de custos.

Na Espanha, Farreny et al. (2011) destacam que a decisão de inviabilizar a implantação de um sistema de captação de água da chuva não deve ser baseada apenas em critérios econômicos, pois é necessário levar em conta a escassez de recursos hídricos, juntamente com o esperado aumento da demanda de água. Mesmo em áreas densas como o bairro do estudo de caso, a implantação desse sistema poderia satisfazer entre 35,7 e 43,9% da demanda de água da lavanderia, o que representa cerca de 6–7% de a demanda total de água

doméstica. Isso seria o suficiente para adiar a necessidade de novas infraestruturas de abastecimento para satisfazer o crescimento da demanda de água.

3.2 Sistemas de Captação de Água da Chuva no Brasil

A Tabela 1 expõe informações sobre a viabilidade econômica na implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva de diversos tipos de edificações e em diferentes localidades do Brasil. Além de estudos sobre edifícios residenciais, também foram encontrados estudos que analisaram a viabilidade econômica da instalação de sistemas de captação de águas pluviais em edifícios comerciais e públicos.

Dos 19 sistemas de aproveitamento de águas pluviais apresentados na Tabela 1, 12 sistemas, ou 63% do total, apresentaram viabilidade econômica com a sua implantação (ATHAYDE JÚNIOR et al., 2008; PÊGO; ERTHAL JUNIOR, 2012; MELLO et al., 2014; MARQUES et al., 2014; FONSECA et al., 2016; MORAIS, 2017; MOURA et al., 2018; FUGI, 2019; ANDRADE et al., 2019; CARDOSO et al., 2020), com valores presentes líquidos (VPL) variando de R\$ 491,15 até R\$ 274.701,45 e tempo de retorno variando de 1,25 até 10 anos.

Contudo, dos 19 sistemas, 7, ou 37%, não se mostraram viáveis economicamente (ATHAYDE JÚNIOR et al., 2008; PÊGO; ERTHAL JUNIOR, 2012; ANDRADE et al., 2019; CARDOSO et al., 2020; MALTZAHN, 2010).

Fonseca et al. (2016) analisaram a viabilidade econômica da instalação de um sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em uma residência unifamiliar no município de Itajubá-MG. Considerou-se nesse estudo uma população variando de 1 a 5 habitantes, área de cobertura de 80 m² a 200 m² e uma média histórica anual de 1.421,23 mm de chuva. Utilizando do método de Rippl, obteve-se diversos tamanhos de reservatórios para as diferentes situações, que variaram de 2,02 m³ à 41,98 m³. A situação de maior viabilidade econômica foi para 4 habitantes e área de cobertura de 200 m², com tempo de retorno de 43,67 meses (3,64 anos). Para esse estudo, a residência com 1 ou 2 habitantes não apresentou benefícios econômicos para nenhum dos tamanhos de cobertas estudados. A partir de três residentes foi constatada vantagem financeira.

Tabela 2 - Viabilidade econômica na implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva de diversos tipos de edificações e em diferentes localidades do Brasil.

Referência	Localidade	Uso da água	Método	Tipo de edificação	TX água	TX Esgoto	Hab .	(mm)/ano	D total	C/hab. dia	A cap. m ²	Vol. do R	Valor investido	Vida Útil	Tempo de retorno	B/C	VPL
FONSECA et al. (2016)	Itajubá- MG	Não potáveis	Rippl	Unifamiliar	R\$ 4,77	R\$ 2,385	4	1.421,23	-	150 1	200	8,1 m ³	R\$ 6.556,80	-	3,64 anos	-	-
MALTZAHN (2020)	Porto Alegre - RS	Não potáveis	Rippl	Multifamiliar	R\$ 3,25	R\$ 2,834	-	1.579,09	301,07 m ³ /mês	179,20 8 1	186	25m ³	R\$ 30.387,91	30 anos	-	-	R\$ - 10.832,82
MALTZAHN (2020)	Porto Alegre - RS	Não potáveis	Rippl	Unifamiliar	R\$ 3,25	R\$ 2,834	-	1.579,09	-vpl	179,20 8 1	45	5 m ³	R\$ 8.552,69	30 anos	-	-	R\$ -3.821,54
MORAIS (2017)	Manaus - AM	Não potáveis	Netuno	Prédio da Residência Universitária	R\$ 4,52	-	120	2.361,76	-	157,9 1	945	15 m ³	R\$ 10.195,00	20 anos	2,25 anos	-	R\$ 147.482,06
MORAIS (2017)	Manaus - AM	Não potáveis	Netuno	Prédio da Faculdade de Tecnologia	R\$ 4,52	-	492	2.361,76	-	157,9 1	1.10 2,26	15 m ³	R\$ 10.195,00	20 anos	1,83 anos	-	R\$ 201.146,63
MORAIS (2017)	Manaus - AM	Não potáveis	Netuno	Prédio da Faculdade de Ciências Agrárias	R\$ 4,52	-	862	2.361,76	-	157,9 1	1.13 9,04	10 m ³	R\$ 7.223,00	20 anos	1,25 anos	-	R\$ 235.838,68
MELLO et al. (2014)	Campo dos Goytacazes- RJ	Não potáveis	Rippl	Escola de ensino fundamental	-	-	303	947	21 m ³ /mês	-	286	24 m ³	R\$ 15.403,57	25 anos	9,92 anos	-	R\$ 491,15
MARQUES et al. (2014)	Campina Grande - PB	Não potáveis	Rippl	IFPB	R\$ 13,00	-	1400	758,7	271,4 m ³ /mês	-	5.02 0	787 m ³	R\$ 180.447,44	30 anos	9,83 anos	2,52	R\$ 274.701,45
MOURA et al. (2018)	Recife - PE	Não potáveis	Netuno	Multifamiliar	R\$ 13,89	R\$ 6,90	540	2.375,53	4.558,5 L/dia	200 1	3.22 5,48	35 m ³	R\$ 42.350,00	-	1,5 anos	-	-
FUGI (2019)	Blumenau - SC	Não potáveis	Netuno	Unifamiliar	R\$ 5,70	-	4	1.770	2.181,58 L/dia	153,2 1	165	5,5m ³	R\$ 3740,29	20 anos	7,42 anos	-	R\$ 4.814,54

Referência	Localidade	Uso da água	Método	Tipo de edificação	TX água	TX Esgoto	Hab.	(mm)/ ano	D total	C/ hab. dia	A cap. m²	Vol. do R	Valor investido	Vida Útil	Tempo de retorno	B/C	VPL
PÊGO; ERTHAL JÚNIOR (2012)	Campo dos Goytacazes-RJ	Não potáveis	Simulação de reservatório	Unifamiliar	R\$ 1,78	-	5	790	85,44 m³/ano	-	150	16 m³	R\$ 2.671,92	20 anos	-	-	R\$ -2.155,26
PÊGO; ERTHAL JÚNIOR (2012)	Campo dos Goytacazes-RJ	Não potáveis	Simulação de reservatório	Instituição de ensino	R\$ 15,53	-	4.000	790	3.531,6 m³/ano	-	1.350	80 m³	R\$ 13.359,59	20 anos	-	-	R\$ 84.837,23
ANDRADE et al. (2019)	João Pessoa-PB	Não potáveis	Não especificou	CBTU	R\$ 12,89	-	-	1.872	752,24 m³/ano	-	1.250	10 m³	R\$ 22.831,21	25 anos	3,01 anos	3,34	R\$ 53.322,80
ANDRADE et al. (2019)	João Pessoa-PB	Não potáveis	Não especificou	CBTU	R\$ 12,89	-	-	1.872	140,24 m³/ano	-	1.250	10 m³	R\$ 22.831,21	25 anos	-	0,92	R\$ -1750,76
CARDOSO et al. (2020)	Belém - PA	Não potáveis	Netuno	LAESA – UFPA	Não compra água	-	401	3.169,2	2,94 m³/dia	13,71 l	1.216,47	10 m³	R\$ 40.819,02	20 anos	-	-	R\$ -62.289,73
CARDOSO et al. (2020)	Belém - PA	Não potáveis	Netuno	EMUFPA	R\$ 7,35	R\$ 4,41	509	3.169,2	1,54 m³/dia	22,10 l	300	8 m³	R\$ 25.106,26	20 anos	10 anos	-	R\$ 17.865,31
ATHAYDE JÚNIOR et al. (2008)	João Pessoa - PB	Não potáveis	Rippl	Unifamiliar	R\$ 3,56	-	6	1.745,83	-	192,8 l	300	10,371 02,29 m³	Não especificou	20 anos	8,17 a 10,19 anos	1,30 a 1,47	R\$ 1.278,17 a 2.254,00
ATHAYDE JÚNIOR et al. (2008)	João Pessoa - PB	Não potáveis	Rippl	Unifamiliar	R\$ 2,62	-	5	1.745,83	-	162 l	120	7,1-22,55 m³	Não especificou	20 anos	-	-	-
ATHAYDE JÚNIOR et al. (2008)	João Pessoa - PB	Não potáveis	Rippl	Unifamiliar	R\$	-	4	1.745,83	-	130 l	60	4,4-8,8	Não especificou	20 anos	-	-	-

Fonte: Autora.

Assim como no estudo de Fonseca et al. (2016), Fugi (2019) também encontrou viabilidade econômica em sistemas de captação de água da chuva para residência unifamiliar no município de Blumenau-SC, com VPL de R\$ 4.814,54 e período de retorno de 7,42 anos para o cenário principal, além de apresentar VPL positivo em 58% dos 192 diferentes casos hipotéticos estudados, onde foi considerado a variação na demanda de água pluvial e área de coberta.

Athayde Júnior et al. (2008), em estudo de residências com diferentes padrões econômicos na cidade de João Pessoa através do método Rippl, concluíram que o aproveitamento de água pluvial é viável apenas em residências de alto padrão, devido ao cenário de tarifas vigente à época, com valor presente líquido variando de R\$ 1.278,17 a R\$ 2.254,00, razão benefício/custo variando de 1,30 a 1,47, e período de retorno variando de 8,17 a 10,19 anos.

No estudo de Moura et al. (2018), por meio da análise de viabilidade econômica realizada para implantação dos reservatórios de captação de água pluvial em uma edificação multifamiliar, pôde-se concluir que a implantação de um sistema em um edifício deste porte se mostrou tecnicamente e economicamente viável para a obra em questão. O sistema dimensionado pôde atender a quase toda a demanda requisitada para rega de jardins, todos os dias do mês, trazendo benefícios ambientais e financeiros futuros para os moradores deste empreendimento, além de valorização do imóvel e da construtora como um todo.

Marques et al. (2014) demonstraram que o aproveitamento de águas pluviais para o Campus Campina Grande do IFPB é economicamente viável comparando os custos referentes à implantação e manutenção do sistema com a economia de água adquirida da concessionária. A análise econômica do investimento para um reservatório de 787 m³ num período de 30 anos de vida útil do sistema, com taxa de juros compostos de 8.5% ao ano, demonstrou um benefício econômico anual em torno de R\$ 39.609,70 comparado ao volume de água que deixaria de ser comprada, resultando numa economia de R\$ 45.5148,90 durante o período de vida útil do sistema e obtendo-se a relação benefício/custo = 2.52, com VPL= R\$ 274.701,45 e período de retorno de cerca de 9 anos e 10 meses.

Assim como no estudo de Marques et al. (2014), os sistemas de captação de água da chuva dos estudos de Morais (2017), Mello et al. (2014) e Pêgo e Erthal Júnior (2012) também se mostraram economicamente viáveis para a implantação em instituições de ensino.

