



RAQUEL SILVEIRA FARIA

**USO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM
CONDOMÍNIO VERTICAL E HORIZONTAL**

**LAVRAS – MG
2019**

RAQUEL SILVEIRA FARIA

**USO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM CONDOMÍNIO
VERTICAL E HORIZONTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia Civil,
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

Marina Neves Merlo
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2019**

RAQUEL SILVEIRA FARIA

**USO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM CONDOMÍNIO
VERTICAL E HORIZONTAL
USE OF PLUVIAL WATERS FOR NON-POTABLE PURPOSES IN VERTICAL AND
HORIZONTAL APARTMENTS COMPLEXES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia Civil,
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 01/11/2019.

Marina Neves Merlo – DRS/UFLA

M. Sc. Fidel Luis Rodrigues Tambo – DRS/UFLA

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

**Lavras – MG
2019**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre caminhar comigo e atender todas as minhas orações.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade.

Ao professor Michael Silveira Thebaldi, pela orientação, paciência e disposição para ajudar.

A todos os colegas de turma, pela amizade, companheirismo e empatia.

Aos meus pais, José Melo e Denízia pelo amor e apoio incondicional, em todas as minhas decisões nas diferentes etapas da minha vida e aos meus irmãos Rafael e Eduarda.

Ao meu avô Tininho, por sempre me inspirar e apoiar, compartilhando suas experiências de vida.

Ao Guilherme, pelo companheirismo, amor, apoio em todos os momentos e singular torcida.

Dedico a todos vocês essa conquista, muito obrigada!

RESUMO

Os sistemas de captação e uso de água pluvial são alternativas sustentáveis que colaboram com o uso racional da água no meio urbano, assim, o objetivou-se com este estudo avaliar de forma técnica e econômica a implantação de estruturas hidráulicas para o aproveitamento de águas pluviais em dois tipos de condomínios de múltiplas unidades habitacionais, em Lavras-MG, sendo um do tipo vertical e outro horizontal, comparando assim as diferenças técnicas existentes entre eles. Então, preparou-se a série histórica de precipitações do município, e, com isso, pôde-se estimar o volume mensal de água de chuva aproveitável. Depois, elaborou-se o traçado dos sistemas e dimensionou-se as estruturas de captação e condução de água, utilizando as normas NBR 10844 (ABNT, 1989) e NBR 5626 (ABNT, 1998). Ainda foi calculada a demanda de água não potável e assim, determinou-se o volume dos reservatórios inferiores e superiores. Os volumes dos reservatórios inferiores foram calculados pelos Métodos de Rippl, Prático Brasileiro e Simulações, todos apresentados pela NBR 15527 (ABNT, 2007). Por fim, realizou-se a composição orçamentária e efetuou-se a análise técnica e econômica, por meio do Método de Payback Descontado. Identificou-se que para o condomínio vertical, o Método Prático Brasileiro é o mais adequado, enquanto que para o horizontal, o modelo de cálculo mais conveniente é o Método das Simulações. Além disso, constatou-se que os sistemas implantados são considerados investimentos a longo prazo, entretanto, possibilitam uma melhor gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Hidrologia Urbana, Instalações Hidráulicas, Uso Racional dos Recursos Hídricos, Água Pluvial, Fins Não Potáveis.

ABSTRACT

Rainwater catchment and use systems are sustainable alternatives that collaborate with the rational use of water in the urban environment. Thus, the objective of this study was to evaluate technically and economically the hydraulic structure's implementation for the use of rainwater in two types of apartment complexes in Lavras-MG, Brazil, one vertical and the other horizontal, comparing the technical differences between them. The precipitation historical series of the municipality was prepared, and with that, it was possible to estimate the monthly volume of usable rainwater. Then, the pipelines system and the water intake and conduction structures were designed, using the standards NBR 10844 (ABNT, 1989) and NBR 5626 (ABNT, 1998). Still, the demand for non-potable water was calculated and thus, the volume of the lower and upper reservoirs was determined. Lower reservoir volumes were calculated by the Rippl, Brazilian Practical and Simulation Methods, all presented by NBR 15527 (ABNT, 2007). Finally, the budget composition was performed, and the technical and economic analysis was performed using the Discounted Payback Method. It was identified that for the vertical condominium, the Brazilian Practical Method is the most appropriate, while for the horizontal condominium, the most convenient calculation model is the Simulation Method. In addition, it was found that the systems implemented are considered long-term investments, however, enable better management of water resources.

Keywords: Urban Hydrology, Water Supply Facilities, Water Resources Rational Use, Rainwater, Non-Potable Fins.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Objetivos.....	8
1.1.1	Objetivo Geral	8
1.1.2	Objetivos Específicos.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Ciclo e uso racional da água no meio urbano	10
2.2	Sistemas hidráulicos prediais de água potável e pluvial.....	11
2.3	Aproveitamento de águas pluviais em edificações	20
2.3.1	Tipos de reservatório e métodos de dimensionamento	24
2.4	Concepção orçamentária na construção civil	29
2.5	Análise econômica	31
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1	Área de estudo.....	33
3.2	Objeto de estudo	33
3.3	Traçado das instalações de coleta de águas pluviais	35
3.4	Área de captação.....	36
3.5	Dados pluviométricos	36
3.6	Demanda do consumo de água para fins não potáveis	36
3.7	Estimativa da produção de água pluvial.....	37
3.8	Reservatórios de água pluvial	38
3.8.1	Reservatório superior.....	38
3.8.2	Reservatório inferior	38
3.9	Elementos constituintes do sistema.....	40
3.10	Orçamento dos elementos hidráulicos.....	43
3.11	Análise econômica	43

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

Basicamente, em todas atividades antrópicas desenvolvidas, em alguma etapa, a água é requisitada, sendo assim, essencial para o desenvolvimento econômico e tecnológico. Entretanto, a escassez desse recurso é um problema crescente e recorrente. Isso é ocasionado, principalmente, pelo consumo desenfreado, pela poluição e pela má gestão dos recursos hídricos.

Com isso, torna-se fundamental determinar medidas que visem a preservação e otimização de seu uso. Para isso, tecnologias estão sendo implementadas para a racionalização desse recurso. O emprego da água da chuva proporciona conservação da água, redução da dependência excessiva das fontes superficiais de abastecimento, diminuição do escoamento superficial, minimizando os problemas com enchentes, sendo então, uma das medidas para atingir a sustentabilidade urbana.

O uso de águas pluviais é uma alternativa que visa suprir a demanda da população em relação ao uso de água para fins não potáveis. Os usos domésticos não potáveis são, por exemplo, as descargas de bacias sanitárias, a limpeza de pisos e paredes, a irrigação de jardins, a lavagem de veículos, entre outros.

Existem estudos que verificaram o potencial econômico com a utilização de um sistema de aproveitamento de água de chuva em atividades que permitem a substituição de água potável por água pluvial. Assim, tornou-se interessante a avaliação técnica e econômica de um sistema de aproveitamento de águas pluviais em dois tipos de condomínios de múltiplas unidades habitacionais, que possuem mesma demanda por água não potável, diferindo-se na superfície de captação de água.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar de forma técnica e econômica a implantação de estruturas hidráulicas para o aproveitamento de águas pluviais em dois tipos de condomínios de múltiplas unidades habitacionais, um do tipo vertical e outro horizontal.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Preparar a série histórica de precipitações médias mensais do município em que os projetos serão implantados;
- Traçar e dimensionar as estruturas de captação e condução de água de ambos os condomínios;
- Determinar os volumes dos reservatórios para os dois projetos pelos métodos de Rippl, Prático Brasileiro e o da Simulação, todos referenciados pela NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2007);
- Realizar o orçamento dos elementos hidráulicos básicos constituintes dos projetos; e
- Verificar a viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema hidráulico para uso de águas pluviais nas áreas estudadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ciclo e uso racional da água no meio urbano

A água é um recurso natural finito e que ocupa cerca 70% da superfície do planeta, sendo dotada de valor econômico. Esta é utilizada como forma de atendimento às necessidades constantes do ser humano (ANDRÉ; MACEDO; ESTENDER, 2015).

Assim, ela é vista como um recurso vital para a sobrevivência das espécies, exercendo uma influência clara na qualidade de vida das populações. Entretanto, há uma crescente preocupação com os recursos hídricos. O modo como são utilizados e gerenciados pode levar a grande degradação ambiental e pôr em risco a escassez de água para as gerações futuras (FERREIRA; CUNHA, 2005).

Muitos impactos negativos que estão sendo observados atualmente podem ser reduzidos caso ocorram mudanças comportamentais, com o intuito de priorizar e adotar tecnologias mais eficazes, possíveis de poupar água nos setores mais sensíveis à sua oferta, mas não apenas neles (PEREIRA; SILVA; CARBONARI, 2011).

Segundo Tomaz (2001), a conservação da água é um conjunto de atividades, medidas e estímulos que tem como principais objetivos: a redução da demanda; a melhoria da utilização da água e redução de perdas e desperdícios da mesma; a implantação de métodos e tecnologias para economizar água; e a informação e conscientização dos usuários.

Na maioria das edificações, o consumo de água potável é utilizado para a realização de quase todas as atividades, independentemente de uma análise prévia da qualidade necessária da água. Desta maneira, para usos menos nobres poderiam ser direcionadas águas de qualidade inferior, aplicando assim, o conceito do uso racional da água (OLIVEIRA et al., 2007).

De acordo com Fernandes, Medeiros Neto e Mattos (2007), muitos estudos estão sendo direcionados para uma melhor gestão dos recursos hídricos, com o objetivo de otimizar seu uso, visando evitar gastos desnecessários deste bem vital para todas as espécies. Desta forma, uma das maneiras de racionalizar o uso da água é através do aproveitamento da água de chuva, que pode ser aplicada para a irrigação, para o abastecimento humano e industrial, e ainda reduz os riscos de enchentes em bacias hidrográficas antropizadas que, por consequência, possuem solos altamente impermeabilizados, como a zona urbana.

A impermeabilização de grandes áreas modifica a ocorrência natural do ciclo hidrológico por meio, principalmente, de alterações nas quantidades de água envolvidas nos processos constituintes do ciclo (CRUZ et al., 2014).

Segundo Lindsey (1990), em virtude da redução da permeabilidade ou mesmo impermeabilização da superfície, as águas pluviais geram um escoamento superficial que ocorre devido a redução da interceptação, infiltração e evaporação. Além disso, há uma aceleração do movimento da água dentro da bacia, por haver uma redução da sua capacidade de amortecimento e também devido à canalização do escoamento. Diante disso, tem-se mais volume de água em menor tempo, levando a ocorrência de cheias com magnitudes variáveis.

2.2 Sistemas hidráulicos prediais de água potável e pluvial

A NBR 5626 (ABNT,1998) é a norma brasileira relacionada às instalações prediais de água fria. Segundo ela, os profissionais devem dimensionar todos os sistemas hidráulicos prediais (SHP) responsáveis por conduzir água fria, garantindo, ainda, o conforto, higiene, segurança e economia para os usuários das edificações (ABNT, 1998).

Para mais, segundo Segatto e Dias (2015), as edificações devem possuir sistemas hidráulicos prediais que garantam a pressão suficiente para proporcionar conforto e segurança aos consumidores finais.

Os SHP são definidos como um conjunto de tubulações, conexões, válvulas e registros que são interligados em várias direções e abastecem as peças de utilização e aparelhos sanitários (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

A rede de abastecimento local fornece a água fria, que é utilizada na alimentação e na higiene pessoal. A instalação predial de água fria consiste nas tubulações, hidrômetros, conexões, aparelhos e peças de utilização que permitem suprir, medir, armazenar, comandar, controlar e distribuir água aos pontos de utilização (MACINTYRE, 1990).

O sistema desta deve ser separado fisicamente de qualquer outras instalações que conduzam água potável e os componentes da instalação não podem transmitir substâncias tóxicas à água ou contaminá-la com metais pesados (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Ainda segundo o autor supracitado, a ligação entre a rede pública e a instalação predial é feita por meio do ramal predial, executada pela concessionária responsável do município. Há três tipos de sistemas de distribuição de água: direto, indireto e misto. Assim, é necessário analisar as vantagens e desvantagens que cada um apresenta atrelada à realidade local e as características do edifício em que esteja trabalhando.

No sistema direto de distribuição, a alimentação da rede interna do prédio é feita por ligação com o distribuidor público, sem qualquer reservatório. Desta maneira, a instalação

interna é uma extensão da rede pública, sendo a distribuição interna ascendente (MACINTYRE, 1990).

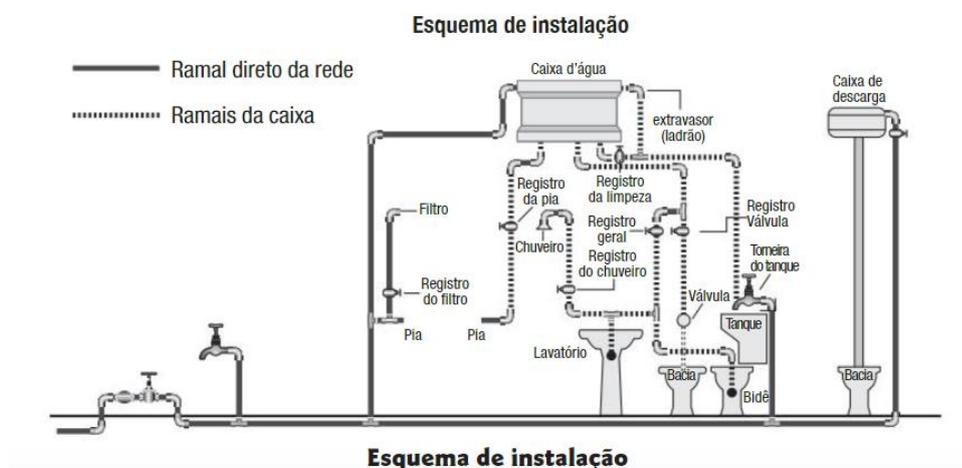
Para Macintyre (1990), no sistema indireto adota-se reservatórios para superar possíveis irregularidades no abastecimento de água e variações de pressão na rede pública. Neste caso, a pressão da rede pública é suficiente para abastecer o reservatório elevado, colocado na parte mais alta de um prédio. A distribuição interna é realizada a partir do reservatório elevado, ou seja, descendente.

Por fim, o sistema misto é uma extensão do sistema indireto, mas, neste caso, a pressão na rede pública é insuficiente para abastecer o reservatório elevado. Desta maneira, utiliza-se um reservatório em cota reduzida e a partir dele a água é bombeada para o reservatório elevado. Assim, a distribuição interna é semelhante ao indireto, sendo descendente (BOTELHO e RIBEIRO JÚNIOR, 2010).