Maltzahn et al. (2020) realizaram o estudo no município de Porto Alegre-RS. Foram dois estudos de caso, sendo o primeiro em uma habitação popular multifamiliar, padrão Minha Casa Minha Vida, com 5 pavimentos, 20 apartamentos e área de cobertura de 186 m².

Foi adotado um reservatório de 25m³ seguindo o dimensionamento de Rippl, para este reservatório calculou-se os custos de instalação e o VPL em um período de 30 anos. Concluiu-se que no período analisado, o VPL é negativo, ou seja, ao logo da vida útil da instalação a mesma não se paga. O segundo estudo de caso foi para uma habitação popular unifamiliar padrão Minha Casa Minha Vida, com a área de captação de 45 m², utilizando o método de Rippl aplicou-se um reservatório de 5 m³. Como resultado obteve-se um VPL negativo em análise para um período de 30 anos. Os autores não levaram em consideração despesas com manutenção e limpeza e taxas de juros.

Um fator considerado chave que pode ser associado ao resultado alcançado por Maltzahn et al. (2020) é o baixo custo da água potável no município de Porto Alegre. Entretanto, este resultado se aplica à situação mais desfavorável, visto que a capital gaúcha pratica a menor tarifa de água do estado. Outros municípios do Rio Grande do Sul praticam tarifas de R\$ 5,61, que aproximam o investimento da viabilidade econômica, mas ainda com um período de retorno superior aos 30 anos. A tarifa de água que torna o investimento, proposto no caso de residências unifamiliares, economicamente atrativo, dentro do período analisado, é de R\$ 6,38, sendo assim, o projeto se viabilizaria em estados como o de Goiás, que cobra valores superiores a R\$10,00/m³ para os serviços de distribuição de água, coleta e tratamento de esgotos (MALTZAHN et al., 2020).

Do mesmo modo, Pêgo e Erthal Junior (2012) também encontraram VPL negativo para residências unifamiliares no município de Campo dos Goytacazes-RJ.

Conforme constatado, algumas variáveis são importantes para a viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água da chuva, como o volume da chuva, área de captação, demanda por água não potável e tarifa de água.

A demanda por água não potável está diretamente relacionada a viabilidade, uma vez que existe uma tarifa mínima de água cobrado por um volume de 10 m³. Ou seja, mesmo que o consumo de água potável seja inferior a 10 m³, não haverá redução na tarifa cobrada pelo consumo de água. Portanto, em residências em cujo consumo é inferior a este valor, a implantação de sistema de captação de água da chuva, em alguns casos, é economicamente inviável.

Andrade et al. (2019) demonstram que a demanda por água não potável está diretamente relacionada com a viabilidade, quando, nos dois casos apresentados na Tabela 1, variando somente a demanda por água, o primeiro caso, com demanda de 752,24 m³/ano apresentou VPL de R\$ 53.322,80 e período de retorno de 3,01 anos, enquanto que a demanda de 140,24 m³/ano apresentou VPL negativo.

A tarifa de água cobrada também influencia a viabilidade econômica do sistema, ao passo que, quanto mais alta a tarifa, menor o período de retorno. Essa constatação pode ser observada no estudo de Cardoso et al. (2020), em que, no caso da UFPA, que não compra água da distribuidora, a implantação do sistema se tornou inviável economicamente, ao passo que, no caso da EMUFPA, onde a tarifa de água custa R\$ 7,35, o sistema de aproveitamento de água da chuva apresentou VPL de R\$ 17.865,31 em um período de retorno de 10 anos.

De acordo com Romano et al. (2016), o preço da tarifa tem uma correlação negativa com o consumo de água, ou seja, quanto maior a tarifa de água, menor o consumo e maior o interesse na busca de fontes alternativas de água. Dessa forma, o governo precisa fornecer apoio financeiro para promover a instalação desses sistemas em edifícios.

Marques et al. (2014) destaca que, apesar do retorno do investimento de um sistema de aproveitamento de água de chuva ocorrer de forma lenta, principalmente em situações que requerem grandes reservatórios, a decisão de se construir um sistema de aproveitamento de água de chuva em edificações, não deve ser tomada unicamente em função da economia e sim, com o objetivo de garantir o futuro da sustentabilidade hídrica, promovendo o uso racional e conservação da água e auxiliando no controle de enchentes.

Apesar de usos benéficos de sistemas de aproveitamento de águas pluviais que foram demonstrados por diversos pesquisadores, tanto no Brasil quanto no mundo, ainda existe uma relutância nas comunidades em geral em adotar em uma escala mais ampla. Essa relutância pode ser atribuída principalmente à falta de informações sobre a eficácia ambiental e econômica de usar esses sistemas, além de metodologias simples de se utilizar para do dimensionamento dos reservatórios.

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização do Empreendimento

O empreendimento base está localizado no bairro Jardim Oceania, cidade de João Pessoa-PB, na região Nordeste do Brasil (FIGURA 1).

Figura 1 - Localização do empreendimento.

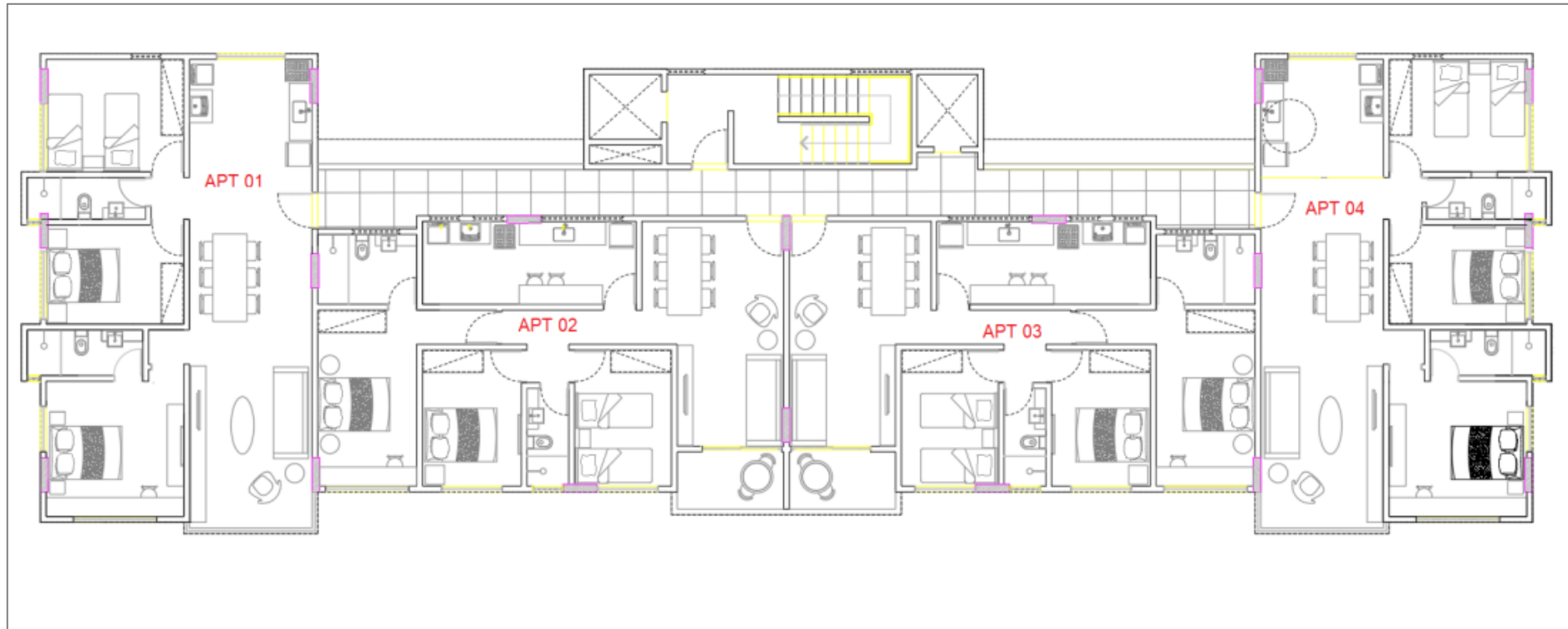


Fonte: Google Earth.

Este empreendimento consiste em um residencial multifamiliar, com 10 pavimentos tipo, 1 térreo, 1 subsolo de garagem e 40 apartamentos, sendo 4 apartamentos por andar (FIGURA 2). Os apartamentos com terminação 01 e 04 possuem 1 cozinha, 2 salas, 2 banheiros, 3 quartos e 92,4m² e os apartamentos com terminação 02 e 03 possuem 1 varanda, 1 cozinha, 2 salas, 2 banheiros e 3 quartos e 91,46m². No térreo (FIGURA 3), estão localizadas as áreas comuns do empreendimento, tais como piscina, áreas verdes, quadra, academia, espaço kids, home cinema, espaço gourmet, lobby, salão de festa com cozinha, 2 banheiros e 1 lavabo. A Figura 4 apresenta a planta baixa da cobertura (MENEZES, 2019).

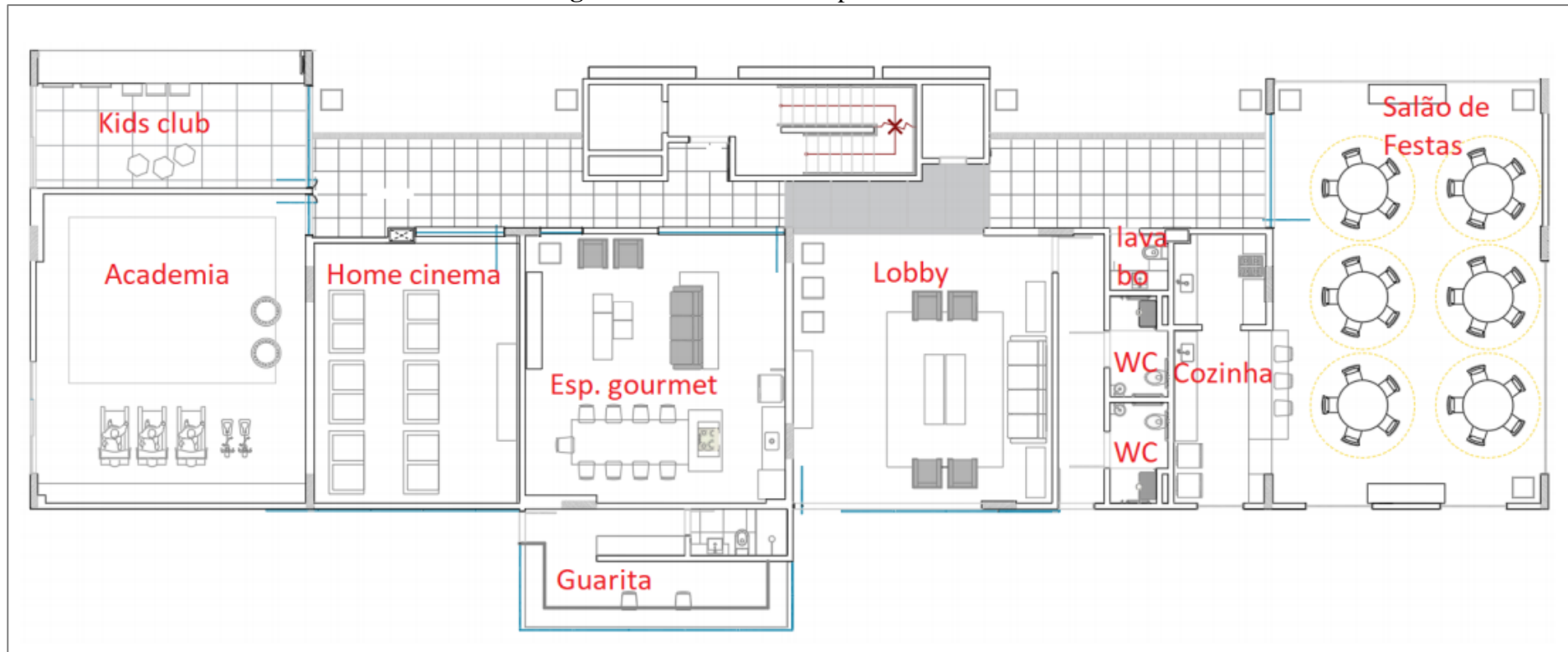
O empreendimento é caracterizado como de médio/alto padrão, devido a localização e estrutura. O custo da obra aproximou-se de 10 milhões de reais. Visto que o valor de venda dos apartamentos variou de 450 mil reais a 500 mil reais, o valor venal chegou a aproximadamente 20 milhões de reais (MENEZES, 2019).