Por isso, ao realizar um dimensionamento, o projetista deve obter informações a respeito da região onde será feita a instalação, tais como: eventuais limitações de vazão, regime de variação de pressões, características da água e constância de abastecimento. Em geral, na Europa e nos Estados Unidos, o abastecimento de água é feito diretamente pela rede pública, já nas edificações brasileiras é comum utilizar reservatório superior, o que faz com que as instalações hidráulicas funcionem sob baixa pressão (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

De modo geral, uma instalação predial de água fria com sistema indireto de distribuição é mostrada na Figura 1.

Figura 1 – Instalação predial de água fria.



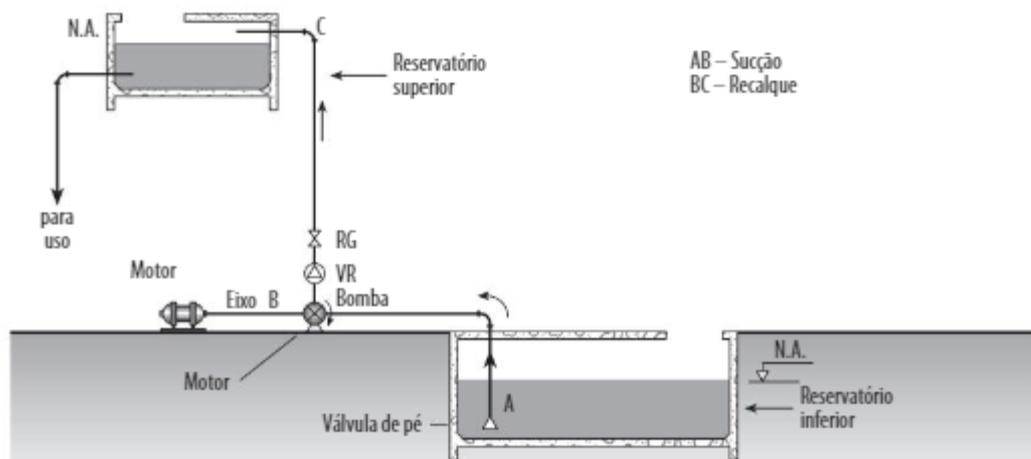
Fonte: Botelho e Ribeiro Júnior (2010), adaptado.

Em sistemas indiretos com bombeamento (sistema misto), como já citado, o primeiro destino da água é o reservatório inferior, normalmente em reservatório enterrado para se economizar área útil, e partir dele, o fluido é elevado para um reservatório superior, que irá alimentar todo o sistema (BOTELHO e RIBEIRO JÚNIOR, 2010).

Deste modo, são empregadas bombas nas instalações hidráulicas prediais para elevarem a água. As bombas são máquinas geratrizes hidráulicas que transformam o trabalho mecânico que recebem de um motor em energia hidráulica sob as formas que o líquido é capaz de absorver (MACINTYRE, 1990).

Segundo o mesmo autor, as bombas centrífugas são as empregadas em instalação predial de bombeamento de água. Essencialmente, ela é constituída por um rotor, destinado a conferir aceleração à massa líquida, e um difusor, que recebe o líquido que sai do rotor e transforma parte considerável da energia cinética do mesmo em energia de pressão. Um esquema geral de um sistema elevatório, destacando os principais elementos constituintes é mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema geral de um sistema elevatório.



Fonte: Botelho e Ribeiro Júnior (2010), adaptado.

A instalação predial de águas pluviais deve seguir, no Brasil, as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 10844 (ABNT, 1989) que fixa exigências e critérios necessários aos projetos das instalações de drenagem de águas pluviais, visando garantir níveis aceitáveis de funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia (ABNT, 1989).

Entre as principais exigências estão:

- Ser estanques;

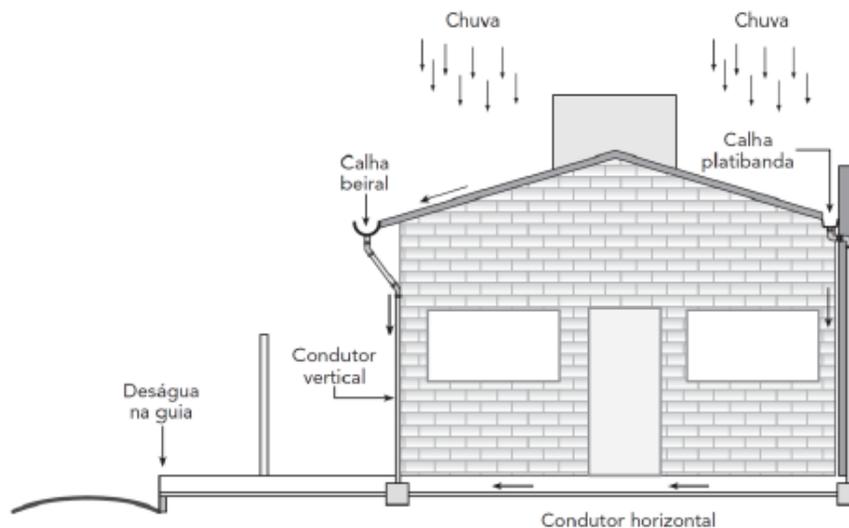
- Permitir a limpeza e desobstrução de qualquer ponto no interior da instalação;
- Nos componentes expostos, utilizar materiais resistentes às intempéries; e
- Não provocar ruídos excessivos.

As coberturas das edificações possuem como objetivo proteger determinadas áreas das águas da chuva, e com isso, tem-se um volume de água que deve ser devidamente coletado e direcionado para locais permitidos pelos dispositivos legais (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

A instalação de águas pluviais é utilizada unicamente para o recolhimento e condução das águas das chuvas, sendo, portanto, totalmente independente, ou seja, sem contato com outro tipo de instalação predial (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

O sistema de esgotamento de águas pluviais em edificações, de modo geral, encontra-se em cota acima da galeria pluvial pública, sarjeta, vala, canal ou curso d'água, e assim, as águas dos telhados, terraços, áreas e terrenos são conduzidas até o seu destino final pela ação da força da gravidade. Além disso, a água escoa por condutores verticais e horizontais - calhas (MACINTYRE, 1990). A Figura 3 apresenta um sistema de águas pluviais.

Figura 3 – Sistema de águas pluviais.



Fonte: Carvalho Júnior (2013), adaptado.

O autor Carvalho Júnior (2013) salienta que o projetista deve detalhar o tipo de calha que será colocado no projeto – forma da seção, com ou sem platibanda, com ou sem beiral, com condutores embutidos ou externo - ou se será dispensada o seu uso. Além disso, a declividade

das calhas é de grande importância para que não haja o empoçamento de águas em seu interior, assim, esta deve estar no sentido dos condutores verticais e ser a mínima possível.

Para realizar o dimensionamento, se faz necessário conhecer alguns conceitos de hidrologia, e de acordo com Botelho e Ribeiro Júnior (2010), pode-se definir:

- Intensidade pluviométrica: é a medida em mm/h da quantidade de chuva que precipita num determinado local em certo tempo; e
- Período de retorno: número médio de anos em que, para mesma duração da precipitação, uma determinada intensidade pluviométrica é igualada ou ultrapassada apenas uma vez.

Para efeito de dimensionamento, considera-se essencialmente a situação mais crítica, neste caso, as chuvas intensas para cálculo da intensidade pluviométrica, visto que elas apresentam grande intensidade e curta duração. Os elementos dimensionados devem ser eficientes, de modo que a água seja drenada integralmente e em um curto período de tempo, sem que haja alagamentos, transbordamentos e infiltrações (MACINTYRE, 1990).

De acordo com NBR 10844 (ABNT, 1989), as calhas devem ter capacidade para escoar a água da chuva correspondente a 5 anos de período de retorno, valor esse utilizado para dimensionamento de coberturas e terraços.

Segundo Machado e Silva (2011), a intensidade máxima média de precipitação (I) de determinada localidade com estipulado período de retorno pode ser obtida através da Equação 1 proposta por Chen (1983), que correlaciona as características fundamentais de uma chuva intensa.

$$I = \frac{K \cdot TR^a}{(t + c)^b} \quad (1)$$

em que:

I : intensidade máxima média de precipitação, em $\frac{mm}{h}$;

TR: tempo de retorno da chuva, em anos, em que TR = 5;

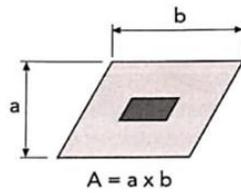
t : duração da chuva, em minuto, em que $t = 5$; e

K, a, b e c: parâmetros dependentes da localidade.

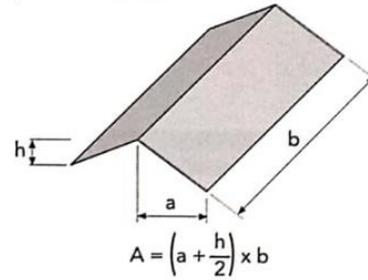
Além disso, em conformidade com a NBR 10844 (ABNT, 1989), faz-se necessário definir a área de contribuição do telhado. Na Figura 4 estão expostos os esquemas indicativos para cálculos de áreas de contribuição de vazão.

Figura 4 - Esquemas indicativos para cálculos de áreas de contribuição de vazão.

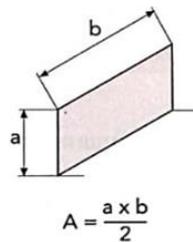
a – Superfície plana horizontal



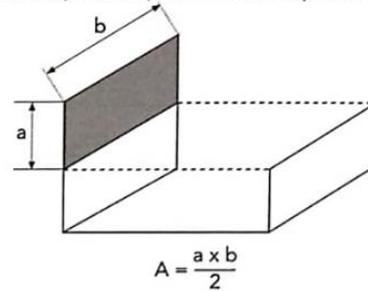
b – Superfície inclinada



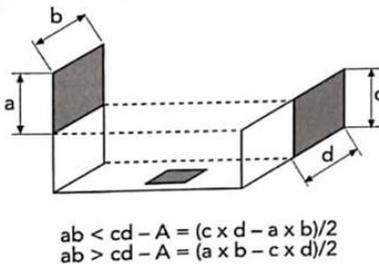
c – Superfície plana vertical única



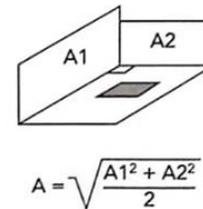
d – Duas superfícies planas verticais opostas



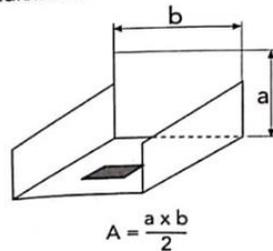
e – Duas superfícies planas verticais opostas



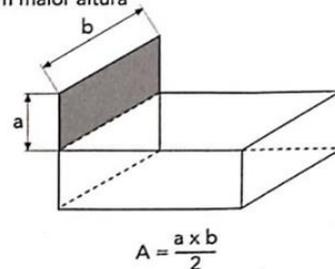
f – Duas superfícies planas verticais adjacentes e perpendiculares



g – Três superfícies planas verticais adjacentes e perpendiculares



h – Quatro superfícies planas verticais, sendo uma com maior altura



Fonte: ABNT, NBR 10844/89.

De acordo com Carvalho Júnior (2013), a vazão coletada pelas calhas poderá ser obtida por meio da Equação 2.

$$Q = \frac{I \cdot A}{60} \quad (2)$$

em que:

Q: vazão, em $\frac{L}{min}$;

I: intensidade pluviométrica, em $\frac{mm}{h}$; e

A: área de contribuição, em m².

Finalmente, e em acordo com a norma NBR 10844 (ABNT, 1989), o dimensionamento das calhas é feito por meio da fórmula de Manning-Stricker, apresentada na Equação 3.

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

em que:

Q: vazão, em m³/s;

S: área da seção molhada, em m²;

n: coeficiente de rugosidade de Manning, em $\frac{s}{m^{1/3}}$;

R_H: raio hidráulico, em m; e

i: declividade da calha, em m/m.

A norma NBR 10844 (ABNT, 1989) apresenta a Tabela 1 para dimensionamento de calhas semicirculares, usando coeficiente de rugosidade n = 0,011 para os valores 0,5, 1,0, e 2,0% de declividade. Os valores de vazão apresentados foram calculados utilizando a fórmula de Manning-Strickler, com lâmina de água igual à metade do diâmetro interno.

Tabela 1 – Capacidade, em L/min, de calhas semicirculares com coeficiente de rugosidade $n=0,011$ e declividades de 0,5, 1,0 e 2,0 %.

Diâmetro interno (mm)	Vazão (L/min)		
	0,5%	1,0%	2,0%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1,167	1,634

Fonte: ABNT, NBR 10844/89, adaptado.

De acordo com Macintyre (1990), condutores são tubos que transportam as águas pluviais dos telhados, terraços e áreas abertas a caixas de areia, a partir das quais as águas são destinadas ao local de lançamento, como por exemplo, coletor público, galeria de águas pluviais, caixa de ralo na via pública, canal ou rio.

Os condutores verticais são tubulações destinados a recolher água de calhas, coberturas, terraços e similares e conduzi-las até a parte inferior do edifício. Eles devem ser projetados, preferencialmente, em uma só prumada. Caso haja necessidade de desvio, devem ser usadas curvas de 90° de raio longo ou curvas de 45° e devem ser previstas peças de inspeção. Além disso, o diâmetro interno mínimo dos condutores verticais de seção circular é 70 mm. (CREDER, 2018).

Segundo a norma NBR 10844 (ABNT, 1989) os condutores verticais podem ser colocados externa e internamente à edificação, sendo determinado de acordo com as especificações de projeto, o uso e a ocupação do edifício e o material dos condutores. Por fim, a norma propõe ábacos para a determinação de diâmetros de condutores verticais. Porém, para tornar o processo mais eficiente, os autores Botelho e Ribeiro Júnior (2010) apresentam a Tabela 2, baseado no critério prático de dimensionamento, comumente utilizado pelos projetistas, que correlaciona a área do telhado com a seção do condutor do tubo.

Tabela 2 – Determinação de diâmetros de condutores verticais.

Diâmetro do tubo D (mm)	Capacidade dos condutores verticais		
	Vazão	Área do telhado (m ²)	
	Litros-segundo (L/s)	Chuva muito forte 150 mm/h	Chuva forte 120 mm/h
50	0,57	14	17
75	1,76	42	53
100	3,78	90	114
125	7,00	167	212
150	11,53	275	348
200	25,18	600	760

Fonte: Botelho e Ribeiro Júnior (2010), adaptado.

Os condutores horizontais são canais ou tubulações horizontais destinadas a recolher e conduzir águas pluviais até locais permitidos pelos dispositivos legais. Devem ser dimensionados, sempre que possível, com declividade uniforme, cujo valor mínimo é de 0,5%. Além disso, a conexão entre os condutores verticais e horizontais deve ser executada com curva de raio longo, tendo inspeção ou caixa de areia. Para mais, nas tubulações aparentes, devem ser previstos pontos de inspeções sempre que houver ligação com outra tubulação, mudança de declividade ou direção, ou a cada 20 metros retilíneos (CREDER, 2018).