Figura 2- Planta baixa do pavimento tipo.



Fonte: Menezes (2019).

Figura 3 - Planta baixa do pavimento térreo.



Fonte: Menezes (2019).

Figura 4 - Planta da cobertura.



Fonte: Menezes (2019).

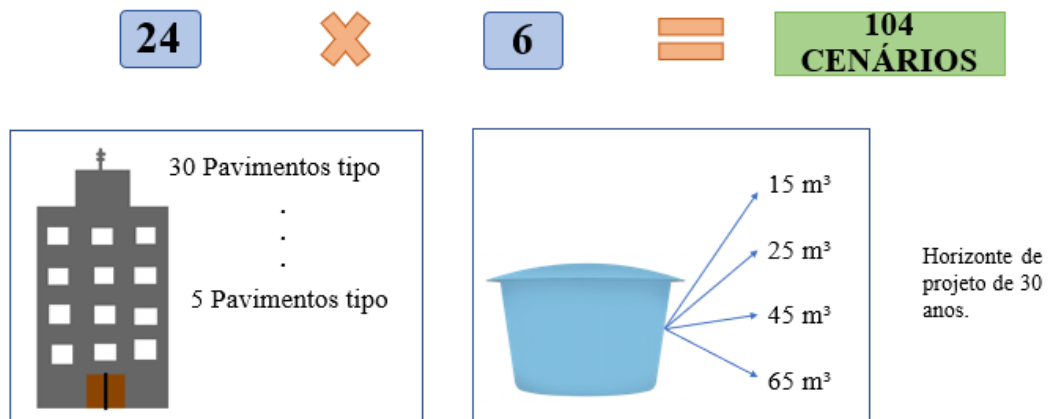
4.2 Cenários Hipotéticos

Partindo das características do empreendimento base, foram criadas algumas hipóteses para posterior análise de cenários diversos, bem como análise da viabilidade econômica correspondente a cada cenário.

A primeira hipótese considera a variação no número de pavimentos, variando de 5 a 30, contendo, em todos os casos, o térreo e pavimentos tipos, ambos com as mesmas características descritas no empreendimento base.

A segunda hipótese considera a variação no volume do reservatório. Os volumes considerados e testados foram 15m³, 25m³, 45m³ e 65m³, dessa forma, foram criados 104 cenários, além dos reservatórios dimensionados pelo método de Rippl. É importante salientar que a precipitação se manteve fixa, assim como a área da coberta, já que a localização do empreendimento não muda em nenhum dos cenários analisados e o crescimento da edificação considerado é vertical.

Figura 5- hipóteses e cenários



Fonte: Autora.

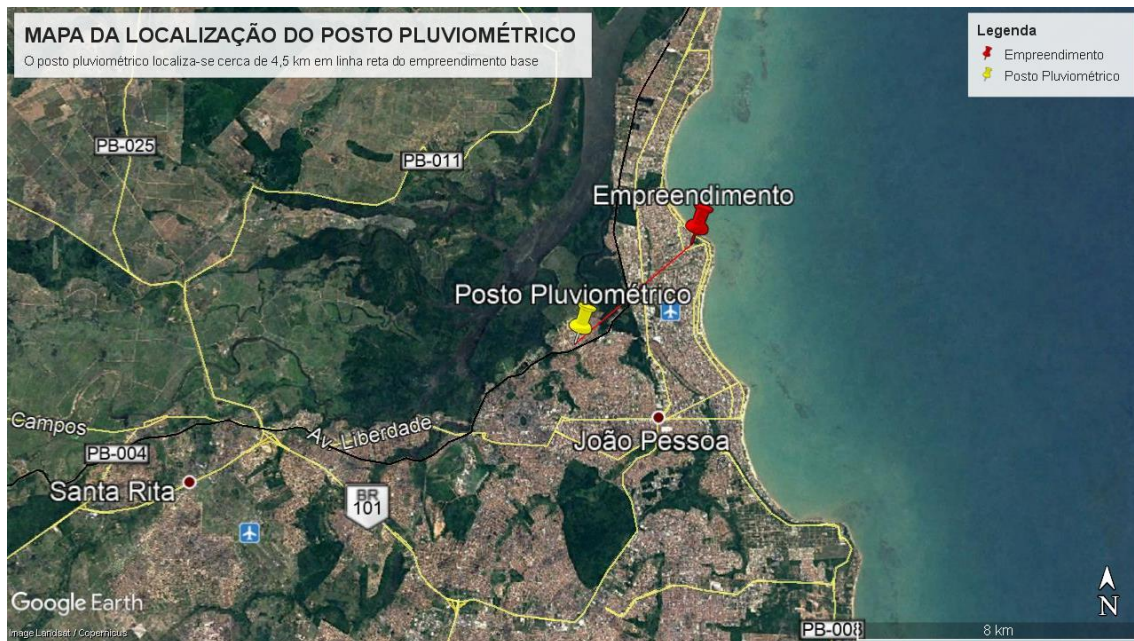
4.3 Disponibilidade Pluviométrica

Na cidade de João Pessoa, o verão é caracterizado por ser longo e quente e o inverno, curto e morno. Ao longo do ano, em geral, a temperatura varia de 23°C a 31°C e dificilmente é superior a 33°C ou inferior a 22°C. O período de maior precipitação tem permanência de 5,7 meses e vai de 24 de fevereiro a 14 de agosto. O período de menor precipitação do ano dura 1,8 meses e vai de 9 de outubro a 2 de dezembro (WEATHER SPARK, 2020).

Em estudos realizados por Andrade (2018) para caracterizar aspectos pluviométricos da cidade de João Pessoa, foi estudada uma série pluviométrica histórica de 35 anos (1983 - 2016), para o posto pluviométrico identificado pelo código 734006, localizado no bairro de Mandacaru. Os dados utilizados foram extraídos do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNRIH), da Agência Nacional de Águas (ANA), no portal Hidroweb.

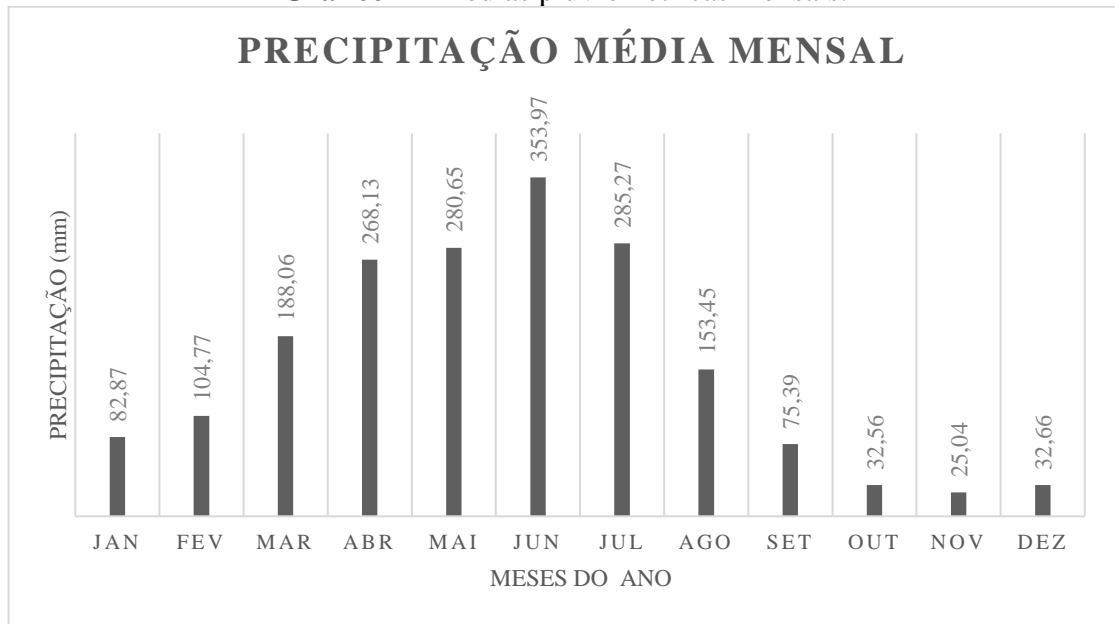
Na Figura 5 é possível observar a localização do posto pluviométrico utilizado para este estudo. Utilizando o programa computacional Google Earth, foi possível estimar uma distância em linha reta de 4,5 km entre o posto pluviométrico e o empreendimento base.

Figura 6 -Localização do posto pluviométrico.



Fonte: Google Earth.

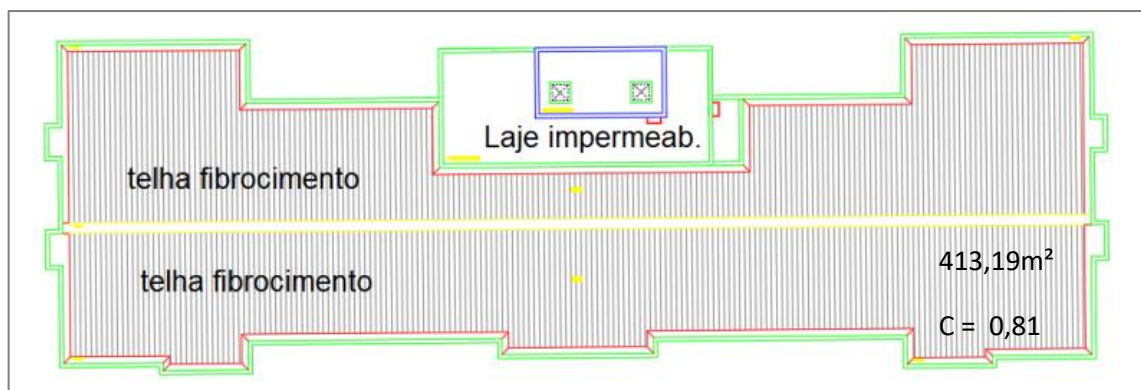
No tratamento desses dados, Andrade (2018) obteve uma média anual de 1.882,82 milímetros de chuva, o que significa dizer que, em 1 ano, chove em um metro quadrado aproximadamente 1,882m³ de água. O mês menos chuvoso é novembro, com precipitação média de 25,04mm e o mês mais chuvoso é junho, com precipitação média de 353,97mm (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 - Médias pluviométricas mensais.

Fonte: Adaptado de Andrade (2018).

A disponibilidade mensal de água está diretamente ligada a precipitação média, área de captação e coeficiente de Runoff. A área de captação é a mesma para todos os cenários, logo a disponibilidade mensal de água é independente da hipótese.

A área de captação do empreendimento é mista, parte relativa ao telhado de fibrocimento e parte relativa as áreas de laje. O coeficiente de Runoff, corresponde a razão entre o volume de água escoado pela superfície e o volume de água precipitado e varia de acordo com material instalado na área de captação (TABELA 3).