Para a determinação dos diâmetros de condutores horizontais, a norma NBR 10844 (ABNT, 1989) apresenta a Tabela 3, usando o coeficiente de rugosidade $n = 0,011$ para os valores 0,5, 1,0, 2,0 e 4,0% de declividade.

Tabela 3 - Determinação dos diâmetros de condutores horizontais em tubulações de PVC, cobre, alumínio e fibrocimento para as declividades de 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 % (n = 0,011 e vazão em L/min).

Diâmetro interno (mm)	Vazão (L/min)			
	0,5%	1,0%	2,0%	4,0%
50	32	45	64	90
75	95	133	188	267
100	204	287	405	575
125	370	521	735	1040
150	602	847	1190	1690
200	1300	1820	2570	3650
250	2350	3310	4660	6620
300	3820	5380	7590	10800

Fonte: ABNT, NBR 10844/89, adaptado.

2.3 Aproveitamento de águas pluviais em edificações

O aproveitamento de águas pluviais não é uma prática nova, já que existem relatos desse tipo de atividade milhares de anos atrás, antes mesmo da era cristã. Há indícios do uso da água da chuva por vários povos, como os Incas, os Maias e os Astecas (GNADLINGER, 2000).

No Brasil, a instalação mais antiga de aproveitamento da água da chuva foi construída por norte-americanos em 1943, na ilha de Fernando de Noronha. Ainda nos dias de hoje a água pluvial é utilizada para o abastecimento da população (GHANAYEM, 2001).

A utilização de água pluvial sofreu redução com a inserção de tecnologias mais modernas de abastecimento, como a construção de grandes barragens, o desenvolvimento de técnicas para o aproveitamento de águas subterrâneas, a irrigação encanada e a implementação dos sistemas de abastecimento (ANNECCHINI, 2005).

Contudo, segundo o mesmo autor, o emprego da água da chuva voltou a ser realidade em diversas localidades, fazendo parte da gestão moderna de grandes cidades em países desenvolvidos. Vários países europeus e asiáticos utilizam amplamente a água da chuva nas residências, nas indústrias e na agricultura, pois sabe-se que a mesma possui qualidade compatível com usos importantes, sendo considerada um meio simples e eficaz para diminuir o problema ambiental de escassez hídrica.

No Brasil, no ano de 2017, foi publicada no Diário Oficial da União a Lei nº 13.501/2017 (BRASIL, 2017), que acrescenta um objetivo à Política Nacional de Recursos Hídricos. Desta forma, segundo o novo texto, a Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), também conhecida como Lei

das Águas, passa a ter o seguinte objetivo: incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais (BRASIL, 1997; BRASIL, 2017).

Como exemplo, na cidade de São Paulo é obrigatória, para novas edificações, a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes edificados ou não, que tenham áreas impermeabilizadas superiores a 500 m² (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2017), os principais usos da água no Brasil são para irrigação, abastecimento humano e animal, industrial, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, turismo e lazer. A Figura 5 apresenta o consumo de água, por setores, no Brasil.

Figura 5 – Total de água consumida no Brasil (média anual).



Fonte: ANA, 2017, adaptado.

Ainda de acordo com a ANA (2017), a demanda por uso de água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas. A previsão é de que até 2030, a retirada aumente 30%. O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país.

Desta maneira, reforça-se o conceito de utilizar a água da chuva para fins não potáveis, visto que apresenta muitos benefícios, pois pode reduzir a demanda de água potável em uma cidade, aliviar o estresse hídrico na região e reduzir o volume e escoamento superficial, evitando inundações (CAMPISANO; MODICA, 2012).

Carvalho Júnior (2013) diz que os usos domésticos não potáveis são os que não requerem características de qualidade tão exigentes quanto à potabilidade, tais como: descarga

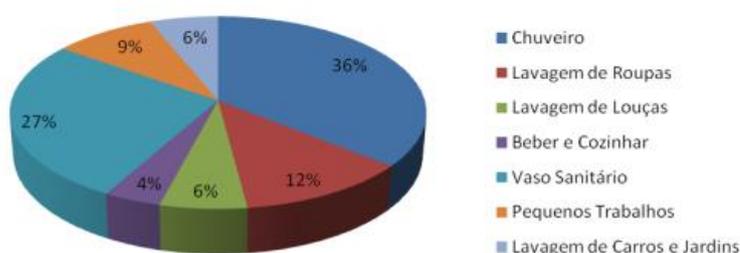
de bacias sanitárias e mictórios, limpeza de pisos e paredes, rega de jardins, lavagem de veículos e a água de reserva para combate a incêndio.

De acordo com Anecchini (2005), 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis. Segundo Martini (2009), o aparelho que mais consome água é a bacia sanitária, podendo variar seu percentual de 20 a 40% e um total residencial de consumo de água para fins não potáveis, entre 45 e 55%.

Proença (2007), realizou uma pesquisa em 10 edifícios comerciais em Santa Catarina e verificou que em alguns edifícios analisados o consumo de água potável para fins não potáveis chegou a 86%, o que indica um grande potencial de redução de água potável.

Tomaz (2003) realizou uma pesquisa em que foi apontada a distribuição do consumo de água potável em residências brasileiras. A Figura 6 apresenta os resultados obtidos pelo autor para cada atividade doméstica realizada, em porcentagem.

Figura 6 – Distribuição do consumo de água potável em residências brasileiras.



Fonte: TOMAZ, 2003, adaptado.

Desta maneira, observa-se que há um percentual considerável de utilização de água potável para fins não potáveis, como as descargas de bacias sanitárias (27%) e a lavagem de carros e jardins (6%), o que gera, aproximadamente, 33% de desperdício de água potável (TOMAZ, 2003).

A Tabela 4 apresenta as demandas internas e externas de água não potável de uma residência.

Tabela 4 - Demandas internas e externas de água não potável de uma residência.

Demanda Interna	Faixa	Unidade
Vaso Sanitário - Volume	6 a 15	L/descarga
Vaso Sanitário - Frequência	4 a 6	Descarga/hab./dia
Máquina de Lavar Roupa - Volume	100 a 200	L/ciclo
Máquina de Lavar Roupa - Frequência	0,2 a 0,3	Carga/hab./dia
Demanda Externa	Faixa	Unidade
Rega de Jardim - Volume	2 a 3	L/dia/m ²
Rega de Jardim - Frequência	8 a 12	Lavagem/mês
Lavagem de Carro - Volume	80 a 150	L/lavagem/carro
Lavagem de Carro - Frequência	1 a 4	Lavagem/mês
Lavagem da Área Impermeabilizada - Volume	3 a 4	L/dia/m ²
Lavagem da Área Impermeabilizada - Frequência	8 a 12	Lavagem/mês

Fonte: GONÇALVES, 2006.

Após a água pluvial ser coletada e submetida a um processo de limpeza, essa é encaminhada para um reservatório de armazenamento. Os reservatórios devem atender a norma NBR 12217 (ABNT, 1994), onde são fixadas as condições exigíveis na elaboração de projeto de reservatório de distribuição de águas para abastecimento público.

Segundo a norma NBR 15527 (ABNT, 2007), que fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, nos projetos de reservatórios devem ser considerados: extravasor, dispositivo de esgotamento, cobertura, inspeção, ventilação e segurança. Também deve ser minimizado o turbilhonamento, dificultando a ressuspensão de sólidos e o arraste de materiais flutuantes.

Ainda de acordo com a norma citada anteriormente, a água de chuva reservada deve ser protegida contra a incidência direta da luz solar e do calor, bem como de animais que possam adentrar o reservatório através da tubulação de extravasamento. Por fim, os reservatórios devem ser limpos e desinfetados com solução de hipoclorito de sódio, no mínimo uma vez por ano.

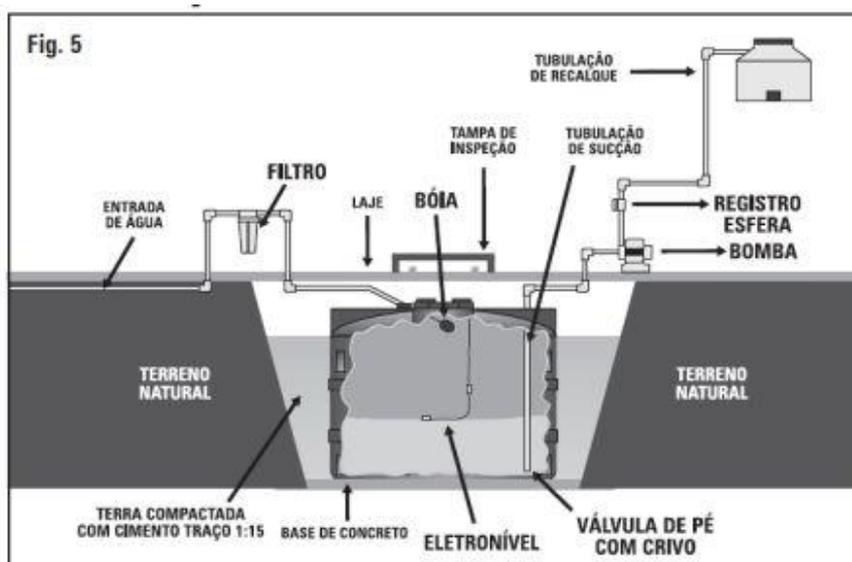
A água da chuva deve ser armazenada em reservatório independente, visto que não é indicada para consumo potável. Deste modo, a água pluvial não deve ser misturada com a água potável destinada a alimentar torneiras de cozinha, filtros, chuveiros, banheiras e lavatórios (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Ainda segundo o autor supracitado, em sistemas de coleta e aproveitamento de água pluvial, o reservatório é a parte mais dispendiosa do sistema, pois o custo varia de acordo com o tipo e com o tamanho do reservatório. Assim, escolher a melhor opção para o reservatório e

determinar apropriadamente o seu tamanho são itens decisivos para tornar o sistema de aproveitamento de água de chuva executável e viável economicamente.

Uma instalação generalista da cisterna fornecida no catálogo do fabricante Acqualimp pode ser vista na Figura 7.

Figura 7 – Instalação geral da cisterna equipada Acqualimp.



Fonte: Acqualimp, [201-].

2.3.1 Tipos de reservatório e métodos de dimensionamento

Os reservatórios de água de chuva podem ser elevados, apoiados sobre o solo, semienterrados e enterrados. Podem ser construídos de diferentes materiais, como concreto armado, alvenaria, fibra de vidro, aço, polietileno, entre outros, e podem ter diversos formatos. A escolha do local de instalação, do modelo e do material a ser utilizado deve ser feita verificando as condições do terreno (ANNECCHINI, 2005).

O autor Carvalho Júnior (2013) recomenda, preferencialmente, reservatório subterrâneo, tipo cisterna. Cita ainda que a opção por cisternas de polietileno garante diversas vantagens, tais como: flexibilidade, durabilidade, estanqueidade, economia de espaço durante a instalação, além de serem leves, fáceis de instalar e mais práticas de realizar manutenção.

O tamanho do reservatório dependerá de diversos fatores, entre eles tem-se: regime de chuvas local, área de captação, demanda, e o nível de risco aceitável. O tipo de consumo a que será destinada a água de chuva e a existência de outras fontes para suprimento deste, implicará

no grau de risco aceitável ao esvaziamento do reservatório (COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008).

Para o dimensionamento dos reservatórios, inicialmente, calcula-se o volume de água de chuva aproveitável. Assim, a norma NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta a Equação 4.

$$V = P \cdot A \cdot C \cdot \eta_{\text{fator de captação}} \quad (4)$$

em que:

V: volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável, em L;

P: precipitação média anual, mensal ou diária, em mm;

A: área de coleta, em m²;

C: coeficiente de escoamento superficial da cobertura; e

$\eta_{\text{fator de captação}}$: eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

O coeficiente de escoamento superficial da cobertura ou coeficiente de *runoff* é o coeficiente de perda de água da chuva devido à limpeza do telhado, perda por evaporação, perda na autolimpeza e outras. A Tabela 5 apresenta diferentes valores adotados por distintos autores e tipos de materiais de cobertura (HOFKES E FRASIER, 1996; KHAN, 2001; VAN DE BOSSCHE, 1997; WATERFALL, 2002; WILKEN, 1978).

Tabela 5 – Valores de coeficiente de *runoff* para diferentes materiais utilizados em telhados.

Material	Coeficiente de Escoamento	Autores
Telha de cerâmica	0,80 a 0,90	
Telha corrugada de metal	0,70 a 0,90	Hofkes e Frasier (1996)
Telhados em geral	0,70 a 0,95	Wilken (1978)
Telha de chapa corrugada	0,85	Khan (2001)
Telha de metal	0,90 a 0,95	Waterfall (2002)
Telha de cerâmica	0,75 a 0,95	Van de Bossche (1997)

Fonte: Tomaz (2003).

Então, o volume dos reservatórios pode ser dimensionado com base nos métodos apresentados na norma NBR 15527 (ABNT, 2007), sendo:

i. Método de Rippl

Neste método podem-se usar as séries históricas mensais ou diárias.

$$S_t = D_t - Q_t \quad (5)$$

$$Q_t = C \cdot \text{precipitação da chuva}_t \cdot \text{área de captação} \quad (6)$$

$$V = \sum S_t, \text{ somente para valores } S_t > 0 \quad (7)$$

Sendo: $\sum D_t < \sum Q_t$.

em que:

S_t : volume de água no reservatório no tempo t;

Q_t : volume de chuva aproveitável no tempo t;

D_t : demanda ou consumo no tempo t;

V : volume do reservatório; e

C : coeficiente de escoamento superficial.

ii. Método Prático Brasileiro (Método Azevedo Neto)

O volume de chuva é obtido pela Equação 8.

$$V = 0,042 \cdot P \cdot A \cdot T \quad (8)$$

em que:

P : valor numérico da precipitação média anual, em mm;

T : valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca;

A : valor numérico da área de coleta em projeção, em m²; e

V : valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, em L.

iii. Método Prático Inglês

O volume de chuva é obtido pela Equação 9.

$$V = 0,05 \cdot P \cdot A \quad (9)$$

em que:

P: valor numérico da precipitação média anual, em mm;

A: valor numérico da área de coleta em projeção, em m² e

V: valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, em L.

iv. Método da Simulação

Neste método a evaporação da água não deve ser levada em conta. Para um determinado mês, aplica-se a Equação 10 da continuidade a um reservatório finito.

$$S_t = Q_t + S_{t-1} - D_t \quad (10)$$

$$Q_t = C \cdot \text{precipitação da chuva} \cdot \text{área de captação} \quad (11)$$

Sendo que: $0 \leq S_t \leq V$

em que:

S_t : volume de água no reservatório no tempo t;

S_{t-1} : volume de água no reservatório no tempo t-1;

Q_t : volume de chuva aproveitável no tempo t;

D_t : demanda ou consumo no tempo t;

V: volume do reservatório; e

C: coeficiente de escoamento superficial.

Para este método, duas hipóteses devem ser feitas: o reservatório está cheio no início da contagem do tempo “t” e os dados históricos são representativos para as condições futuras.

v. Método Prático Alemão

Trata-se de um método empírico em que se torna o menor valor do volume do reservatório: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

$$V_{adotado} = \text{mín} (\text{vol. anual precipitado aproveitável e vol. anual de consumo}) \cdot 0,06 \quad (12)$$

$$V_{adotado} = \text{mín} (V; D) \cdot 0,06 \quad (13)$$

em que:

V: valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, em L;

D: valor numérico da demanda anual da água não potável, em L; e

$V_{adotado}$: valor numérico do volume de água do reservatório, em L.

vi. Método Prático Australiano

O volume de chuva é obtido pela Equação 14.

$$Q = A \cdot C \cdot (P - I) \quad (14)$$

em que:

C: coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P: precipitação média mensal, em mm;

I: interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm;

A: área de coleta, em m²; e

Q: volume mensal produzido pela chuva, em L.

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório.

$$V_t = Q_t + V_{t-1} - D_t \quad (15)$$

em que:

Q_t : volume mensal produzido pela chuva no mês t;

V_t : volume de água que está no tanque no fim do mês t;

V_{t-1} : volume de água que está no tanque no início do mês t ; e
 D_t : demanda mensal;

Observa-se, contudo, que para o primeiro mês, o reservatório é considerado vazio.

Quando $Q_t + V_{t-1} - D_t < 0$, então o $V_t = 0$. O volume do tanque escolhido será T .

Para determinar a falha do reservatório, utiliza-se a Equação 16.

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (16)$$

em que:

P_r : falha;

N_r : número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_t = 0$; e

N : número de meses considerados, geralmente 12 meses.

Assim, encontra-se pela Equação 17 a confiança do reservatório.

$$\text{Confiança} = 1 - P_r \quad (17)$$

Como mecanizado pela mesma norma, recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90% e 99%.

2.4 Concepção orçamentária na construção civil

A construção civil é uma atividade econômica que exerce grande influência no produto interno bruto (PIB) de qualquer país e possui efeitos expressivos na empregabilidade da sociedade (UNIEMP, 2010). Tal segmento econômico é uma atividade em que seu produto representa um grande investimento, tanto para as empresas quanto para seus clientes. Desta maneira, o processo de orçar um empreendimento torna-se um fator decisivo para empresas construtoras antes que a edificação seja projetada em detalhes e que os contratos de venda e de fornecimento sejam consolidados (AZEVEDO et al., 2011).

De acordo com Cardoso (2009), o orçamento é um documento que necessita de absoluta credibilidade e o seu planejamento aborda a elaboração de um roteiro de ações para atingir determinado fim. Executar um orçamento consiste em calcular todos os gastos de uma obra ou de um serviço de construção. Tem-se dois tipos de orçamento: o estimativo, baseado no projeto básico, e o definitivo, baseado no projeto executivo. Além disso, ele é composto por duas partes: os custos diretos (CD), representado por todos os valores constantes da planilha de custos, e o benefício e despesas indiretas (BDI), que consiste numa margem que se adiciona aos custos diretos para determinar o valor do orçamento. Depois de aprovado, então, o orçamento transforma-se em preço de venda (PV) (TISAKA, 2009). Desta forma, o PV pode ser obtido conforme apresentado na Equação 18.

$$PV = CD \cdot \left[1 + \frac{BDI}{100} \right] \quad (18)$$

Segundo o mesmo autor, os custos diretos são divididos em: o custo direto, composto pela soma de todos os gastos que serão incorporadas ao objeto principal do contrato, e o custo indireto, composto por serviços auxiliares para possibilitar a execução do objeto do contrato. Um exemplo de tabela de composição de preços para orçamento (TCPO) é mostrado na Tabela 6, em que são apresentados parâmetros quantitativos, de produtividade e de consumo necessários para a composição dos principais serviços utilizados na construção civil.

Tabela 6 – Exemplo de composição de preço para orçamento.

Insumos	Consumo (C)	Unidade	Preço (P)	Subtotal (CxP)
Pedreiro	0,92	h	R\$ 4,65	R\$ 4,28
Servente	1,1	h	R\$ 3,81	R\$ 4,19
Areia	0,023	m ²	R\$ 79,20	R\$ 1,82
Cal Hidratada	4,14	kg	R\$ 0,34	R\$ 1,41
Cimento	3,24	kg	R\$ 0,37	R\$ 1,20
Bloco de concreto 14x19x19 cm	13	un.	R\$ 1,92	R\$ 24,96
Leis Sociais			120%	R\$ 10,16
Benefícios e Despesas Indiretas			20%	R\$ 12,00
TOTAL (por m ²)				R\$ 60,02
Parede com 15m ² (3x5m)				R\$ 900,37

Fonte: TOGNETTI, 2011, adaptado.

Desta maneira, a fim de conhecer tais parâmetros, faz-se necessário o uso de fontes para a elaboração de um orçamento. No Brasil, o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) é indicado como fonte oficial de referência de preços de insumos e de custos de composições de serviços pelo Decreto 7983/2013 (BRASIL, 2013) e pela Lei 13.303/2016 (BRASIL, 2016).

Há também a Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (TCPO) gerida pela PINI, sendo referência de engenharia de custos no Brasil. Assim, são publicados e atualizados, periodicamente, relatórios que contemplam os insumos de materiais, mão-de-obra, equipamentos e composições, que representam os serviços mais frequentes na construção civil.

2.5 Análise econômica

Evidenciada a importância das instalações de coleta de água pluvial para fins não potáveis, faz-se necessário focar o estudo na sua viabilidade econômica, visto que a relação custo/benefício é de suma importância para a concretização da instalação desse sistema (FERNANDES; MEDEIROS NETO; MATTOS, 2007).

A análise econômica possui como objetivo a determinação do período de retorno dos gastos com a implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva. Para realizá-la, são contabilizados os custos de implantação, incluindo material, e custos com despesas de operação e manutenção do sistema, como o custo de energia elétrica para o bombeamento da água. Além disso, pode-se calcular o benefício gerado pela economia de água potável na edificação (ANNECCHINI, 2005).

A Tabela 7, apresenta uma pesquisa feita pelo autor supracitado a respeito da economia de água potável proporcionada pelo sistema de água de chuva, mostrando que pode-se poupar R\$ 6,09 por m³ de água potável economizada.

Tabela 7 - Valor da economia de água proporcionada pelo sistema de água de chuva a cada metro cúbico de água potável não consumido.

Tarifa	Valor (R\$/m ³)
Água consumida	R\$ 3,38
Taxa de esgoto	R\$ 2,71
Total	R\$ 6,09

Fonte: ANNECCHINI, 2005, adaptado.

Conforme Gomes (2005), para o cálculo do período de retorno do investimento utiliza-se a Equação 19 para gerar o preço presente dos custos anuais, adicionando-se o valor obtido ao custo do investimento do sistema.

$$P_A = P_a \cdot \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i \cdot (1 + i)^n} \right] \quad (19)$$

em que:

P_A : Preço presente dos custos anuais, em reais;

P_a : Custo anual com operação e manutenção, em reais;

n : Vida útil do projeto, em anos, correspondente ao período de atendimento das estruturas físicas projetadas, variando de 10 a 30 anos; e

i : Taxa de juros, porcentagem anual.

Ainda segundo Gomes (2005), os valores adotados para a análise de viabilidade econômica é de n igual a 20 anos, taxa de juros anual (i) igual 10% aa. e um custo com manutenção (P_a) de R\$100,00 por ano.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Lavras/MG, que possui uma área de 564,744 km² e aproximadamente 92.200 habitantes, segundo o último censo IBGE (2010). A densidade demográfica é de 163,26 hab./km². Está localizada a 919 metros de altitude, cujas coordenadas geográficas são: 21° 14' 42" Sul de Latitude e 45° 0' 0" Oeste de Longitude.

3.2 Objeto de estudo

O estudo foi direcionado a dois tipos de condomínios de múltiplas unidades habitacionais, um do tipo vertical e outro horizontal. Ambos possuem 9 habitações, contudo, no horizontal cada uma delas compõe uma unidade autônoma com térreo e 1º pavimento. Já no vertical, todas as habitações se encontram num único bloco do edifício, visto que esse possui três pavimentos e a cada nível estão dispostas três residências. A caracterização completa dos condomínios é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Caracterização das unidades habitacionais nos condomínios vertical e horizontal.

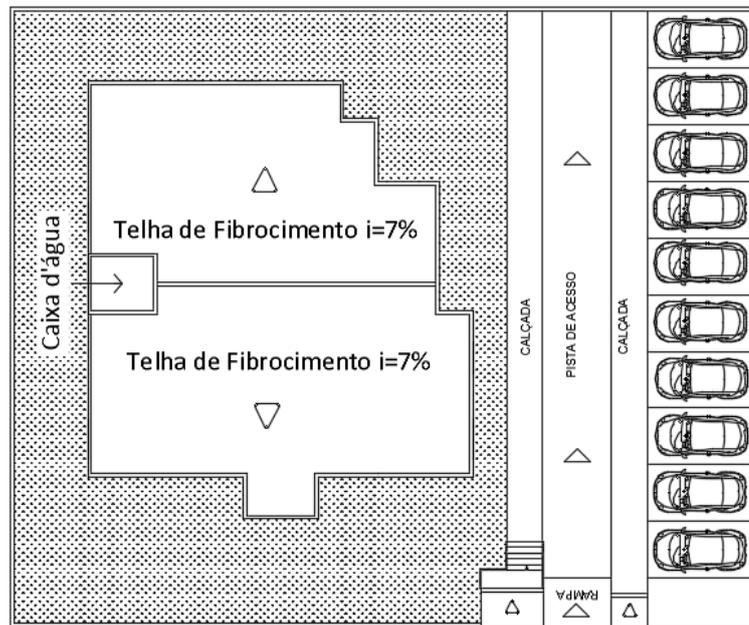
Condomínio	Habitação	WC	Lavabo	AS	Cozinha	Quarto	Varanda	Sala	Copa
Vertical	101,102,201,202,301 e 302	1	1	1	1	2	0	1	0
	103,203 e 303	2	1	1	1	3	1	2	1
Horizontal	101 a 106	1	1	1	1	2	0	1	0
	107 a 109	2	1	1	1	3	1	2	1

Fonte: O autor, 2019.

Nota: WC e AS referem-se a banheiros e a área de serviço, respectivamente.

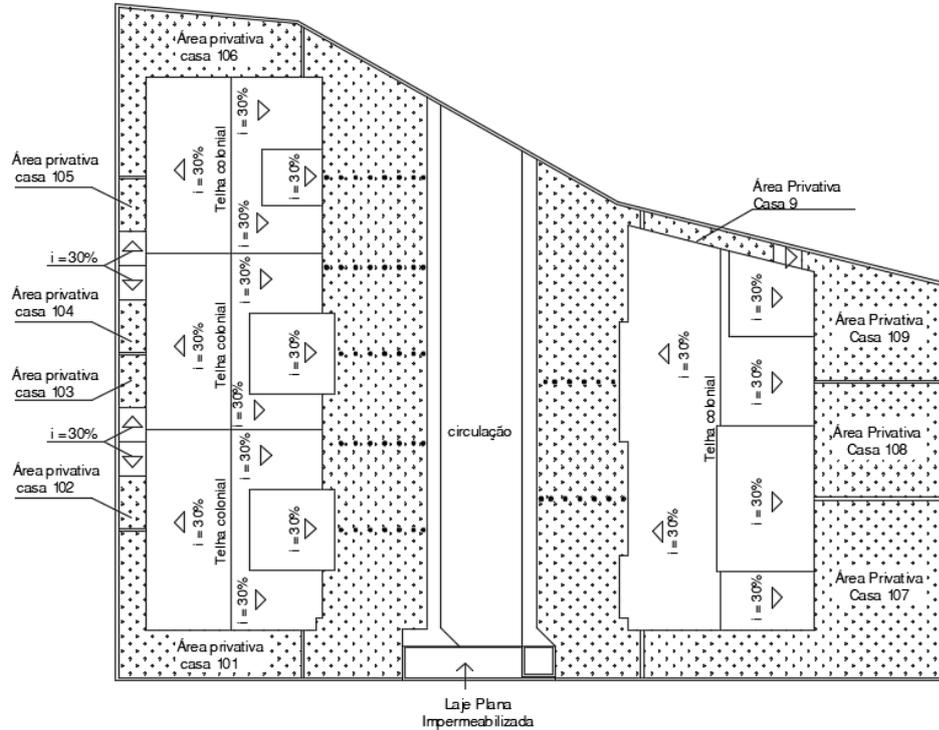
A vista superior dos condomínios vertical e horizontal, respectivamente, podem ser vistas nas Figuras 8 e 9, na qual é representada a inclinação do telhado, seguido das setas apontando a direção do escoamento.

Figura 8 – Vista superior do condomínio vertical.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 9 - Vista superior do condomínio horizontal.



Fonte: O autor, 2019.

A Tabela 9 apresenta o levantamento da área de captação pluvial para os dois condomínios.

Tabela 9 - Área de captação pluvial.

Identificação	Tipo de telha	Inclinação (%)	Área (m ²)
Condomínio vertical	Fibrocimento	7	260,64
Condomínio horizontal	Cerâmica	30	507,97

Fonte: O autor, 2019

3.3 Traçado das instalações de coleta de águas pluviais

Para realizar o traçado, inicialmente, foram identificados todos os dispositivos destinados a fins não potáveis, sendo esses as bacias sanitárias de ambos os condomínios. Então, a partir destes, foram consideradas todas as partes constituintes desse sistema, sendo: calhas, condutores verticais e horizontais, caixas de passagem, reservatórios inferior e superior, bombas e tubulações internas à residência. Além disso, como medida preventiva, foram instalados rufos para evitar que a água infiltre na alvenaria. A Figura 10 apresenta a legenda e simbologia utilizada nos projetos.

Figura 10 - Legenda e simbologia utilizada nos projetos.



Fonte: O autor, 2019.

3.4 Área de captação

No estudo em questão, apenas os telhados contribuíram com o sistema de captação de água da chuva. Caso a água da chuva fosse coletada em outros locais, além do telhado, necessitaria de tratamento, mesmo sendo utilizada para fins não potáveis, em função de conter maior quantidade de poeira, folhas, insetos, além de outros resíduos.

O cálculo da área de captação de água das coberturas foi realizado de acordo com o preconizado pela NBR 10844 (ABNT, 1989), verificando as plantas de cobertura das edificações e inclinações dos telhados.