Figura 7- Área de captação.

Fonte: Menezes (2019).

Tabela 3 - Coeficiente De Runoff.

Material do telhado	Coeficiente de Runoff
Telhas cerâmicas	0,80 a 0,90
Telhas esmaltadas	0,90 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,80 a 0,90
Cimento amianto	0,80 a 0,90
Plástico, pvc	0,90 a 0,95

Fonte: Adaptado de Tomaz (2011).

A fórmula geral, para o cálculo da disponibilidade de água mensal no empreendimento está expressa na Equação 1.

$$V = P . A . C \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

V= volume médio mensal de chuva aproveitado (l);

P = precipitação média mensal (mm);

A = área de captação (m²);

C = Coeficiente de escoamento superficial (Runoff).

4.4 Consumo de Água para Fins não Potáveis

O consumo médio mensal necessário para atender as finalidades não potáveis corresponde a demanda de água não potável mensal de determinada população. No empreendimento em estudo, foi determinado que o consumo de água não potável será para atender as bacias sanitárias, quantificado assim, 4 banheiros de suítes por pavimento tipo a serem atendidas. Logo, o consumo médio variou de acordo com os cenários propostos.

Sabe-se que, no empreendimento em questão as bacias sanitárias possuem dois tipos de acionamentos, classificados como acionamento simples (3L/descarga) e acionamento duplo (6L/descarga). Posteriormente, foi identificado o consumo per capita e as bacias sanitárias que devem ser abastecidas. Dessa forma, a água utilizada para descarga das bacias sanitárias selecionadas deixa de ser comprada e fornecida pela concessionária de água e passa a ser fornecida pelo sistema de aproveitamento de água de chuva.

O consumo mensal de água não potável foi calculado através da Equação 2.

$$Cm = n . d . c \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

N = população abastecida (hab);

d = Dias do mês (dia);

c = consumo per capita por dia (l/hab.Dia).

4.5 Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva

4.5.1 Dimensionamento do reservatório de armazenamento de água da chuva

O dimensionamento de um reservatório é influenciado por diversos fatores, tais como: a demanda de água não potável, precipitação da região, área de captação e custos de implementação e operação. Para obtenção de resultados otimizados e eficientes, o dimensionamento do reservatório é um ponto chave.

Todo o dimensionamento seguiu as recomendações da ABNT NBR 15527-2019, enquadrando-se dentro dos critérios técnicos e ambientais para posteriormente ser submetido a análise econômica.

O volume possível de ser captado e armazenado para cada variação de volume de reservatório foi analisado pelo método de Rippl. Além disso, outros volumes também foram analisados. Esses volumes foram escolhidos com base na disponibilidade pluviométrica, nas características do empreendimento e capacidade de captação da área da coberta.

O balanço volumétrico mensal usado para calcular o saldo mês a mês da reserva de água de chuva está expresso na Equação 3.

$$S(t) = [O(t) - D(t)] + [S(t - 1)] \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

S(t) = Volume de água no reservatório ao fim do mês corrente (t);

O(t) = Volume de água ofertada para o mês corrente (t);

D(t) = volume de água demandado para o mês corrente (t);

$S(t-1)$ = Volume de água no reservatório remanescente do mês anterior ao mês corrente (t).

Para análise do balanço volumétrico deve-se considerar valores negativos para o volume de água no reservatório no mês corrente igual a zero, sinalizando que o reservatório está vazio. Quando o volume de água no reservatório for maior que o limite suportado pelo tanque de armazenamento, para o mês corrente, o volume considerado deve ser igual ao volume máximo do tanque, sinalizando que o reservatório está cheio. O armazenamento foi realizado parte em reservatório inferior e parte em reservatório superior.

4.5.2 Tratamento

Para o tratamento não foi considerado a utilização de soluções de químicas, já que o uso é não potável. Assim, optou-se por um tratamento simplificado com filtro de areia, com o intuito de remover as partículas em suspensão na água que será armazenada.

A instalação do sistema de tratamento deve sempre ser feita antes da chegada da água ao reservatório. O filtro de areia foi dimensionado através da Equação 4.

$$A_f = \frac{0,024 \cdot I \cdot A_c}{T_f} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

A_f = Área do filtro (m²);

I = Precipitação para duração de 5min e tempo de recorrência de 5 anos;

A_c = Área de contribuição do telhado (m²);

T_f = Taxa de filtração (m³/m².dia).

4.5.3 Cálculo da potência do Conjunto Motor-bomba

Para os diferentes cenários foram exigidas diferentes potências de bombas. Quanto maior a altura manométrica, maior a potência do conjunto motor-bomba. Dessa forma, a potência solicitada variou de acordo com o número de pavimentos. Para o cálculo foi utilizada a Equação 5.

$$Pot = \frac{\gamma \cdot Q_R \cdot H}{\eta} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

Pot = Potência (w);

γ = Peso específico da água (N/m³);

H = Altura manométrica (m);

η = rendimento do conjunto motor-bomba;

Q_R = vazão (m³/s).

4.6 Análise Econômica

4.6.1 Custo de investimento direto

Custos de investimento direto são os custos do fornecimento e instalação dos reservatórios, tubulações, conexões, filtro de areia e acessórios, ou seja, todos os itens que compõem o sistema físico de aproveitamento de água de chuva.

Os custos diretos foram baseados em Menezes (2019), com adaptações, atualizações e ressalvas. Os valores unitários dos itens foram atualizados para o ano de 2020. A instalação de calhas e tubulação de queda não foram incluídos, pois são instalados independentemente da existência do sistema de aproveitamento de água de chuva. Para os diversos cenários, verificou-se o acréscimo de material por andar para possibilitar a distribuição da água de aproveitamento e estimar o custo.

O filtro de areia foi idealizado com uma caixa de polietileno, pré-fabricada, 15m³, além de uma camada de 1,14m³ de brita, uma camada de bidin (manta geotêxtil) para separar as camadas, uma camada de areia média e 15m de tubo de PVC 25MM, para fazer a ligação do sistema de tratamento até os reservatórios (MENEZES, 2019).

A reservação foi pensada em caixas de polietileno e fibra de vidro, sendo o reservatório superior sempre com capacidade de 5m³ e o reservatório inferior em caixas de 10m³ ou 20m³, com registros de gaveta para controle e manutenção do sistema e tubulações para sucção e recalque (MENEZES, 2019).

A tubulação de recalque variou com a quantidade de pavimentos e houve um acréscimo de material para cada pavimento considerado, assim como o conjunto motor-bomba, que demandará uma potência maior quanto mais pavimentos houver no edifício.

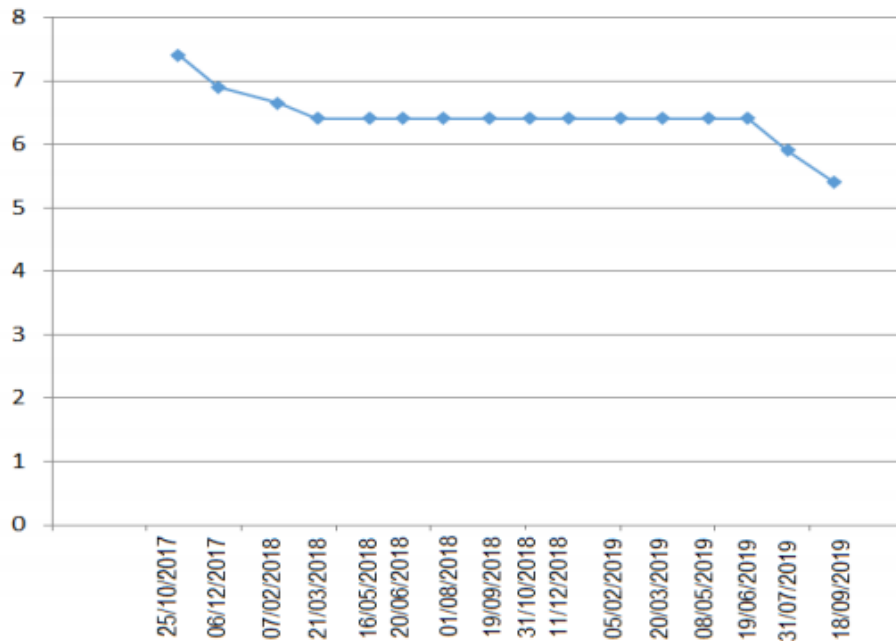
Na distribuição, foi considerado a utilização de tubo de PVC 32MM para o barrilete até as colunas de distribuição, tubos de PVC 20MM para as colunas, ramais e sub-ramais. O sistema atende um banheiro por apartamento, ou seja, o sistema é composto por 4 colunas de distribuição (MENEZES, 2019).

Os custos diretos foram levantados pelo software OrçaFascio, que é um site de orçamento de obras de construção civil, as bases orçamentárias usadas foram o SINAPI, valores referentes a maio de 2020 e ORSE, valores referentes a março de 2020.

4.6.2 Custo de investimento indireto

O custo indireto considerado para o sistema de aproveitamento de água de chuva foi a depreciação por taxa de juros. Aplicou-se uma média histórica dos últimos 3 anos da taxa básica do Sistema Especial de Liquidação e Custódia, que é determinada pelo Comitê de Política monetária do Banco Central. A Selic determina quanto os bancos vão pagar pelos títulos do governo, em consequência influencia nas taxas para empréstimo de dinheiro para população, ou seja, a Selic influencia nas taxas de juros do país.

A taxa básica de juros Selic, encontra-se em 2020 extremamente baixa, o que pode ser considerado um caso excepcional. De setembro de 2015 a setembro de 2016, a taxa Selic manteve-se em 14,15%, quando começou a cair de forma gradual, até que em setembro de 2020 a taxa atingiu 1,9%. Dessa forma, a série histórica considerada nesse trabalho foi a de Menezes (2019), que tem uma representação livre de anomalias e foi definida em 6,42% a.a (GRÁFICO 2).

Gráfico 2 - Série histórica da taxa Selic.

Fonte: Menezes (2019).

4.6.3 Custo de exploração

O custo de exploração está relacionado com a manutenção do sistema. O mesmo foi avaliado por Menezes (2019) em 500 reais/ano.

4.6.4 Benefício econômico

O benefício econômico é proporcionado pela redução do consumo de água da concessionária, em detrimento da utilização da água de chuva captada, por ano.

O volume economizado por ano foi calculado para cada cenário possível e distribuído igualmente para o número de apartamentos correspondentes à cada cenário mês a mês, já que a cobrança do consumo de água é individual e mensal para cada apartamento.

Também foi determinado o consumo mensal regular para cada apartamento, partindo de um consumo per capita de 200l/dia. Além disso, foi consultada a estrutura tarifária da concessionária local. Considerando que a suíte comporta dois habitantes e os demais quartos um habitante, o consumo médio mensal global por apartamento é de aproximadamente 24m³.

A economia máxima de água gerada pelo sistema de aproveitamento de água de chuva está diretamente ligada a economia da bacia sanitária da suíte, que foi calculada em

1,26m³/mês por apartamento, consultando a estrutura tarifária da concessionária chegou-se à tarifa de R\$ 6,45m³ de água, que corresponde a consumo mensal entre 21 e 30 m³.

Atualmente, a cobrança da taxa de água e de esgoto é relacionada ao consumo contabilizado pelo hidrômetro, mas, nesse trabalho, não foi levado em consideração o benefício na economia da taxa de esgoto, visto que a utilização do sistema de aproveitamento de água de chuva não reduz o lançamento de esgoto na rede da concessionária, logo existe a possibilidade de uma mudança na cobrança das tarifas.