3.5 Dados pluviométricos

Para realizar a pesquisa, buscou-se junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no módulo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMET), os dados de precipitação da cidade de Lavras, sendo utilizada a série histórica de chuvas mensais do ano de 1989 a 2018. A Estação Meteorológica possui código N° 83687, localizada na Latitude 21° 45' 00" Sul e na Longitude 45° 0' 0" Oeste. Com isso, por meio dos dados coletados, pôde-se determinar a precipitação média mensal e anual.

3.6 Demanda do consumo de água para fins não potáveis

Inicialmente, foi feito o cálculo populacional dos condomínios. Para tal, foi considerado a razão de 2 pessoas por quarto. Assim, por meio da Equação 20 foi possível encontrar a população total.

$$P_t = R_p \cdot (N_{H2} \cdot 2 + N_{H3} \cdot 3) \quad (20)$$

em que:

P_t : população total de cada condomínio;

R_p : razão de pessoas por quarto, $R = 2$;

N_{H2} : número de habitações com 2 quartos no condomínio; e

N_{H3} : número de habitações com 3 quartos no condomínio.

Foram então calculadas a demanda de água não potável nos condomínios. No estudo em questão, como apenas os vasos sanitários foram considerados como dispositivos abastecidos pelo sistema de captação de água da chuva, a demanda é somente de caráter interno.

Assim, para determinar o consumo de cada dispositivo, observou-se a Tabela 4. Adotou-se o volume de 6 litros por descarga e uma frequência de 6 descargas por habitante/dia. O cálculo da demanda pode ser realizado por meio da Equação 21.

$$Q_T = P_t \cdot R_V \cdot R_F \quad (21)$$

em que:

Q_T : demanda total de cada condomínio, em $\frac{L}{dia}$;

R_V : razão de litros de água necessários por descarga, $R_V = 6 \frac{L}{descarga}$; e

R_F : razão de descargas por habitante/dia, $R_F = 6 \frac{descargas}{habitante.dia}$.

3.7 Estimativa da produção de água pluvial

O cálculo do volume de água de chuva aproveitável pôde ser feito por meio da Equação 4. Assim, fez-se necessário determinar o coeficiente de escoamento superficial, então, observou-se a Tabela 5.

No condomínio vertical, o material da cobertura são telhas de fibrocimento. Já para o condomínio horizontal, são telhas cerâmicas. De acordo Wilken (1978), para telhados em geral o valor do coeficiente é de 0,80, sendo este o adotado no estudo.

A eficiência do sistema de captação foi fixada em 80%, em concordância com Rupp, Munarim e Ghisi (2011). Embora na pesquisa não tenha sido previsto descarte dos primeiros milímetros de chuva, há também perdas por absorção e evaporação que ocorrem quando a água entra em contato com a superfície de captação, justificando assim a perda de eficiência estimada em 20%.

3.8 Reservatórios de água pluvial

3.8.1 Reservatório superior

Para o condomínio vertical, o volume do reservatório superior foi igual à demanda diária de água pluvial total do condomínio, conforme calculado no item 3.6. Já para o condomínio horizontal, optou-se por utilizar um reservatório superior para cada residência. Assim, o volume do reservatório superior foi igual à demanda diária de água pluvial por unidade habitacional.

Como há dois padrões de residências, dois e três quartos, fez-se necessário calcular a população e demanda por residência para cada situação, utilizando as Equações 20 e 21, respectivamente. Tomou-se o cuidado de utilizar reservatórios com volume comercial imediatamente superior ao calculado e optou-se por reservatórios fabricados em polietileno.

3.8.2 Reservatório inferior

Os volumes dos reservatórios inferiores, para ambos os condomínios, foram estimados utilizando os métodos de Rippl, Prático Brasileiro e o da Simulação, todos referenciados pela NBR 15527 (ABNT, 2007), procurando-se estimar o melhor para cada um dos casos, o melhor volume de reservatório compatibilizando-o com a forma de manejo esperada do mesmo.

Para a escolha dos reservatórios inferiores, foram observados, principalmente, a viabilidade técnica. Optou-se por priorizar opções industrializadas e não havendo a dimensão desejada, sugeriu-se reservatórios moldados *in loco* do tipo enterrado.

i. Método de Rippl

Para o Método de Rippl, foram utilizados os dados da série histórica mensal. A Equação 22 apresenta o cálculo da demanda de água não potável mensal para cada condomínio.

$$D_{t,mensal} = N_{dia} \cdot Q_T \quad (22)$$

em que:

$D_{t,mensal}$: demanda mensal total de cada condomínio, em L;

N_{dia} : número de dias para cada mês; e

Q_T : demanda diária total de cada condomínio, em $\frac{L}{dia}$.

Utilizou-se então a Equação 5, que consiste na subtração da demanda total mensal pelo volume mensal de água de chuva aproveitável, obtido por meio da Equação 4, encontrando então o volume de água no reservatório em um mês.

Para cada mês, a Equação 5 foi aplicada. Assim, fez-se o somatório dos volumes obtidos para cada mês, excluindo-se os meses em que o volume de água no reservatório era negativo. Este cálculo é apresentado pela Equação 7.

ii. Método Prático Brasileiro (Método Azevedo Neto)

Para o cálculo do volume de água do reservatório pelo Método Prático Brasileiro, foram necessários alguns parâmetros. Para isto, utilizou-se os resultados obtidos do item 3.5, sendo eles os valores numéricos da precipitação média anual e o número de meses de poucas chuvas ou seca. Para determinação destes, foram considerados os meses com precipitação média inferior a 50% da média mensal.

Além disso, utilizou-se o valor numérico da área dos telhados, calculados no item 3.4. Assim, pôde-se calcular, por meio da Equação 8, o volume de água do reservatório.

iii. Método das Simulações

Para determinar a eficiência do sistema, ressaltou-se que a evaporação da água não é computada no método em questão, porém, este coeficiente não está relacionado apenas a evaporação, mas também à outras variáveis, como a absorção do telhado. Assim, adotou-se uma eficiência de 90% para que o cálculo do volume de chuva aproveitável em um mês (Equação 11) fosse feito. Além disso, calculou-se também a demanda mensal (Equação 22). Para ambos os cálculos, foram considerados todos os meses ao longo de um ano.

Por fim, aplicou-se a Equação 10 para obter o volume de água no reservatório no mês. Para isso, estipulou-se um valor para o volume inicial do reservatório como a média dos volumes obtidos pelos métodos de Rippl e Prático Brasileiro e que no mês antecedente ao início da contagem, ele estava vazio. Para mais, considerou-se que as séries históricas utilizadas são representativas para as condições futuras.

Assim, a partir da primeira estimativa, foram feitas tentativas, até que se pudesse obter um volume inicial, o qual juntamente com o balanço hídrico, permitisse que a demanda fosse suprida em todos os meses, ou seja, um funcionamento ótimo do sistema.

3.9 Elementos constituintes do sistema

As calhas adotadas foram do tipo PVC semicirculares. Para o dimensionamento das calhas, partiu-se da Equação 1, sendo determinada a intensidade máxima média de precipitação. Conforme discutido no item 2.2, para coberturas e terraços, adotando $TR = 5$ anos e $t = 5$ minutos.

Além disso, as variáveis K , a , b e c , que são dependentes da localidade, puderam ser determinadas por meio do software Plúvio 2.1, elaborado pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2006).

Os valores dos parâmetros de ajustes locais para a cidade de Lavras-MG são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros de ajuste para a cidade de Lavras-MG.

Constantes de ajuste locais	Valor
K	10224,81
a	0,187
b	56,281
c	1,149

Fonte: Pluvio 2.1 (UFV, 2006).

Em seguida, utilizou-se a Equação 2, obtendo-se então a vazão coletada e assim, observou-se a Tabela 1 para a determinação do diâmetro da calha em função da vazão coletada e da inclinação desejada.

Para os condutores vertical e horizontal, o material adotado foi o PVC. O dimensionamento dos condutores horizontais também foi iniciado pela Equação 1 e em sequência utilizada a Equação 2. Por fim, observando a Tabela 3 foi possível encontrar os diâmetros dos condutores horizontais e suas inclinações, para que pudesse ser escoada a vazão coletada.

Os condutores verticais puderam ser dimensionados por meio da Tabela 2. Em função da área de contribuição do telhado e considerando chuva muito forte, que é a situação mais crítica, obtiveram-se os diâmetros dos condutores em questão.

Além disso, foram consideradas caixas de areia com tampa cega no pavimento térreo, sendo intermediárias aos condutores verticais e horizontais. Elas atuam como um mecanismo de limpeza, pois retém certa quantidade de detritos, como areia e folhas. Optou-se pela tampa cega, pois como previsto, os telhados devem ser as únicas superfícies contribuintes ao sistema.

As bombas selecionadas foram do tipo centrífuga, pertencente à classe das turbobombas, que possuem um rotor giratório capaz de transmitir ao líquido um acréscimo de energia cinética. Além disso, para ambos os condomínios, foi adotado uma instalação hidráulica em paralelo, porém dimensionadas para operação unitária, sendo uma bomba reserva da outra, conferindo ao sistema maior segurança, maior flexibilidade de operação e facilitando futuras manutenções. Optou-se também por utilizar bombas de sucção negativa (afogada).

Inicialmente, calculou-se a vazão de bombeamento por meio da Equação 23.

$$Q_R = \frac{\sum V_{R,SUP}}{t_R} \quad (23)$$

em que:

Q_R : vazão de bombeamento, em $\frac{m^3}{s}$;

$\sum V_{R,SUP}$: somatório dos volumes dos reservatórios superiores abastecidos simultaneamente, em m^3 ; e

t_R : tempo necessário para encher os reservatórios, em segundos.

Depois, calculou-se a altura manométrica (Equação 24), que representa a altura e a distância que o líquido consegue vencer.

$$H_m = H_s + H_r \quad (24)$$

em que:

H_m : altura manométrica, em m;

H_s : altura total de sucção, em m; e

H_r : altura total de recalque, em m.

Para tal, calculou-se as alturas totais de sucção e recalque, utilizando a Equação 25 e Equação 26, respectivamente.

$$H_s = -h_s + \Delta h_s \quad (25)$$

$$H_r = h_r + \Delta h_r \quad (26)$$

em que:

h_s : altura estática de sucção, em m;

Δh_s : perda de carga na tubulação de sucção, em m;

h_r : altura estática de recalque, em m; e

Δh_r : perda de carga na tubulação de recalque, em m.

Para a determinação de h_s , considerou-se, em ambos os casos, o nível d'água do reservatório inferior quando esse está preenchido com 10% da sua capacidade total, verificando assim, a situação mais crítica, ou seja, quando o reservatório é esvaziado.

Para o cálculo das perdas de carga nas tubulações utilizou-se o Método dos Comprimentos Virtuais.

Para o caso de reservatórios pequenos, até 2000 litros aproximadamente, considerou-se $t_R = 1$ hora. Além disso, no condomínio horizontal, foram feitos dois cálculos para a vazão de bombeamento. No primeiro, considerou-se apenas os volumes dos reservatórios superiores referentes as residências de dois quartos. No outro, contabilizou-se os volumes dos reservatórios superiores das residências de três quartos. Assim, verificou-se em qual situação ocorreu uma maior vazão de bombeamento, sendo essa a adotada para o dimensionamento bombas.

Por meio do manual técnico da SCHNEIDER (2019), tabela de seleção de bombas e motobombas, selecionou-se uma bomba em função da vazão de bombeamento e da altura manométrica calculadas. Além disso, para a escolha dessa, consultou-se o ábaco referente a rotação de 3500 rpm, visto que esse tipo são, em geral, bombas menores e com um custo menor. Foram escolhidas bombas idênticas para a associação em paralelo.

Para o dimensionamento da tubulação de recalque, utilizou-se a Equação 27, conforme prescreve a NBR 5626 (ABNT, 1998).

$$D_R = 0,586 \cdot X^{0,25} \cdot \sqrt{Q_R} \quad (27)$$

em que:

D_R : diâmetro da tubulação de recalque, em m;

X : número de horas de funcionamento por dia; e

Q_R : vazão de bombeamento, considerando o volume de todos os reservatórios de cada condomínio, em $\frac{m^3}{s}$.

Para a tubulação de sucção, adotou-se o diâmetro comercial imediatamente superior ao diâmetro de recalque. Ambas as tubulações selecionadas foram de PVC.

Para as tubulações que alimentam as bacias sanitárias, ou seja, os trechos que partem do reservatório superior, barriletes, colunas e ramais de distribuição, foram dimensionados em conformidade com a NBR 5626 (ABNT, 1998), utilizando-se tubulações de PVC.

3.10 Orçamento dos elementos hidráulicos

Foi realizado um orçamento do material hidráulico necessário para o uso de águas pluviais para cada condomínio. Para efeito de estudo, foram listados apenas os elementos hidráulicos constituintes básicos, desprezando a mão-de-obra de instalação. Assim, foram contabilizados os seus respectivos consumos, observando a unidade de medida pela qual o produto é comercializado.

Com isso, tornou-se possível realizar o orçamento, tendo como fonte a planilha de preços de insumos da SINAPI, utilizando como localidade de referência o estado de Minas Gerais e mês de coleta 07/2019.

3.11 Análise econômica

Para realizar o estudo da viabilidade econômica, foi feito o cálculo do período de retorno do investimento. Para tal, calculou-se o custo anual com operação e manutenção utilizando como referência o trabalho de Anecchini (2005). Para o custo com manutenção, $C_{man.}$, em seu estudo, o autor considerou o valor de R\$100,00/ano. Assim, determinou-se a porcentagem deste em relação ao salário mínimo do ano de 2005 e por fim, foi convertida essa porcentagem para o salário do ano de 2018. Além deste levantamento, calculou-se o custo energético anual. A potência da bomba foi considerada para cada situação, além do tempo de funcionamento da

mesma e a tarifa cobrada pela CEMIG (2019) por kWh, para residência normal e bandeira verde (Equação 28).

$$C_{energia} = (Pot \cdot t_{func.} \cdot T_{energia}) \cdot 365 \quad (28)$$

em que:

$C_{energia}$: custo energético anual, em R\$;

Pot : potência da bomba, em kW;

$t_{func.}$: tempo de funcionamento diário da bomba, em h; e

$T_{energia}$: tarifa cobrada, em R\$/kWh.

Então, foi feito um estudo da economia de água potável proporcionada pelo sistema de aproveitamento da água da chuva e depois, foi possível determinar o tempo necessário para retornar o valor do investimento inicial.

A partir de dados fornecidos por ARSAE-MG (2019), identificou-se as tarifas aplicadas aos usuários pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), empresa de capital aberto, responsável pela prestação de serviços de saneamento no município de Lavras – MG.