Como parâmetros para análise econômica, utilizou-se o valor presente líquido (VPL), a relação benefício-custo (B/C) e o tempo de retorno capital (TRC), que são indicadores que relacionam os custos e os benefícios ao longo de determinado tempo, possibilitando assim, ser feita toda análise econômica dos sistemas de aproveitamento de água de chuva. O VPL foi calculado utilizando-se a Equação 6 e representa um valor monetário, atualizado por uma ou mais taxas de atratividade, que permitirá comparar o investimento inicial com a economia futura de água.

$$VPL = \sum \frac{Receita\ Líquida}{\left(1 + \frac{Juros}{100}\right)^n} - Custos\ iniciais \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

VPL = Benefício acumulado durante o horizonte de projeto;

Receita Líquida = Valor anual economizado;

Custos iniciais = Investimento para implantação do sistema;

Juros = Taxa de juros anual (6,42% a.a);

N = Horizonte de projeto (30 anos).

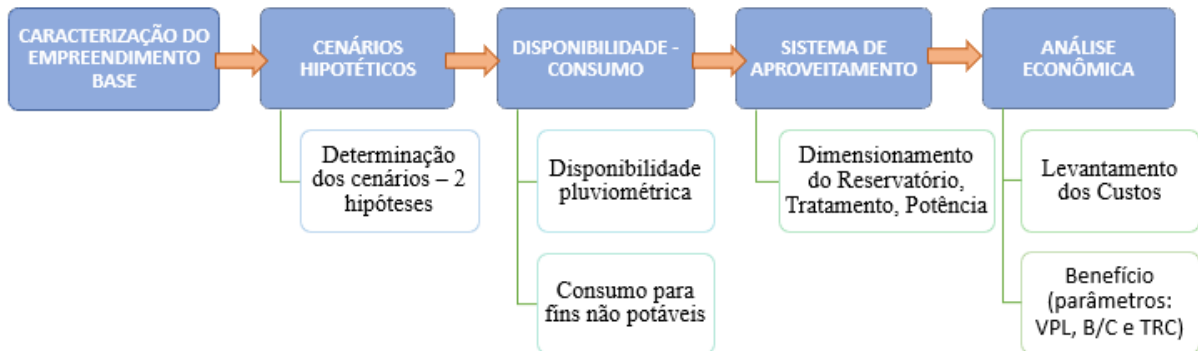
Já a relação B/C é a razão entre o benefício acumulado e o investimento inicial. Se a relação B/C for maior que 1, então existe retorno econômico dentro do horizonte de projeto. Se a relação B/C for menor que 1, então não existe retorno econômico dentro do horizonte de projeto.

O TRC é obtido quando o VPL torna-se maior que o custo inicial, alguns investimentos podem até mesmo nunca atingir um período de retorno, tendo em vista que o benefício decresce com o tempo, dessa forma quanto menor o período de retorno mais atrativo e seguro é o investimento.

4.7 Fluxograma dos processos metodológicos

Na figura 8 temos um fluxograma que descreve de forma sintetizada o processo metodológico deste trabalho.

Figura 8- Fluxograma dos processos metodológicos.



Fonte: Autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Disponibilidade Pluviométrica

Para determinação da disponibilidade pluviométrica mensal foi utilizada a Equação 1, que relaciona a área de captação, precipitação média do local e o coeficiente de escoamento superficial. Dessa forma, como todas as variantes são fixas, o valor da disponibilidade pluviométrica mensal foi calculado independente do cenário (TABELA 4).

Tabela 4 - Precipitação média na localidade e disponibilidade pluviométrica mensal.

Mês	Precipitação (mm)	Disponibilidade pluviométrica (m ³ /mês)
Janeiro	82,87	27,74
Fevereiro	104,77	35,06
Março	188,06	62,94
Abril	268,13	89,74
Maio	280,65	93,93
Junho	353,97	118,47
Julho	285,27	95,48
Agosto	153,45	51,36

Setembro	75,39	25,23
Outubro	32,56	10,90
Novembro	25,04	8,38
Dezembro	32,66	10,93
Soma	1882,82	630,15

Fonte: Autora.

A área de captação do empreendimento base é composta por 370,89m² em telha de fibrocimento e 42,3m² em laje impermeabilizada, totalizando assim, 413,19m² (FIGURA 6). O coeficiente de Runoff adotado corresponde ao valor de 0,81, obtido por meio de uma média ponderada (MENEZES, 2019).

5.2 Consumo de Água para fins não potáveis

Para calcular o consumo médio mensal para fins não potáveis, foi definido que apenas a bacia sanitária do banheiro da suíte é abastecida com água de aproveitamento. Considerou-se que a suíte comporta 2 habitantes e que cada habitante faz uso de 5 acionamentos simples (3L/descarga) e 1 acionamento duplo (6L/descarga), dessa forma, a demanda diária por habitante corresponde a 21L.

Foi calculado através da Equação 2 o consumo médio mensal de água não potável, que varia com a hipótese de número de pavimentos, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Consumo médio mensal de água não potável.

Pav.	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cm (m³/mês)	20,16	25,2	30,24	35,28	40,32	45,36	50,4	55,44	60,48
Pav.	14	15	16	17	19	20	21	22	23
Cm (m³/mês)	65,52	70,56	75,6	80,64	90,72	95,76	100,8	105,84	110,88
Pav.	24	25	26	27	28	29	30		
Cm (m³/mês)	115,92	120,96	126	131,04	136,08	141,12	146,16		

Fonte: Autora.

5.3 Reservatórios

A princípio, analisou-se o volume do reservatório necessário para atender a demanda de todos os meses com 100% de aproveitamento da água captada em cada uma das hipóteses

de número de pavimentos, o que corresponde ao método de Rippl (soma de todos os saldos positivos no balanço volumétrico). Os volumes necessários para atender os cenários chegaram a 418,50 m³, não sendo então atrativo economicamente o método de Rippl. Dessa forma, aplicando a Equação 3, foi calculado o balanço mensal volumétrico apenas para os reservatórios de 15m³, 25m³, 45m³ e 65m³, combinados com cada um dos pavimentos propostos. A Tabela 6 apresenta um exemplo do balanço mensal volumétrico para o cenário de 5 pavimentos e reservatório de 15m³.

Tabela 6 - Balanço mensal de volumes para o cenário de 5 pavimentos e reservatório de 15m³.

Mês	Precipitação (mm)	Disponibilidade pluviométrica (m ³ /mês)	Demanda (m ³ /mês)	Saldo (m ³ /mês)	Volume reservado (m ³)	Volume extravasado (m ³)	Volume complementar (m ³)
Jan.	82,87	27,74	20,16	7,58	7,58	0,00	0,00
Fev.	104,77	35,06	20,16	14,90	15,00	7,48	0,00
Mar.	188,06	62,94	20,16	42,78	15,00	42,78	0,00
Abr.	268,13	89,74	20,16	69,58	15,00	69,58	0,00
Mai	280,65	93,93	20,16	73,77	15,00	73,77	0,00
Jun.	353,97	118,47	20,16	98,31	15,00	98,31	0,00
Jul.	285,27	95,48	20,16	75,32	15,00	75,32	0,00
Ago.	153,45	51,36	20,16	31,20	15,00	31,20	0,00
Set.	75,39	25,23	20,16	5,07	15,00	5,07	0,00
Out.	32,56	10,90	20,16	-9,26	5,74	0,00	0,00
Nov.	25,04	8,38	20,16	-11,78	0,00	0,00	6,04
Dez.	32,66	10,93	20,16	-9,23	0,00	0,00	9,23
Soma	1882,82	630,15	241,92			403,50	15,27

Fonte: Autora.

Em síntese, a Tabela 7 apresenta o panorama anual do somatório do balanço volumétrico mensal calculado para cada cenário estudado.

Tabela 7 - Panorama anual do aproveitamento de água de chuva.

Nº de pav.	V do reservatório	V demandado (m ³ /ano)	V aproveitado (m ³ /ano)	V extravasado (m ³ /ano)	% de aproveitamento (ano)	V complementar (m ³ /ano)
5 PAV	15m ³	241,92	226,65	403,50	93,69	15,27
	25m ³		236,65	393,50	97,82	5,27
	45m ³		256,65	373,50	100,00	0,00
	65m ³		276,65	353,50	100,00	0,00
6 PAV	15m ³	302,40	274,54	355,61	90,79	27,86
	25m ³		284,54	345,61	94,10	17,86
	45m ³		304,54	325,61	100,00	0,00
	65m ³		324,54	305,61	100,00	0,00
7 PAV	15m ³	362,88	309,86	320,29	85,39	53,02
	25m ³		319,86	310,29	88,14	43,02

	45m ³		339,86	290,29	93,66	23,02
	65m ³		359,86	270,29	99,17	3,02
8 PAV	15m ³	423,36	344,92	285,23	81,47	78,44
	25m ³		354,92	275,23	83,83	68,44
	45m ³		374,92	255,23	88,56	48,44
	65m ³		394,92	235,23	93,28	28,44
	15m ³		483,84	375,16	254,99	77,54
9 PAV	25m ³		385,16	244,99	79,61	98,68
	45m ³		405,16	224,99	83,74	78,68
	65m ³		425,16	204,99	87,87	58,68
	15m ³	544,32	405,40	224,75	74,48	138,92
10 PAV	25m ³		415,40	214,75	76,32	128,92
	45m ³		435,40	194,75	79,99	108,92
	65m ³		455,40	174,75	83,66	88,92
	15m ³	604,80	435,64	194,51	72,03	169,16
11 PAV	25m ³		445,64	184,51	73,68	159,16
	45m ³		465,64	164,51	76,99	139,16
	65m ³		485,64	144,51	80,30	119,16
	15m ³	665,28	461,80	168,35	73,28	203,48
12 PAV	25m ³		471,80	158,35	74,87	193,48
	45m ³		491,80	138,35	78,04	173,48
	65m ³		511,80	118,35	81,22	153,48
	15m ³	725,76	487,00	143,15	77,28	238,76
13 PAV	25m ³		497,00	133,15	78,87	228,76
	45m ³		517,00	113,15	82,04	208,76
	65m ³		537,00	93,15	85,22	188,76
	15m ³	786,24	509,62	120,53	80,87	276,62
14 PAV	25m ³		519,62	110,53	82,46	266,62
	45m ³		539,62	90,53	85,63	246,62
	65m ³		559,62	70,53	88,81	226,62
	15m ³	846,72	529,78	100,37	84,07	316,94
15 PAV	25m ³		539,78	90,37	85,66	306,94
	45m ³		559,78	70,37	88,83	286,94
	65m ³		579,78	50,37	92,01	266,94
	15m ³	907,20	549,94	80,21	87,27	357,26
16 PAV	25m ³		559,94	70,21	88,86	347,26
	45m ³		579,94	50,21	92,03	327,26
	65m ³		599,94	30,21	95,21	307,26
	15m ³	967,68	570,10	60,05	90,47	397,58
17 PAV	25m ³		580,10	50,05	92,06	387,58
	45m ³		600,10	30,05	95,23	367,58
	65m ³		620,10	10,05	98,40	347,58
	15m ³	1028,16	590,26	39,89	93,67	437,90
18 PAV	25m ³		600,26	29,89	95,26	427,90
	45m ³		620,26	9,89	98,43	407,90
	65m ³		630,15	0,00	100,00	398,01
	15m ³	1088,64	609,44	20,71	96,71	479,20
19 PAV	25m ³		619,44	10,71	98,30	469,20
	45m ³		630,15	0,00	100,00	458,49
	65m ³		630,15	0,00	100,00	458,49
	15m ³	1149,12	622,44	7,71	98,78	526,68
20 PAV	25m ³		630,15	0,00	100,00	518,97
	45m ³		630,15	0,00	100,00	518,97
	65m ³		630,15	0,00	100,00	518,97
	15m ³	1209,60	630,15	0,00	100,00	579,45
21 PAV	25m ³		630,15	0,00	100,00	579,45

	45m ³		630,15	0,00	100,00	579,45
	65m ³		630,15	0,00	100,00	579,45
22 PAV	15m ³	1270,08	630,15	0,00	100,00	639,93
	25m ³		630,15	0,00	100,00	639,93
	45m ³		630,15	0,00	100,00	639,93
	65m ³		630,15	0,00	100,00	639,93
	65m ³		630,15	0,00	100,00	639,93
23 PAV	15m ³	1330,56	630,15	0,00	100,00	700,41
	25m ³		630,15	0,00	100,00	700,41
	45m ³		630,15	0,00	100,00	700,41
	65m ³		630,15	0,00	100,00	700,41
24 PAV	15m ³	1391,04	630,15	0,00	100,00	760,89
	25m ³		630,15	0,00	100,00	760,89
	45m ³		630,15	0,00	100,00	760,89
	65m ³		630,15	0,00	100,00	760,89
25 PAV	15m ³	1451,52	630,15	0,00	100,00	821,37
	25m ³		630,15	0,00	100,00	821,37
	45m ³		630,15	0,00	100,00	821,37
	65m ³		630,15	0,00	100,00	821,37
26 PAV	15m ³	1512,00	630,15	0,00	100,00	881,85
	25m ³		630,15	0,00	100,00	881,85
	45m ³		630,15	0,00	100,00	881,85
	65m ³		630,15	0,00	100,00	881,85
27 PAV	15m ³	1572,48	630,15	0,00	100,00	942,33
	25m ³		630,15	0,00	100,00	942,33
	45m ³		630,15	0,00	100,00	942,33
	65m ³		630,15	0,00	100,00	942,33
28 PAV	15m ³	1632,96	630,15	0,00	100,00	1002,81
	25m ³		630,15	0,00	100,00	1002,81
	45m ³		630,15	0,00	100,00	1002,81
	65m ³		630,15	0,00	100,00	1002,81
29 PAV	15m ³	1693,44	630,15	0,00	100,00	1063,29
	25m ³		630,15	0,00	100,00	1063,29
	45m ³		630,15	0,00	100,00	1063,29
	65m ³		630,15	0,00	100,00	1063,29
30 PAV	15m ³	1753,92	630,15	0,00	100,00	1123,77
	25m ³		630,15	0,00	100,00	1123,77
	45m ³		630,15	0,00	100,00	1123,77
	65m ³		630,15	0,00	100,00	1123,77

Fonte: Autora.

De acordo com a Tabela 7, os cenários em que não foram necessários adquirir água complementar da concessionária foram o de 5 e 6 pavimentos com reservatório de 45m³ e 65m³. Logo, o percentual de aproveitamento da água de chuva captada é máximo. Também se obteve aproveitamento máximo em qualquer reservatório a partir do pavimento 21. Contudo, o volume completar (volume que deve ser adquirido através do abastecimento convencional para complementar a demanda de água para fins não potáveis) não é zero, pois nesses casos o consumo médio anual é grande, sendo maior que o dobro da disponibilidade pluviométrica na maioria dos casos.

5.4 Tratamento

Tem-se por definição que a área do filtro de areia está relacionada com a precipitação de duração de 5min e tempo de retorno de 5 anos, área de contribuição e taxa de filtração, logo, para todos os cenários estudados, o filtro de areia dimensionado possui a mesma área.

Para o cálculo foi considerado uma camada de brita com 20cm e uma camada filtrante simples com 60cm de fluxo descendente, taxa de filtração de 180m³/m².dia e para a precipitação de duração de 5min e tempo de retorno de 5 anos, 140mm/h (MENEZES, 2019).

$$A_f = \frac{0,024 * 413,19 * 140}{180}$$

$$A_f = 7,71m^2$$

5.5 Cálculo da Potência do Conjunto Motor-Bomba

Na determinação do conjunto motor-bomba foi aplicada a Equação 5. Como a potência requerida aumenta com a vazão e altura manométrica, tem-se uma potência calculada para cada pavimento. Considerando para cálculo, o rendimento de 50% e o peso específico da água em 9790,4N/m³, obteve-se a potência comercial de 1/3CV para o pavimento 5 ao 23, 1/2CV para o pavimento 24 ao 28 e 3/4CV para o pavimento 29 e 30.

5.6 Benefício e Custo

5.6.1 Custo de investimento direto

5.6.1.1 Filtro de areia

O custo de cada item do filtro de areia foi levantado nas bases orçamentárias SINAPI e ORSE, totalizando R\$8.339,88. Esse custo inclui a ligação do filtro de areia ao sistema de armazenamento e toda a estrutura de tratamento da água de aproveitamento de chuva (TABELA 8).

Tabela 8 - Orçamento para execução do filtro de areia.

Item	Descrição		Und	Quant.	Preço (R\$)	
					Unit.	Total
1	Filtro de areia					
1.1	00202/ ORSE	Areia média, adquirida em depósito, frete incluso (areia média comercial)	M ³	6,00	63,64	381,84
1.2	10929/ ORSE	Brita 1 (9,5 à 19MM) - incluso o frete	M ³	1,14	70,02	79,47
1.3	00465/ ORSE	Caixa d'água de fibra de vidro 15.000 litros - Fortlev-torres (ou similar)	UN	1,00	7439,88	7439,88
1.4	91785/ SINAPI	(Composição representativa) do serviço de instalação de tubos de PVC, série R, água pluvial, DN 25 MM (instalado em ramal de encaminhamento, ou condutores verticais), inclusive conexões, corte e fixações, para prédios. AF_10/2015	M	15,00	27,15	407,25
1.5	01586 /ORSE	Manta geotêxtil não tecido RT-10, resistência a tração=10KN/M (antigo bidim op-20 ou similar)	M ²	6,00	5,24	31,44
TOTAL						R\$ 8.339,88

Fonte: Autora.

5.6.1.2 Reservatórios

Para cada cenário variou o custo do sistema de reservação em função da tubulação de recalque, potência do conjunto motor-bomba e a capacidade de armazenamento de água de chuva. O custo inclui o reservatório inferior e superior, além toda a instalação hidráulica, entre eles, os itens desse orçamento foram levantados nas bases orçamentários SINAPI e ORSE.

Pode-se observar na Tabela 9 o custo detalhado do sistema de reservação para o cenário de 5 pavimentos e reservatório de 15m³. Já na Tabela 10, o custo do sistema de reservação para cada um dos cenários.

Tabela 9 - Orçamento para execução do sistema de reservação para o cenário de 5 pavimentos e reservatório de 15m³.

Item	Descrição		Und	Qt.	Preço	
					Unit.	Total
2.0	Sistema de reservação					
2.1	06801/ ORSE	Caixa d'água de polietileno alta densidade, 5.000 litros, fortlev ou similar	Und.	1,00	2599,00	2599,00
2.2	91785/ SINAPI	(Composição representativa) do serviço de instalação de tubos de pvc, série r, água pluvial, dn 25 mm (instalado em ramal de encaminhamento, ou condutores verticais), inclusive conexões, corte e fixações, para prédios. Af_10/2015	M	4,14	29,24	121,05
2.3	91784/ SINAPI	(Composição representativa) do serviço de instalação de tubos de pvc, série r, água pluvial, dn 20 mm (instalado em condutores verticais), inclusive conexões, cortes e fixações, para prédios. Af_10/2015	M	21,06	29,61	623,59
2.4	01951/ ORSE	Registro gaveta bruto, com volante, d= 25mm (1")	UND	3,00	48,28	144,84
2.5	08687/ ORSE	Registro gaveta, base (sem acabamento), dn=20mm (3/4"), ref.4509, deca ou similar	UND	1,00	38,90	38,90
2.6	00464/ ORSE	Caixa d'água de fibra de vidro 10.000 litros = fortlev-torres (ou similar)	UN	1,00	3504,54	3504,54
2.7	00673/ ORSE	Motobomba centrífuga, marca schneider ou similar, modelo bc-91 s/t, motor 1/3cv, monofásico	UN	1,00	574,25	574,25
2.8	73836/001/ SINAPI	Instalacao de conj.moto bomba horizontal ate 10 cv	UN	1,00	328,00	328,00
TOTAL						R\$ 7.934,17

Fonte: Autora.

Tabela 10 - Custo do sistema de reservação para cada cenário.

PAV.	Potência do CJ. Motor-bomba (CV)	Tubulação de recalque (m)	Custo do sistema de reservação (R\$)			
			15m ²	25m ³	45m ³	65m ³
5	1/3	21,06	7934,17	12118,63	19807,627	27496,627
6	1/3	23,85	8016,78	12201,24	19890,237	27579,237
7	1/3	26,64	8099,39	12283,85	19972,847	27661,847
8	1/3	29,43	8182	12366,46	20055,457	27744,457
9	1/3	32,22	8264,61	12449,07	20138,067	27827,067
10	1/3	35,01	8347,22	12531,68	20220,677	27909,677
11	1/3	37,8	8429,83	12614,29	20303,287	27992,287
12	1/3	40,59	8512,44	12696,9	20385,897	28074,897
13	1/3	43,38	8595,05	12779,51	20468,507	28157,507

14	1/3	46,17	8677,66	12862,12	20551,117	28240,117
15	1/3	48,96	8760,27	12944,73	20633,727	28322,727
16	1/3	51,75	8842,88	13027,34	20716,337	28405,337
17	1/3	54,54	8925,49	13109,95	20798,947	28487,947
18	1/3	57,33	9008,1	13192,56	20881,557	28570,557
19	1/3	60,12	9090,71	13275,17	20964,167	28653,167
20	1/3	62,91	9173,32	13357,78	21046,777	28735,777
21	1/3	65,7	9255,93	13440,39	21129,387	28818,387
22	1/3	68,49	9338,54	13523	21211,997	28900,997
23	1/3	71,28	9421,15	13605,61	21294,607	28983,607
24	1/2	74,07	9528,08	13712,54	21401,543	29090,543
25	1/2	76,86	9610,69	13795,15	21484,153	29173,153
26	1/2	79,65	9693,3	13877,76	21566,763	29255,763
27	1/2	82,44	9775,91	13960,37	21649,373	29338,373
28	1/2	85,23	9858,52	14042,98	21731,983	29420,983
29	3/4	88,02	9858,53	14549,76	21814,593	29927,762
30	3/4	90,81	9941,14	14632,37	21897,203	30010,372

Fonte: Autora.

5.6.1.3 Distribuição

O custo da distribuição foi levantado nas bases orçamentários SINAPI e ORSE, e varia com a hipótese de número de pavimentos. O custo da distribuição inclui toda instalação que leva a água de aproveitamento do sistema de reservação ao ponto contemplado. Pode-se observar na Tabela 11 o custo detalhado do sistema de distribuição para a hipótese de 5 pavimentos. Já na Tabela 12, o custo do sistema de distribuição para cada um dos pavimentos considerados.

Tabela 11 - Custo do sistema distribuição para o cenário de 5 pavimentos.