As tarifas aplicáveis aos usuários pela COPASA para a categoria residencial são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Tarifas aplicáveis aos usuários pela COPASA para a categoria residencial.

	Faixas	Tarifas			Unidade
		Água	EDC	EDT	
Residencial	Fixa	17,490	5,560	17,010	R\$/mês
	0 a 5 m ³	1,340	0,420	1,320	R\$/m ³
	> 5 a 10 m ³	3,403	1,065	3,318	R\$/m ³
	> 10 a 15 m ³	6,935	2,177	6,757	R\$/m ³
	> 15 a 20 m ³	8,565	2,669	8,354	R\$/m ³
	> 20 a 40 m ³	9,931	3,059	9,701	R\$/m ³
	> 40 m ³	15,632	4,853	15,255	R\$/m ³

Fonte: ARSAE-MG, 2019.

Nota: EDC e EDT referem-se a esgotamento dinâmico com coleta e a esgotamento dinâmico com coleta e tratamento, respectivamente.

Com isso, obteve-se o valor economizado de água potável, por meio da Equação 29, aplicando as tarifas de abastecimento de água e de EDT e empregando como volume não utilizado de água potável a demanda de água não potável, demonstrada no item 3.6.

$$E_{a.p} = [T_{\text{água,fixa}} + T_{\text{esgoto,EDT,fixa}} + \sum V_{C,\text{faixa}} \cdot (T_{\text{água,faixa}} + T_{\text{esgoto,EDT,faixa}})] \cdot 12 \quad (29)$$

em que:

$E_{a.p}$: economia de água potável, em $\frac{R\$}{\text{ano}}$;

$V_{C,\text{faixa}}$: volume de água potável economizado, por faixa de consumo, em m^3 ;

$T_{\text{água,fixa}}$: tarifa fixa referente ao abastecimento de água, em $\frac{R\$}{\text{mês}}$;

$T_{\text{água,faixa}}$: tarifa por faixa referente ao abastecimento de água, em $\frac{R\$}{\text{m}^3}$;

$T_{\text{esgoto,EDT,fixa}}$: tarifa fixa referente a coleta e tratamento de esgoto, em $\frac{R\$}{\text{mês}}$; e

$T_{\text{esgoto,EDT,faixa}}$: tarifa por faixa referente a coleta e tratamento de esgoto, em $\frac{R\$}{\text{m}^3}$.

Deste modo, para avaliar o tempo de retorno do investimento, utilizou-se o Método do Payback Descontado. No ano inicial, considerou-se um fluxo negativo referente ao valor do investimento. Nos períodos posteriores, o fluxo foi a diferença entre a economia anual na conta de água e o custo de operação e manutenção anual. Assim, foi possível calcular os fluxos descontados para cada período (Equação 30).

$$F_{\text{descont.}} = \frac{[E_{a.p} - (C_{\text{man.}} + C_{\text{energia}})]}{(1 + i)^{n'}} \quad (30)$$

em que:

$F_{\text{descont.}}$: fluxo descontado no período, em R\$;

n' : período em análise; e

i : taxa de juros, porcentagem anual.

A taxa de juros utilizada foi de 6,5 % ao ano, valor da taxa básica de juros do ano de 2018. Assim, elaborou-se uma planilha, anotando período, fluxo, fluxo descontado e saldo

acumulativo descontado. Por meio dos dados obtidos, pôde-se então calcular o tempo de retorno descontado, como mostra a Equação 31.

$$N_{p.descontado} = N_{a,neg.} - \frac{S_{a,neg.}}{F_{a,seg.}} \quad (31)$$

em que:

$N_{p.descontado}$: número de anos referente ao payback descontado do projeto;

$N_{a,neg.}$: ano do último saldo negativo;

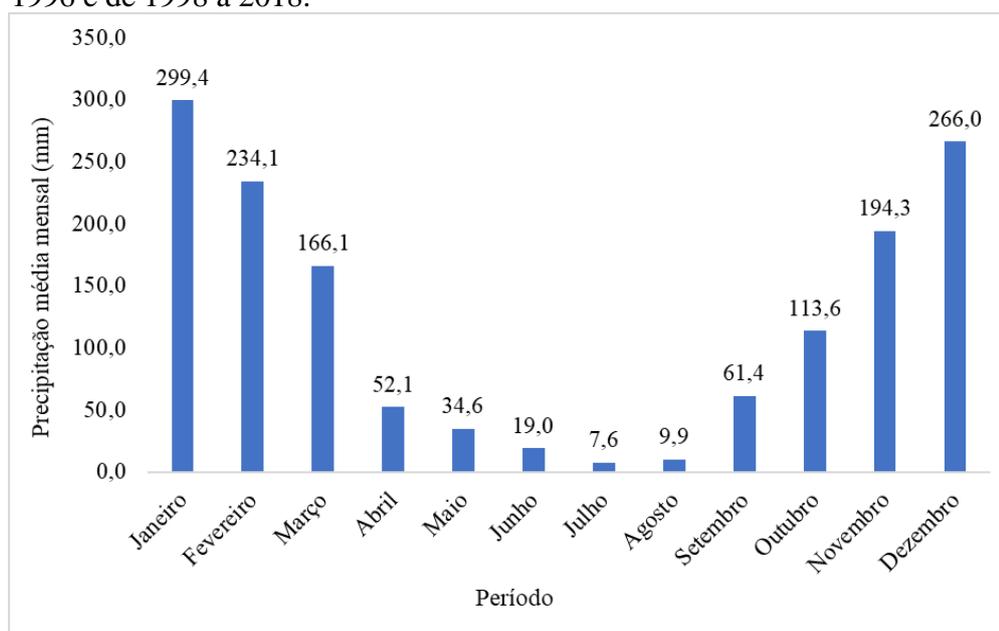
$S_{a,neg.}$: saldo do último ano negativo; e

$F_{a,seg.}$: fluxo do ano seguinte.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de precipitação média mensal para o município de Lavras-MG, a partir das séries históricas de precipitação obtidas para os anos de 1989, 1991, 1993, 1995, 1996 e de 1998 a 2018 são apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Precipitação média mensal para o município de Lavras-MG obtida por meio das séries históricas de precipitação obtidas para os anos de 1989, 1991, 1993, 1995, 1996 e de 1998 a 2018.



Fonte: O autor, 2019.

Considerando o mesmo intervalo de tempo, o valor da precipitação média anual calculado foi de 1371,7 mm. Basicamente, percebe-se que existem dois períodos: chuvoso e seco. De outubro a março, a precipitação média mensal é superior a 100 mm e inferior a 300 mm, configurando, assim, o período chuvoso. Já de abril a setembro, a média máxima aproxima-se de 60 mm, enquanto o valor mínimo de 8 mm, caracterizando o período seco.

Embora os traçados de ambas as concepções arquitetônicas possuam o mesmo objetivo, pode-se afirmar que o sistema de captação e uso de água pluvial para o condomínio horizontal se mostrou mais complexo do que para o condomínio vertical. Essa discrepância está atrelada a diversos fatores.

Devido a uma área de captação maior e dividida em dois blocos, o condomínio horizontal apresentou uma maior quantidade e extensão de elementos hidráulicos comparando-se com o outro condomínio.

No condomínio vertical foi adotado um reservatório superior responsável por abastecer todas as unidades. Assim, pôde-se conceber uma instalação hidráulica predial mais econômica. Todavia, no condomínio horizontal, cada habitação possui sua caixa d'água, requerendo então uma rede de distribuição mais extensa e onerosa.

Os valores obtidos para as demandas diárias por recurso hídrico não potável em escala total, por unidade de 2 quartos e por unidade de 3 quartos são descritos na Tabela 12.

Tabela 12- Demandas diárias dos condomínios de recurso hídrico não potável.

Demanda	Volume (L/dia)
Total	1512
Por unidade de 2 quartos	144
Por unidade de 3 quartos	216

Fonte: O autor, 2019.

Percebe-se que para as unidades de 3 quartos, houve uma maior demanda diária. Isso ocorreu, pois nesse tipo de habitação há 2 banheiros e 1 lavabo, diferente das unidades com 2 quartos, nas quais existem apenas 1 banheiro e 1 lavabo. Assim, tem-se que a diferença entre as unidades é de uma bacia sanitária, sendo essa responsável por uma demanda de 72 L/dia.

As demandas totais mensais calculas ao longo de todos os meses do ano, para ambos os condomínios podem ser vistas na Tabela 13. As diferenças de volumes entre os meses estão relacionadas com o número de dias que cada mês possui.

Tabela 13 – Demandas totais mensais por recurso hídrico não potável nos condomínios estudados.

Mês	Demanda (L)
Janeiro	46872
Fevereiro	42336
Março	46872
Abril	45360
Maio	46872
Junho	45360
Julho	46872
Agosto	46872
Setembro	45360
Outubro	46872
Novembro	45360
Dezembro	46872
Total	551880

Fonte: O autor, 2019.

Já os valores do volume mensal de água pluvial a ser captado pelos condomínios vertical e horizontal são mostrados na Tabela 14.

Tabela 14- Volume mensal de água pluvial a ser captado pelos condomínios vertical e horizontal.

Mês	Volume aproveitável (L)	
	Condomínio Vertical	Condomínio Horizontal
Janeiro	49934	97319
Fevereiro	39042	76091
Março	27708	54001
Abril	8698	16951
Maio	5776	11257
Junho	3169	6177
Julho	1263	2461
Agosto	1648	3213
Setembro	10234	19946
Outubro	18952	36936
Novembro	32407	63159
Dezembro	44376	86486
Total	243207	473997

Fonte: O autor, 2019.

Analisando os valores totais, nota-se que o volume aproveitável de chuva no condomínio horizontal é quase o dobro do vertical. Essa discrepância está associada ao fato da área de captação do condomínio horizontal ser, praticamente, 1,95 vezes maior.

Os volumes calculados dos reservatórios superiores para unidades do condomínio vertical e o reservatório único para o horizontal são mostrados na Tabela 15.

Tabela 15 – Volumes dos reservatórios superiores calculados para os condomínios vertical e horizontal.

Condomínio vertical	Volume (L)	
	Condomínio horizontal	
	Unidade de 2 quartos	Unidade de 3 quartos
1512	144	216

Fonte: O autor, 2019.

Nota-se que o volume do reservatório superior para a unidade de 3 quartos é cerca de 50% maior comparando-se a de 2 quartos. Quanto aos reservatórios inferiores, os resultados

obtidos para os volumes destes pelos três métodos de cálculo propostos nesse estudo, são mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 - Volumes dos reservatórios inferiores calculados pelos Métodos de Rippl, Prático Brasileiro e Simulações para os condomínios estudados.

Método de cálculo	Volume (L)	
	Condomínio vertical	Condomínio horizontal
Rippl	311736	226627
Prático Brasileiro	90094	175589
Simulações	248962	98580

Fonte: O autor, 2019.

Percebeu-se que para ambos os condomínios o Método de Rippl foi o que forneceu um maior volume de reservatório. Segundo Souza et al. (2016), mesmo gerando volumes de armazenamento elevados, esse método não garante, necessariamente, atendimento total à demanda, pois em alguns meses o volume demandado é maior que o volume possível de ser armazenado.

Embora a demanda e a precipitação média mensal sejam as mesmas nos condomínios, é possível notar que para o condomínio horizontal o volume de reservatório foi menor para o Método de Rippl. Isso ocorreu, pois, a área de captação pluvial nesse é maior do que para o condomínio vertical, implicando então num maior volume aproveitável de chuva. Assim, o resultado da subtração da demanda por esse resultou num valor menor de volume armazenado.

Brandão e Marcon (2018) sugerem que o detalhamento do Método de Rippl pela NBR 15527 (ABNT, 2007) é insuficiente. Isso ocorre, pois na norma é apresentado que o volume de reservatório deve ser obtido pelo somatório de todos os valores maiores que zero entre a diferença da demanda e o volume mensal de água aproveitável. Entretanto, esse valor deve ser obtido pelas diferenças acumuladas entre a demanda e o volume de água captável (McMACHON, 1993).

De acordo com Amorim e Pereira (2008), o método em questão é mais adequado para projetos maiores, como indústrias. Além disso, Fendrich (2009) afirma que, geralmente, utiliza-se o Método de Rippl para regularização de vazão de estiagem, captações para abastecimento público, em hidroelétricas e açudes, por exemplo. E que o mesmo não é adequado para o dimensionamento de reservatórios de águas pluviais.

Para o cálculo do volume pelo Método Prático Brasileiro, o período de pouca chuva ou seca considerado foi de 6 meses. Assim, de abril a agosto, a precipitação média foi inferior a 60,8 mm, sendo esse valor correspondente a 50 por cento da precipitação média mensal de Lavras- MG. Como a NBR 15527 (ABNT, 2007) não detalha os critérios de escolha dos meses com pouca chuva ou seca, esse pode apresentar variações de acordo com o projetista e assim, alterar o resultado final para um mesmo projeto.

Como os dois condomínios estão situados no mesmo município, é possível notar que o volume do reservatório varia somente com o aumento da área de captação pluvial. Assim, considerando o Método Prático Brasileiro em virtude de o condomínio horizontal apresentar maior área de coleta, esse mesmo possui um maior volume de reservatório se comparado com o do condomínio vertical. Para o horizontal, o valor de volume calculado para o reservatório inferior foi o segundo maior entre os métodos. Já para o vertical, tal valor foi o menor entre todos.

O Método Prático Brasileiro não estima a demanda. Assim, Brandão e Marcon (2018) verificaram os níveis de garantia de abastecimento ao sistema utilizando o Método Prático Brasileiro. Como resultado, obteve-se que quanto maior a superfície de captação, maiores serão os níveis de garantia de abastecimento. Seguindo essa análise, para esse método, o dimensionamento do condomínio horizontal gera maior garantia de abastecimento.

Segundo Amorim e Pereira (2008), os métodos práticos são mais indicados em residências unifamiliares ou em pequenos estabelecimentos, por serem menos complexos e de fácil aplicação. No entanto, não existe nenhuma restrição na aplicação de qualquer método a diferentes tipologias de edificação.

Já para o Método das Simulações, o volume do reservatório de armazenamento para o condomínio horizontal foi menor. Para o condomínio vertical foi o segundo maior valor dentre todos os métodos. Houve uma grande discrepância entre volumes nestes, devido à área de captação pluvial, maior no condomínio horizontal. Nesse método e para ambos os condomínios, o volume de água de chuva armazenado foi o menor possível e suficiente para suprir o consumo de água pluvial total.

De acordo com Brandão e Marcon (2018), o Método das Simulações avalia o comportamento do reservatório sugerido inicialmente, o que pode trazer informações mais relevantes ao dimensionamento de cisternas. Esse é um método de tentativas e erros, utilizado para acompanhar e analisar a eficiência do volume de reservatório selecionado para o sistema de captação, visando evitar gastos excessivos, e também evitar a ineficiência na economia de água (TOMAZ, 2011).