Item	Descrição		Und	Quant	Preço	
					Unitário	Total
3	Sistema de distribuição					
3.1	91786/ SINAPI	(Composição representativa) do serviço de instalação de tubos de pvc, série r, água pluvial, dn 32 mm (instalado em ramal de encaminhamento, ou condutores verticais), inclusive conexões, cortes e fixações, para prédios. Af_10/2015	M	79,80	18,24	1455,55
3.2	91784/ SINAPI	(Composição representativa) do serviço de instalação de tubos de pvc, série r, água pluvial, dn 20 mm (instalado em ramal de encaminhamento, ou condutores verticais), inclusive conexões, cortes e fixações, para prédios. Af_10/2015	M	47,76	27,47	1311,97

3.3	08687/ ORSE	Registro gaveta, base (sem acabamento), dn=20mm (3/4"), ref.4509, deca ou similar	UND	40,00	38,9	1556,00
3.4	08688/ ORSE	Registro gaveta, base (sem acabamento), dn=32mm (1 1/4"), ref.4509, deca ou similar	UND	5,00	76,5	382,50
TOTAL						R\$ 4.706,02

Fonte: Autora.

Tabela 12 - Custo do sistema distribuição para cada cenário.

Pavimentos	Custo da distribuição (R\$)	Pavimentos	Custo da distribuição (R\$)
5	4.706,02	18	8.969,91
6	5.034,01	19	9.297,90
7	5.362,00	20	9.625,90
8	5.689,99	21	9.953,89
9	6.017,99	22	10.281,88
10	6.345,98	23	10.609,87
11	6.673,97	24	10.937,86
12	7.001,96	25	11.265,86
13	7.329,95	26	11.593,85
14	7.657,95	27	11.921,84
15	7.985,94	28	12.249,83
16	7.985,94	29	12.577,82
17	8.641,92	30	12.905,81

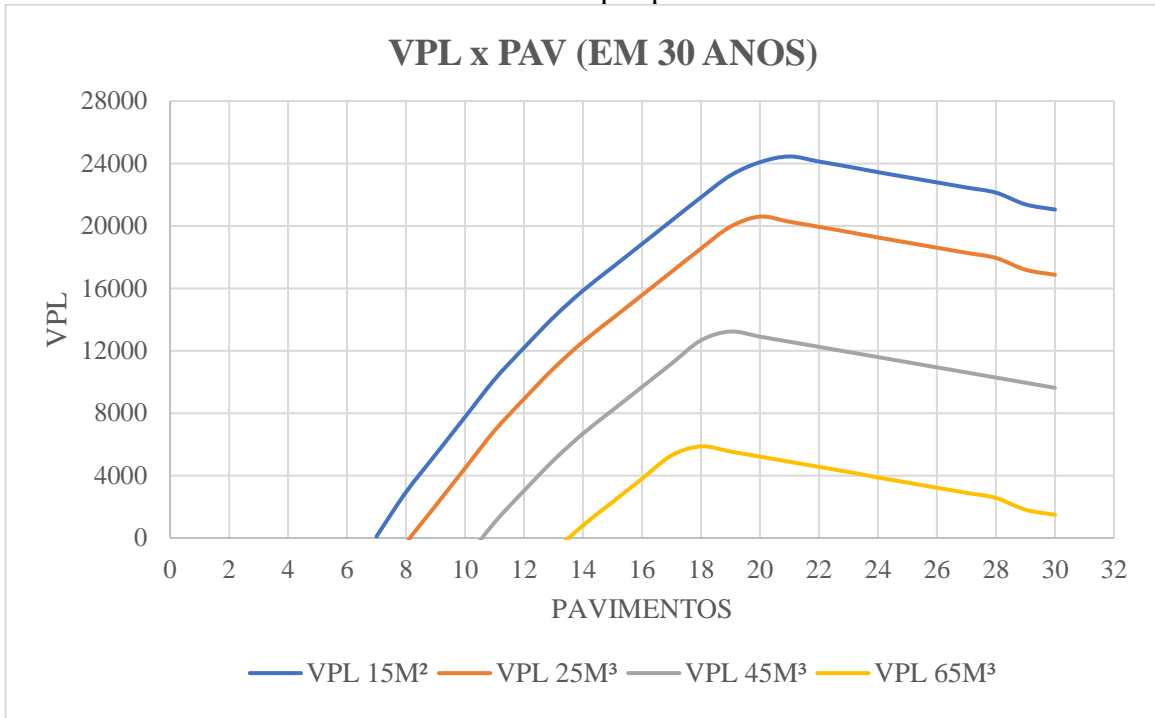
Fonte: Autora.

5.6.2 Benefício para o consumidor

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva propostos foram analisados para um horizonte de projeto de 30 anos, taxa de juros 6,42% ao ano e tarifa de água de 6,45R\$/m³. Como já exposto, o sistema de aproveitamento foi seccionado em 3 partes, sendo elas: tratamento (filtro de areia), reservação e distribuição. Os custos relacionados aos itens que compõem o sistema de aproveitamento de água de chuva são sensíveis às hipóteses levantadas, logo, cada cenário apresenta um custo inicial individual para instalação do sistema de aproveitamento de água de chuva, que corresponde a soma do sistema de tratamento, reservação e distribuição.

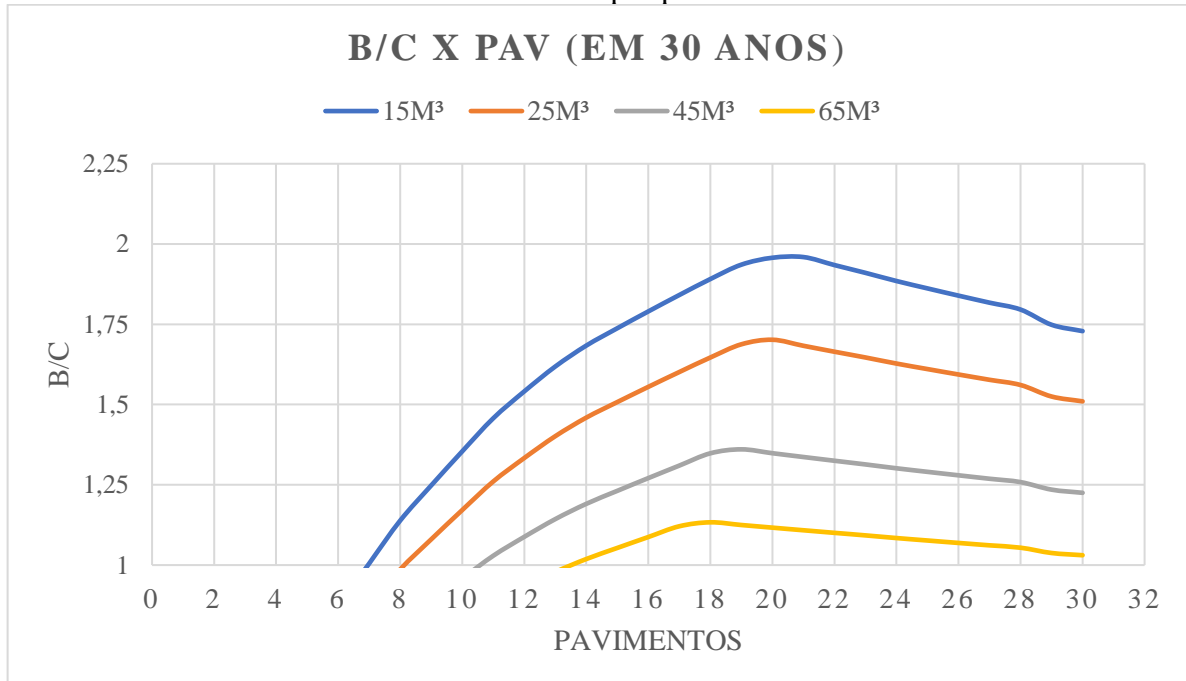
Em posse dos custos iniciais, das receitas líquidas e utilizando a Equação 6, calculou-se o VPL (GRÁFICO 3), o B/C (GRÁFICO 4) e o TRC (GRÁFICO 5) para cada cenário.

Gráfico 3 - VPL por pavimento

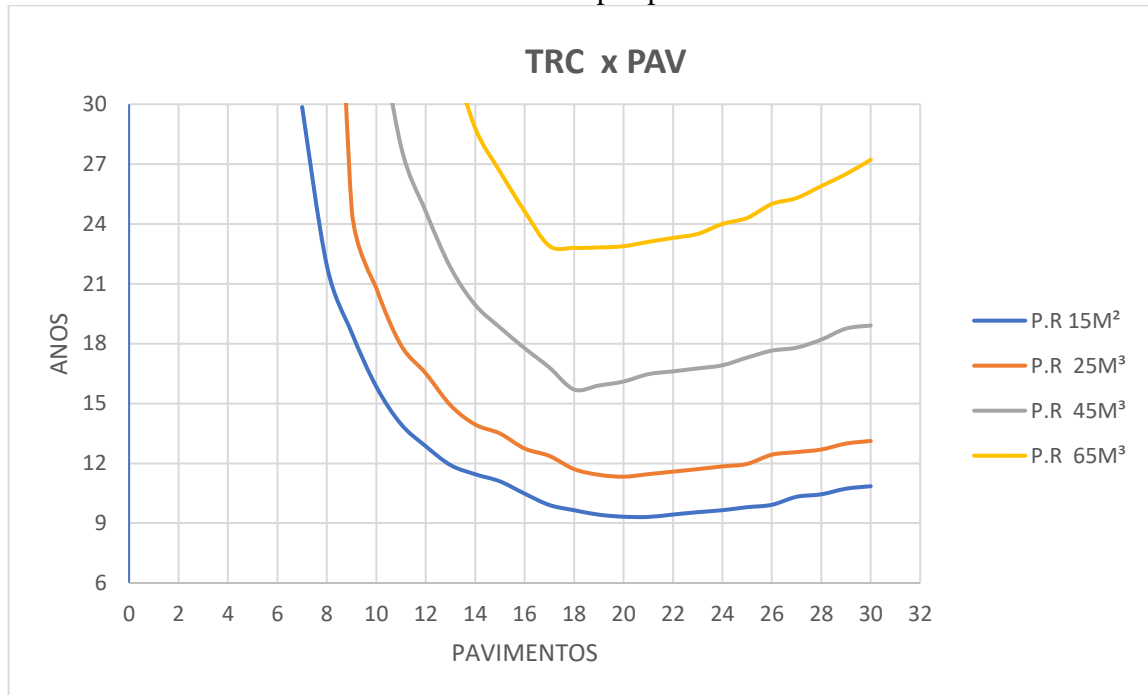


Fonte: Autora.

Gráfico 4 - B/C por pavimento.



Fonte: Autora.

Gráfico 5 - TRC por pavimento.

Fonte: Autora.

É notável que os maiores valores do VPL e B/C são para o reservatório de menor volume. Isso é justificável pelo baixo custo desse reservatório em relação aos demais e pelos altos índices da porcentagem de aproveitamento da água captada.

Pode ser observado que para o reservatório de 15m³ o valor do B/C é maior que 1 a partir do pavimento 7, já para o reservatório de 65m³, o de maior volume testado, apenas a partir de 14 pavimentos encontrou-se B/C acima de 1. No panorama geral, 79,8% dos cenários apresentam B/C maior que 1. Restringindo essa análise para o reservatório de 15m³, 92,31% dos cenários apresentaram B/C maior que 1, em contrapartida, o reservatório de 65m³ apresentou 65,38% dos valores do B/C maior que 1. O melhor desempenho atingido foi para o cenário de 21 pavimentos e reservatório de 15m³, com o B/C de 1,96, VPL de R\$ 24.446,92 e período de retorno em 9,3 anos.