Segundo Lopes e Miranda (2016), o método em questão resulta em um valor do reservatório de água pluvial baseado no fator pluviométrico, observando-se os meses em que houve déficit de chuva e resultando em tamanhos ideais para armazenamento da água de chuva para os meses em que há pouca precipitação.

Em resumo, constatou-se que a área de captação pluvial foi o fator determinante para as diferenças de volumes entre os condomínios em um mesmo método. Para as mesmas condições pluviométricas e de demandas, a área de captação influencia no volume para os diferentes métodos, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Influência da área de captação de águas pluviais no volume do reservatório.

Método de cálculo	Área de captação	Volume do reservatório
Rippl	Maior	Menor
Prático Brasileiro	Maior	Maior
Simulações	Maior	Menor

Fonte: O autor, 2019.

Após o cálculo dos reservatórios superiores, que foram apresentados na Tabela 15, consultou-se o fabricante FORTLEV ([201-]), catálogo de caixa d'água de polietileno e selecionou-se os produtos com o valor comercial imediatamente superior àquele calculado, os quais estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Reservatórios superiores em polietileno selecionados para os condomínios estudados.

Condomínio vertical	Volume (L)	
	Condomínio horizontal	
	Unidade de 2 quartos	Unidade de 3 quartos
2000	150	250

Fonte: O autor, 2019.

Nota-se que o volume da caixa d'água para as unidades de 3 quartos é aproximadamente 70% maior do que para unidades de 2 quartos. Além disso, o volume total armazenado nos reservatórios superiores do condomínio horizontal é de 1650 litros, sendo então o volume armazenado no reservatório superior do condomínio vertical cerca de 21,2% maior.

Para a escolha do volume do reservatório inferior, observou-se a Tabela 16, e adotou-se o menor valor calculado de volume para cada condomínio. Assim, consultou-se o fabricante

FIBRATEC ([201-]), catálogo de reservatório de grandes volumes, feitos de poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV).

Selecionou-se o reservatório de capacidade de 100000 litros, de diâmetro 3200 mm e altura 13200 mm para os dois condomínios. Os resultados são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Volumes dos reservatórios inferiores adotados.

Condomínio	Volume calculado (L)	Volume comercial adotado (L)	Método de cálculo
Vertical	90094	100000	Prático Brasileiro
Horizontal	98580	100000	Simulações

Fonte: O autor, 2019.

Embora o volume calculado destoe em quase 10% entre os condomínios, nota-se que o volume adotado foi o mesmo. Isso ocorre, pois, em ambos os casos foi escolhido o valor comercial imediatamente superior ao calculado.

Além disso, tomou-se o cuidado de selecionar o reservatório com o melhor custo benefício para a capacidade requisitada. De acordo com o fabricante, caso fosse adotado soluções com maior diâmetro e conseqüentemente menor altura, acarretaria condições de transporte mais complexas e assim, aumentando o valor do produto.

Encontrou-se um valor de 122,10 mm/h para a intensidade máxima média de precipitação determinada pela Equação 1. Com isso, as vazões de projeto máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) e mínima ($Q_{m\acute{i}n}$) calculadas, declividade, diâmetro e quantidade das calhas semicirculares selecionadas para os condomínios estudados são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – $Q_{m\acute{a}x}$., $Q_{m\acute{i}n}$., declividade, diâmetro e quantidade das calhas semicirculares selecionadas para os condomínios estudados.

Condomínio	$Q_{m\acute{a}x}$. calculada (L/min)	$Q_{m\acute{i}n}$. calculada (L/min)	Declividade (%)	Diâmetro (mm)	Quantidade (m)
Vertical	118,78	24,51	0,5	100	32,5
Horizontal	110,37	2,64	0,5	100	121,6

Fonte: O autor, 2019.

Analisando os resultados, nota-se que as vazões de projeto máximas para ambos os condomínios se aproximaram. Já para vazões de projeto mínimas, houve uma considerável diferença entre condomínios. Como no condomínio horizontal existe maior área e essas são

subdivididas em mais regiões, nas quais a área de contribuição era menor, gerou-se vazões de projeto reduzidas. Além disso, todas as calhas de ambos os projetos se encaixaram no diâmetro de 100 mm e declividade 0,5%, uma vez que esta configuração suporta até 130 L/min.

As dimensões dos condutores verticais e horizontais dos condomínios são apresentadas na Tabela 21 e Tabela 22, respectivamente.

Tabela 21 – Diâmetro e quantidade dos condutores verticais selecionados para os condomínios estudados.

Condomínio	Diâmetro (mm)	Quantidade (m)
Vertical	75	26,1
	100	34,8
Horizontal	75	103
	100	17,7

Fonte: O autor, 2019.

Embora na Tabela 2 seja sugerido condutores verticais de 50 mm, no trabalho utilizou-se diâmetros internos superiores a 70 mm, conforme recomenda a NBR 10844 (ABNT,1989). No condomínio horizontal foram selecionados uma maior quantidade de condutores verticais de 75 mm. Já para o vertical, o diâmetro de 100 mm prevaleceu.

Tabela 22 - Diâmetro e quantidade dos condutores horizontais selecionados para os condomínios estudados.

Condomínio	Diâmetro (mm)	Quantidade (m)
Vertical	50	12,6
	75	14,1
	100	27,7
	125	10,0
Horizontal	50	27,8
	75	48,7
	100	38,0
	125	11,1

Fonte: O autor, 2019.

Analisando as quantidades, em metro linear, dos condutores horizontais, nota-se que o sistema do condomínio horizontal é cerca de 95% maior em relação ao vertical. Ainda, para o condomínio vertical o diâmetro de 100 mm foi o mais usual, enquanto que para o horizontal foi de 75 mm. Para ambos os condomínios, 50 mm e 125 mm foram o menor e maior diâmetro selecionado, respectivamente.

O quantitativo de caixas de areia utilizadas no estudo é apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – Quantitativo das caixas de areia selecionadas, corpo e tampa cega, para os condomínios estudados.

Condomínio	Produto	
	Corpo caixa de areia DN 300 (UN)	Tampa cega DN 300 (UN)
Vertical	6	6
Horizontal	21	21

Fonte: O autor, 2019.

Nota: DN refere-se a diâmetro nominal.

No condomínio horizontal, por apresentar um sistema de captação de água pluvial mais complexo, foram necessárias maiores quantidades de caixas de areia, afim de conectar os condutores verticais com os horizontais.

Os valores calculados para as vazões de bombeamento, segundo a Equação 23, para cada caso estudado são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Vazão de bombeamento.

Condomínio	Vazão (L/s)	
	Condomínio horizontal	
	Setor de unidades de dois quartos	Setor de unidades de três quartos
vertical	0,56	0,21

Fonte: O autor, 2019.

Assim, adotou-se como vazão de bombeamento para o condomínio horizontal o valor calculado para o setor de unidades de dois quartos, situação mais crítica. Os valores adotados para as tubulações de recalque, Equação 25, e sucção são mostrados na Tabela 25. Para o cálculo dos diâmetros, adotou-se tempo de enchimento dos reservatórios e de funcionamento da bomba iguais a uma hora.

Tabela 25 – Diâmetro das tubulações de recalque e sucção adotados.

Condomínio	Sucção		Recalque	
	Diâmetro (mm)	Quantidade (m)	Diâmetro (mm)	Quantidade (m)
Vertical	25	0,7	20	12,5
Horizontal	25	0,7	20	110,2

Fonte: O autor, 2019.

As bombas selecionadas para os condomínios estudados, por meio do fabricante SCHNEIDER (2019), são apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 – Altura manométrica, vazão de bombeamento, potência do motor, modelo da bomba e suas quantidades para os condomínios estudados.

Condomínio	Hm (m)	Qr (m ³ /h)	Potência do motor (CV)	Modelo	Quantidade (UN)
Vertical	16	2,0	1/2	BC-91 S/T 1/2 cv	2
Horizontal	11	0,9	1/6	BC-91 S/T 1/6 cv	2

Fonte: O autor, 2019.

Conforme já dito, considerou-se o período de estiagem para dimensionamento das bombas, adotando-se altura de água no reservatório equivalente a 10% da máxima. Assim, calculou-se as alturas manométricas, Equação 24, apresentadas na Tabela 26. Porém, caso o reservatório estivesse com sua capacidade máxima, para o condomínio horizontal, não há a necessidade de funcionamento do sistema de bombeamento, sendo a água escoada por gravidade. Isso ocorre em situações em que a altura manométrica apresenta valor negativo.

Nota-se que a altura manométrica para o condomínio vertical foi cerca de 45% maior do que altura do horizontal. Isso ocorreu, principalmente, pela maior altura de recalque do condomínio vertical. No projeto em questão, considerou-se que as bombas seriam instaladas em uma abertura no solo de diâmetro e profundidade iguais a 0,5 m.

As dimensões e o quantitativo das tubulações que abastecem as bacias sanitárias são apontados na Tabela 27.

Tabela 27 – Diâmetro e quantidade das tubulações que abastecem as bacias sanitárias para os condomínios estudados.

Condomínio	Diâmetro (mm)	Quantidade (m)
Vertical	20	39,7
	25	43,6
	32	11,2
Horizontal	20	97,4

Fonte: O autor, 2019.

Verifica-se que no condomínio vertical existiram tubulações com diâmetros variados. Isso ocorreu, pois nessa situação as tubulações destinadas a abastecer as bacias sanitárias foram iniciadas a partir de um único reservatório superior. Assim, nos trechos iniciais, como os barriletes, foram necessários tubos com diâmetros superiores para atender maiores vazões. No caso do condomínio horizontal, foram empregadas apenas o diâmetro mínimo estabelecido pela

NBR 5626 (ABNT, 1998), visto que cada unidade possuiu um sistema individualizado de abastecimento.

Os orçamentos dos elementos hidráulicos básicos para os condomínios vertical e horizontal são apresentados na Tabela 28 e Tabela 29, respectivamente.

Tabela 28 - Orçamento dos elementos hidráulicos básicos do condomínio vertical.

Item	Insumos	Consumo	Unidade	Preço (R\$)	Subtotal (R\$)
1	Bomba de água Schneider centrífuga BC-91 S 1/2 CV trifásico (rotor fechado de alumínio)	1	UN	759,00	759,00
2	Calha pluvial de PVC, diâmetro 100 mm, comprimento de 3 m	11	UN	41,03	444,49
3	Caixa d'água 2000 litros polietileno Fortlev	1	UN	736,74	736,74
4	Caixa de areia de águas pluviais DN 300	6	UN	167,20	1003,20
5	Reservatório vertical em PRFV 100000 litros, diâmetro 3200mm, altura 13200mm Fibratec	1	UN	82000,00	82000,00
6	Tampa caixa drenagem DN 300mm	6	UN	104,08	624,48
7	Tubo PVC, serie r, DN 50 mm	50	m	8,84	442,00
8	Tubo PVC, serie r, DN 75 mm	40	m	11,59	465,89
9	Tubo PVC, serie r, DN 100 mm	62	m	20,31	1269,08
10	Tubo PVC, serie r, DN 125 mm	10	m	30,80	308,42
11	Tubo PVC, soldável, DN 20 mm	52	m	1,84	96,13
12	Tubo PVC, soldável, DN 25 mm	44	m	2,37	105,03
13	Tubo PVC, soldável, DN 32 mm	11	m	5,32	59,46
14	Peças e acessórios	-	-	1898,00	1898,00
Total					90211,92

Fonte: O autor, 2019.

Tabela 29- Orçamento dos elementos hidráulicos básicos do condomínio horizontal.

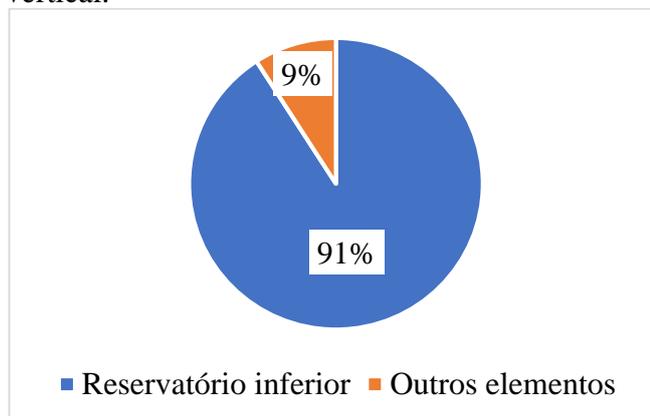
Item	Insumos	Consumo	Unid.	Preço (R\$)	Subtotal (R\$)
1	Bomba de água Schneider centrífuga BC-91 S 1/6 CV monofásico 220v (rotor fechado de alumínio)	1	UN	589,00	589,00
2	Calha pluvial de PVC, diâmetro 100 mm, comprimento de 3 m	122	UN	41,03	4989,25
3	Caixa d'água 150 litros polietileno Fortlev	6	UN	116,75	700,50
4	Caixa d'água 250 litros polietileno Fortlev	3	UN	147,14	441,42
5	Caixa de areia de águas pluviais DN 300	21	UN	167,20	3511,20
6	Reservatório vertical em PRFV 100000 L, diâmetro 3200mm, altura 13200mm	1	UN	82000,00	82000,00
7	Tampa caixa drenagem DN 300mm	21	UN	104,08	2185,68
8	Tubo PVC, serie r, DN 50 mm	28	m	8,84	246,02
9	Tubo PVC, serie r, DN 75 mm	152	m	11,59	1758,27
10	Tubo PVC, serie r, DN 100 mm	56	m	20,31	1131,51
11	Tubo PVC, serie r, DN 125 mm	11	m	30,80	341,37
12	Tubo PVC, soldável, DN 20 mm	208	m	1,84	381,89
13	Tubo PVC, soldável, DN 25 mm	1	m	2,37	1,60
14	Peças e acessórios	-	-	3360,63	3360,63
Total					101638,34

Fonte: O autor, 2019.

Verifica-se que o custo total do sistema de captação e uso de águas pluviais do condomínio horizontal é cerca de 13% maior do que o vertical, justificando-se pela maior complexidade do sistema desse.

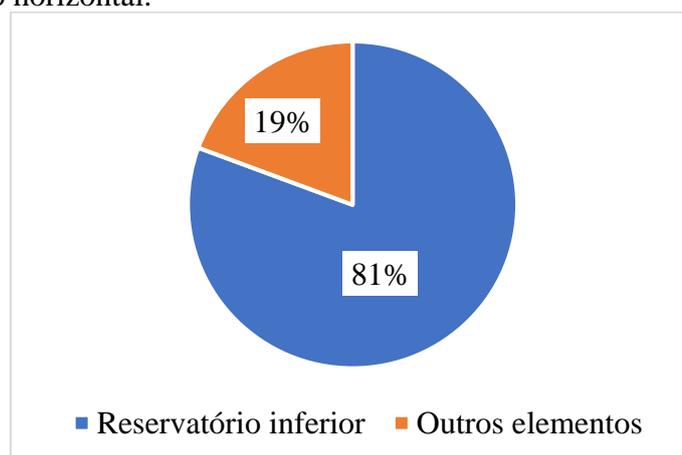
Os Gráficos 2 e 3 mostram o impacto do valor do reservatório inferior perante o custo total de implantação para ambos os condomínios.