Em relação ao TRC, pode ser observado no Gráfico 5 que, assim como o VPL e o B/C, o reservatório de 15m³ apresentou os menores tempos de retorno. Do pavimento 17 ao 26, o TRC foi superior a 9 e inferior a 10 anos, sendo esses os melhores resultados para TRC nesse estudo. Entretanto, os pavimentos 5 e 6 não apresentaram período de retorno durante a vida útil de projeto. Já para o reservatório de 65m³ o menor período de retorno foi de 22,8 anos, do pavimento 5 ao 12 o tempo de retorno foi superior a 30 anos e em alguns casos não

apresentou TRC. Dos 104 casos observados, em 79,8% encontrou-se período de retorno inferior a vida útil de projeto.

Para cenários de edifícios com baixo número de pavimentos, a atratividade do sistema é menor, pois a demanda solicitada é pequena em relação a disponibilidade pluviométrica, assim o benefício não é viabilizado em alguns casos. Quando essa análise considera maior número pavimentos, a demanda de água é maior que disponibilidade pluviométrica. Como a oferta é limitada, o VPL e B/C começam a diminuir em determinado ponto, quando a demanda se torna muito maior que oferta e toda água captada é consumida no mês vigente. Nesta mesma linha de raciocínio, o TRC aumenta.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

Em relação ao número de pavimentos, o sistema mostrou-se economicamente viável a partir de 7 pavimentos, a depender do volume do reservatório adotado. Observou-se que a atratividade econômica aumenta até cerca de 18 a 21 pavimentos, também a depender do volume do reservatório considerado.

Em relação ao volume do reservatório, o de 15m³ mostrou-se mais atrativo que os demais volumes (25, 45 e 65 m³), para o qual, 92,31% dos cenários apresentaram viabilidade econômica, sendo essa a melhor opção de armazenamento entre as demais, apresentando baixo custo, bom aproveitamento da água captada e um melhor equilíbrio entre demanda, área de captação e disponibilidade pluviométrica, quando realizado o balanço volumétrico.

O melhor desempenho atingido foi para o cenário de 21 pavimentos e reservatório de 15m³, com o B/C de 1,96, VPL de R\$ 24.446,92 e período de retorno em 9,3 anos.

Os resultados demonstraram que dos 104 cenários observados, 79,8% apresentaram viabilidade econômica. Cabe ressaltar ainda, que este percentual é bastante sensível à tarifa de água, bem como à distribuição sazonal das chuvas.

Por fim, podemos concluir os sistemas de aproveitamento de água de chuva podem ser viáveis ou não, nos casos dos edifícios verticais estudados. A viabilidade está atrelada à quantidade de números de pavimentos (demanda) e ao volume do reservatório escolhido para integrar o sistema.

Finalizando este estudo, seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Para os cenários propostos analisar o impacto na variação do consumo para fins não potáveis, considerando mais pontos contemplados com a água de aproveitamento na edificação;
- Realizar estudos referente a sistemas de aproveitamento de água de chuva em edifícios verticais de padrões econômicos variados;
- Realizar estudos para analisar a influência da variação na disponibilidade pluviométrica nos sistemas de aproveitamentos de água de chuva de edifícios verticais.

REFERÊNCIAS

- ALAM, R.; MUNNA, G.; CHOWDHURY, M. A. I.; SARKAR, M. S. K. A.; AHMED, A.; RAHMAN, M. T.; JESMIN, F.; TOIMOOR, M. A. Feasibility study of rainwater harvesting system in Sylhet City. **Environ Monit Assess**, v. 184, p. 573–580, 2012.
- AMOS, C. C.; RAHMAN, A.; GATHENYA, J. M. Economic analysis and feasibility of rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: a review of the global situation with a special focus on Australia and Kenya. **J. Clean. Prod**, v. 172, p. 196-207, 2018.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Águas no mundo**. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>>. Acesso em: 29 out. 2020.
- ANDRADE, A. E. F. **Estudo da viabilidade econômica para sistema de aproveitamento de águas de chuva na sede da CBTU em João Pessoa**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2018.
- ANDRADE, A. E. F.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; CARNEIRO, M. A.; FERRAZ, E. K. V. Estudo da viabilidade econômica para sistema de aproveitamento de águas de chuva na sede da companhia brasileira de trens urbanos em João Pessoa/PB. In: II SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA: SINGEURB, 2019, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2019.
- ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; DIAS, I. C. S.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade Econômica e Aceitação Social do Aproveitamento de Águas Pluviais em Residências na Cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 85-98, 2008.
- BASHAR, M. Z. I.; KARIM, M. R.; IMTEAZ, M. A. Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: A comparative study within six major cities of Bangladesh. **Recur. Conserv. Reciclagem**, v. 133, p. 146-154, 2018.
- CARDOSO, R. N. C.; BLANCO, C. J. C.; DUARTE, J. M. Technical and financial feasibility of rainwater harvesting systems in public buildings in Amazon, Brazil. **Journal of Cleaner Production** **260**, v. 121054, p. 1-13, 2020.
- DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): Social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 6-7, p. 598–608, 2011.
- FARRENY, R.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 7, p. 686–694, 2011.
- FONSECA, T.; D. S.; RIBEIRO JÚNIOR, L. U.; FARIA, J. P. R. Estudo da viabilidade econômica do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em residências em Itajubá– Minas Gerais. **Revista Científica da FEPI**, p. 9–18, 2017.

FUGI, A. M. **Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares em Blumenau.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 95p. 2019.

GHIMIRE, S. R.; JOHNSTON, J. M.; GARLAND, J.; EDELEN, A.; MA, X. C.; JAHNE, M.; Life cycle assessment of a rainwater harvesting system compared with an AC condensate harvesting system. **Resour. Conserv. Recycl**, v. 146, p. 536-548, 2019.

HAJANI, E.; RAHMAN, A. Rainwater utilization from roof catchments in arid regions: a case study for Australia. **Journal of Arid Environments**, v. 111, p. 35-41, 2014.

JIMENEZ CISNEROS, B. E.; OKI, T.; ARNELL, N. W.; BENITO, G.; COGLEY, J. G.; DEOLL, P.; JIANG, T.; MWAKALILA, S. S. **Freshwater resources. Intergovernmental panel on climate change (IPCC), climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability.** In: Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge/New York, UK/USA, p. 229-269, 2014.

JING, X.; ZHANG, S.; ZHANG, J.; WANG, Y.; WANG, Y. Assessing efficiency and economic viability of rainwater harvesting systems for meeting non-potable water demands in four climatic zones of China. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 126, p. 74–85, 2017.

KUCHINSKI, V.; GASTANDINI, M. C. C. Viabilidade técnica e econômica do aproveitamento das águas de chuva e cinza para consumo não potável em edifício residencial de Santa Maria (RS). **Revista DAE**, v. 207, n. 1677, p. 5-19, 2017.

LANI, N. H.; SYAFIYUDDIN, A.; YUSOP, Z.; ADAM, U. D. B.; AMIN, M. Z. B. M. Performance of small and large scales rainwater harvesting systems in commercial buildings under different reliability and future water tariff scenarios. **Science of the Total Environment**, v. 636, p. 1171–1179, 2018.

Lei nº 13.501, de 30 de outubro de, 2017. Altera o art. 2 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, para incluir o uso da água da chuva como um de seus objetivos.

MAIA, A. G.; SANTOS, A. L.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Avaliação da economia de água potável com a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva: estudo de caso no município de Irati, Paraná. **Ambiência Guarapuava**, v. 7 n. 1 p. 51 – 63, 2011.

MALTZAHN, M. A. **Proposta de sistema de aproveitamento de água da chuva para habitação popular:** avaliação econômica de projeto. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 93p. 2020.

MARQUES, C. M.; ATHAYDE JUNIOR, G. B.; LUNA, Y. H. M. Proposição de um Sistema de Água de Chuva para um Instituto de Ensino na Região Nordeste do Brasil: Estudo da Viabilidade Econômica. **Revista AIDIS**, v. 7, n. 3, p. 259-271, 2014.

MATOS, C.; TEIXEIRA, C. A.; DUARTE, A. A. L. S.; BENTES, I. Domestic water uses: characterization of daily cycles in the north region of Portugal. **Sci. Total Environ**, v. 458, p. 444-450, 2013.

MELLO, M.; PERTEL, M.; SOUZA, F. P. Análise de viabilidade econômica: um estudo de aproveitamento da água de chuva no Instituto Educacional Paulo de Tarso – Campos, RJ. **Persp. online: exatas & eng.**, v. 4, n. 8, p. 31-50, 2014.

MENEZES, L. K. M. **Pesquisa de intenção acerca da disposição financeira na aquisição de imóveis residenciais dispondo de sistemas de aproveitamento de água de chuva em João Pessoa**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2019.

MOHAMMED, T. A.; NOOR, M. J. M. M.; GHAZALI, A. H. **Study on potential uses of rainwater harvesting in urban areas**. In: Proceedings of the Colloquium on Rainwater Utilization. Ministry of Natural Resources and National Hydraulic Research Institute of Malaysia (NAHRIM), Putrajaya, Malaysia, p. 1-15, 2007.

MORAIS, J. W. A. **Viabilidade técnica/econômica no aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em uma instituição de ensino do Amazonas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, 126p. 2017.

MOURA, M. R. F.; SILVA, S. R.; BARROS, E. X. R. Análise de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em um empreendimento residencial na cidade de Recife-PE. **Tecno-lógica**, v. 22, n. 1, p. 66-72, 2018.

PACHECO, P. R. C.; GOMEZ, Y. D.; OLIVEIRA, I. Z.; TEIXEIRA, L. C. G. A view of the legislative scenario for Rainwater harvesting in Brazil. **J. Clean. Prod**, v. 141, p. 290-294, 2017.

PÊGO, C. S.; ERTHAL JUNIOR, M. Dimensionamento e viabilidade econômica da coleta e uso de águas pluviais no município de Campos dos Goytacazes. **Perspectivas Online**, v. 2, n. 3, p. 41-53, 2012.

ROMANO, G.; SALVATI, N.; GUERRINI, A. An empirical analysis of the determinants of water demand in Italy. **J. Clean. Prod**, v. 130, p. 74-81, 2016.

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

SILVA, C. M.; SOUSA, V.; CARVALHO, N. V. Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: application to single-family residences. **Resource Conservation Recycling**, v. 94, p. 21–34, 2015.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2018**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos/agua-e-esgotos>. Acesso em: 03 nov. 2020.

- STEC, A.; ZELENÁKOVÁ, M. An Analysis of the Effectiveness of Two Rainwater Harvesting Systems Located in Central Eastern Europe. **Water**, v. 11, n. 458, p. 1-16, 2019.
- THOMAS, R. B.; KIRISITS, M. J.; LYE, D. J.; KINNEY, K. A. Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. **J. Clean. Prod.**, v. 75, p. 166-173, 2014.
- WARD, S.; BARR, S.; BUTLER, D.; MEMON, F. A. Rainwater harvesting in the UK: socio-technical theory and practice. **Technol. Forecast. Soc. Change**, v. 79, n. 7, p. 1354-1361, 2012b.
- WARD, S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Performance of a large building rainwater harvesting system. **Water Res.**, v. 46, n. 16, p. 5127-5134, 2012a.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017**. Special focus on inequalities. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization, 2019.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. **The United Nations World Water Development Report (WWDR 2015): Water for a Sustainable World**. Paris, UNESCO. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>. Acesso: 14 out. 2020.
- ZHANG, F.; POLYAKOV, M.; FOGARTY, J.; PANNELL, D.J. The capitalized value of rainwater tanks in the property market of perth, Australia. **J. Hydrol.**, v. 522, p. 317-325, 2015.
- ZHANG, X.; HU, M. Effectiveness of rainwater harvesting in runoff volume reduction in a planned industrial park, China. **Water Resour. Manage.**, v. 28, p. 671-682, 2014.