Gráfico 2 – Influência do valor do reservatório inferior nos custos totais do sistema do condomínio vertical.



Fonte: O autor, 2019.

Gráfico 3 - Influência do valor do reservatório inferior nos custos totais do sistema do condomínio horizontal.



Fonte: O autor, 2019.

Analisando os Gráficos 2 e 3, nota-se que o valor do reservatório inferior possui grande influência no custo total, mesmo considerando os menores volumes calculados de reservatórios para os condomínios. Para o condomínio vertical, ele representa 91% dos gastos totais e no horizontal, 80%. O impacto foi menor no condomínio horizontal, visto que nesse sistema foi necessária uma rede de coleta e abastecimento de água mais extensa e consequentemente, mais onerosa, exercendo essa um maior peso no custo total.

O custo anual com operação e manutenção, ano-base 2018, para os condomínios estudados são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Custo anual com manutenção e operação, ano-base 2018.

Condomínio	Custo de manutenção anual (R\$)	Custo com energia anual (R\$)	Custo anual com manutenção e operação (R\$)
Vertical	318,00	84,34	402,34
Horizontal	318,00	28,11	346,11

Fonte: O autor, 2019.

Verifica-se que o custo energético anual para o condomínio vertical é superior ao do horizontal. Isso acontece, pois, a bomba operante nesse condomínio possui maior potência do que neste. Além disso, é importante evidenciar que, caso o reservatório inferior estivesse operando em sua capacidade máxima, no condomínio horizontal, o custo energético seria nulo, uma vez que o funcionamento do sistema seria feito por ação da gravidade. Porém, como o dimensionamento foi realizado considerando uma situação crítica, contabilizou-se o custo com energia no condomínio horizontal ao longo de toda sua vida útil.

A economia anual na conta de água proporcionada pela utilização do sistema de captação e uso de águas pluviais é apresentada na Tabela 31.

Tabela 31 – Economia anual na conta de água proporcionada pela utilização do sistema de captação e uso de águas pluviais.

Economia água (R\$)	Economia esgoto (R\$)	Economia total (R\$)
4813,35	4698,50	9511,85

Fonte: O autor, 2019.

Como os dois condomínios possuem a mesma demanda de água não potável, a economia de água potável, coleta e tratamento de esgoto também são iguais. No Brasil, o valor pago para a utilização de água potável é baixo comparando-se com outros países. Neste caso, os mesmos condomínios projetados poderiam apresentar uma economia ainda maior.

Os períodos de retorno calculados, por meio do Método Payback Descontado, para os condomínios estudados são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Período de retorno calculado, por meio do Método Payback Descontado, para os condomínios estudados.

Condomínio	Período de retorno calculado
Vertical	16 anos e 8 meses
Horizontal	20 anos e 5 meses

Fonte: O autor, 2019.

Verifica-se que para ambos os condomínios, o sistema de aproveitamento de água de chuva é um investimento de longo prazo de retorno. De acordo com Anecchini (2005), estruturas físicas projetadas duram cerca de 20 anos. Logo, para o condomínio vertical, o investimento é pago e retorna valores positivos ainda durante a vida útil do sistema. Já para o condomínio horizontal, o investimento é praticamente pago ao final de sua vida útil. A diferença do período de retorno entre os condomínios foi de 3 anos e 9 meses, já que o custo do horizontal foi, aproximadamente 13% maior. Apesar de serem investimentos a longo prazo, faz-se necessário evidenciar que há uma grande contribuição ambiental adotando esse tipo de instalações.

5 CONCLUSÃO

Por meio da série histórica preparada, foi possível identificar que Lavras está situada numa região de clima tropical, ou seja, possui duas estações bem definidas: uma seca (abril a setembro) e outra chuvosa (outubro a março). Além disso, a precipitação média anual calculada foi igual a 1371,7 mm, sendo um valor que viabiliza um sistema eficaz de aproveitamento de água.

Ainda que os sistemas implementados para os condomínios vertical e horizontal possuam o mesmo objetivo, constatou-se maior complexidade no condomínio horizontal. Devido a maior área de captação, fez-se necessário conceber uma rede coletora mais extensa e posteriormente, um sistema de distribuição individualizado.

Além disso, conclui-se que o dimensionamento das estruturas de captação e condução de água foi semelhante entre os condomínios. As maiores diferenças foram nos barriletes do condomínio vertical, devido ao único reservatório superior, e as quantidades empregadas de cada elemento constituinte básico.

A partir dos resultados obtidos, foi possível observar uma grande variação dos volumes de reservatórios calculados com os métodos propostos pela NBR 15527 (ABNT, 2007). Comparando-se os três métodos de dimensionamento, verifica-se que o Método de Rippl foi o que apresentou os maiores volumes de reservatórios para ambos os condomínios, 311736 L e 226627 L para o vertical e horizontal, respectivamente. Desta maneira, pode-se inferir que esse modelo gera volumes exagerados.

Pelo Método Prático Brasileiro, o único fator que ocasionou a variação de volume entre os condomínios foi a área de captação pluvial. Para o condomínio vertical obteve-se o volume de 90094 L, sendo o menor entre todos os métodos e o adotado. Já para o horizontal, 175589 L, sendo o segundo maior valor. Como nessa situação não é considerado o balanço entre o volume de água captada e a demanda para abastecimento, a garantia de abastecimento ao longo do ano é reduzida.

Aplicando o Método das Simulações, foram calculados o volume de 248962 L e 98580 L, para o condomínio vertical e horizontal, respectivamente. Para o condomínio horizontal esse foi o menor volume calculado e o adotado. Em virtude de o método evidenciar a eficiência do volume de reservatório, pode-se concluir que gastos excessivos podem ser evitados e que o sistema possa garantir abastecimento de água ao longo do tempo.

Para o condomínio vertical o valor do orçamento foi de R\$ 90211,92 e para horizontal R\$ 101638,34. Por fim, determinou-se o tempo de retorno, pelo Método do Payback

Descontado, obtendo-se 16 anos e 8 meses para o vertical e 20 anos e 5 meses para o horizontal, sendo assim investimentos a longo prazo.

Diante dos resultados apresentados, é importante conceber um projeto seguindo as normas recomendadas, sendo racional e eficiente, a fim de que os resultados sejam confiáveis e ao mesmo tempo viáveis técnico e economicamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Instalação Predial de Água Fria**. NBR 5626, 1998.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Instalações Prediais de Águas Pluviais**. NBR 10844, 1989.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de Reservatório de distribuição de água para abastecimento público**. NBR 12217, 1994.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Água de chuva – Aproveitamento de cobertura em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. NBR 15527, 2007.

ACQUALIMP. **Cisterna Aqualimp: guia de instalação**. [S.l.: s.n.]. [201-]. Disponível em: <<http://www.acqualimp.com/wp-content/uploads/2016/01/guia-de-instalacao-cisternas-acqualimp-1.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2019.

AMANCO. **Captação de água pluvial**. [S.l.: s.n.]. [201-]. Disponível em: <<http://amancowavin.com.br/produtos/predial/captacao-pluvial>>. Acesso em: 30 set. 2019.

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

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas**. Brasília, 2017.

ANDRÉ, D. S; MACEDO, D. de; ESTENDER, A. C. Conservação e Uso Racional da Água: Novos hábitos para evitar a escassez dos recursos hídricos e para a continuidade do bem finito. **XII Simpósio de excelência em gestão e tecnologia**, Resende, RJ, 2015.

ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. 2005. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

ARSAE-MG. Resolução nº 127, de 25 de junho de 2019. Autoriza a Copasa a aplicar aos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário prestados as tarifas constantes do anexo desta resolução e dá outras providências. **Agência Reguladora dos Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 25 jun. 2019.

AZEVEDO, R. C. et al. Avaliação de desempenho do processo de orçamento: estudo de caso em uma obra de construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 85-104, jan./mar., 2011.

AZEVEDO NETO, J. M. et al. **Manual de hidráulica**. 8 ed. São Paulo: E. Edgard Blücher, 1998.

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. **Eng. Sanit. Ambient.**, São Paulo, v. 23, n. 6, p. 1031-1041, nov./dez., 2018.

BRASIL. Decreto nº 7.983, de 8 de abril de 2013. Estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 abr. 2013.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 jan. 1997.

BRASIL. Lei nº 13.303, de 30 de junho de 2016. Dispõe sobre o estatuto jurídico da empresa pública, da sociedade de economia mista e de suas subsidiárias. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 jun. 2016.

BRASIL. Lei nº 13.501, de 30 de outubro de 2017. Altera o art. 2º da Lei nº 9.433. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 out. 2017.

BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JÚNIOR, G. de A. **Instalações hidráulicas prediais: usando tubos de PVC e PPR**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

CALCULADORA DE JUROS COMPOSTOS. **Como calcular o payback descontado – exemplo resolvido passo a passo**. [S.l], [201-]. Disponível em: <<https://calculadorajuroscompostos.com.br/calcular-payback-descontado/>>. Acesso em: 24 set. 2019.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 63, p. 9–16, jun. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.03.007>>. Acesso em 15 de ago de 2019.

CARDOSO, R. S. **Orçamento de obras em foco: um novo olhar sobre a engenharia de custos**. Pini, 2009.

CARVALHO JÚNIOR, R. de. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. 7 ed. São Paulo: Blucher, 2013.

CEMIG. **Valores de tarifa e serviços**. [S.l], [2019]. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 16 out., 2019.

CHEN, C. L. **Rainfall Intensity-duration-frequency**. Journal of hydraulic Engineering, New York, v. 109, n. 12, 1983.

COHIM, E.; GARCIA, A; KIPERSTOK, A. Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios. **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Salvador, v.9, nov. 2008.

CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

CRUZ, M. A. S. et al. Valorização da água no meio urbano: um desafio possível. **XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Aracaju, SE, v. 14, 2001.

FENDRICH, R. Detenção Distribuída e Utilização das Águas Pluviais. **XI Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**. Curitiba, PR, 2009.

FERNANDES, D. R. M.; MEDEIROS NETO, V. B. de; MATTOS, K. M. da C. Viabilidade econômica do uso da água da chuva: um estudo de caso da implantação de cisterna na UFRN/RN. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2007.

FERREIRA, A; CUNHA, C. Sustentabilidade ambiental da água consumida no município do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 18, p. 93-99, 2005.

FIBRATEC. **Reservatório para grandes volumes**. Chapecó, SC, [201-]. Disponível em: <<http://fibratec.com.br/anexos/423/38003/catalogo-reservatorio-para-grandes-volumes>>. Acesso em: 6 out. 2019.

FORTLEV. **Caixa d'água de polietileno**. [S.l.: s.n.]. [201-]. Disponível em: <<https://www.fortlev.com.br/produto/caixa-dagua-de-polietileno-2/>>. Acesso em: 24 set. 2019.

GHANAYEM, M. Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. IN: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, 10., 2001, Mannheim, Germany. **Anais...** Mannheim, Germany, 2001.

GNADLINGER, J. Coleta de água de chuva em áreas rurais. In: FÓRUM MUNDIAL DA ÁGUA, 2., 2000, Haia, Holanda. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://irpaa.org.br/colheita/indexb.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

GOMES, H. P. **Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento**. Rio de Janeiro: Editora Abes, 2005.

GONÇALVES, R.F. (Coord). **Uso racional da água em edificações**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

IBGE. **Cidades e Estados: Lavras-MG**. [S.l.], [201-]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/lavras.html>>. Acesso em: 15 set. 2019.

INMET. **Dados Históricos: BDMEP**. [S.l.], [201-]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 20 set. 2019.

LINDSEY, G. Charges for urban runoff: issues in implementation 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 26, n. 1, p. 117-125, 1990.

LOPES, A. P. de G.; MIRANDA, D. A. de. Análise crítica de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial: estudo comparativo dos municípios de Belo Horizonte (MG), Recife (PE) E Rio Branco (AC). **5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. Bento Gonçalves, RS, 2016.

MACINTYRE, A. J. **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1990.

MACHADO, M. A. de. M.; SILVA, E. D. B. da. **Estimativa de Chuvas Intensas Para o Oeste de Minas Gerais e o Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas**. UFPR, Curitiba, 2011.

MARTINI, F. **Potencial de economia de água potável por meio do uso de água de chuva em São Miguel do Oeste-SC**. 2009. 82 p. Trabalho de conclusão de curso (bacharel em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

McMACHON, T.A. **Hydrology design for water for water use**. Austin: McGraw-Hill, p. 990-1039, 1993.

OLIVEIRA, L. H de et. al. **Habitação mais sustentável, Projeto FINEP 2386/04 – Tecnologias para construção habitacional mais sustentável – Documento Levantamento do estado da arte**. São Paulo, 2007.

PEREIRA, A. C.; SILVA, G. Z. da; CARBONARI, M. E. E. **Sustentabilidade, responsabilidade social e meio ambiente**. Editora Saraiva, 2011.

PROENÇA, L. C. **Usos finais de água em edifícios de escritórios localizados em Florianópolis**. 2007. Relatório de Iniciação Científica - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

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

SCHNEIDER. **Tabela de seleção de bombas e motobombas**. Manual Técnico revisão 07. Joinville, SC, Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A., 2019.

SEGATTO, Ê. C.; DIAS, A. M. Análise comparativa da eficiência energética entre sistemas prediais de abastecimento de água. **Engevista**, v. 17, n. 1, p. 83-94, 2015.

SINAPI. **Referência de Preços e Custos**. [S.l.], 2019. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-afetadas-sumario-composicoes-afetadas/SUMARIO_DE_PUBLICACOES_E_DOCUMENTACAO_DO_SINAPI.pdf>. Acesso em: 24 set. 2019.

TISAKA, M. **Metodologia de cálculo da taxa do bdi e custos diretos para a elaboração do orçamento na construção civil**. São Paulo, Instituto de Engenharia, 2009.

TOGNETTI, G. Estimando custos de construção: entendendo o orçamento. **Construa**. São Paulo, 7 abr. 2011. Disponível em: <http://construa.wordpress.com/tag/orcamento-construcao/>. Acesso em: 24 ago. 2019.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

TOMAZ, P. Economia de água para empresas e residências: um estudo atualizado sobre o uso racional da água. São Paulo: Navegar Editora, 2001.

UNIEMP. Fórum Permanente das Relações Universidade-Empresa. 2010

UFV. Plúvio 2.1. Universidade Federal de Viçosa, 2006. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em 30 ago. 2019.