

## ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DO DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM CONDOMÍNIO VERTICAL E HORIZONTAL

Raquel Silveira Faria<sup>1</sup>  
Michael Silveira Thebaldi<sup>2</sup>  
Marina Neves Merlo<sup>3</sup>

### 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 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.

---

<sup>1</sup> Engenheira Civil, Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Universidade Federal de Lavras. E-mail: raquel\_sf3@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas. Professor Adjunto da Universidade Federal de Lavras. Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal de Lavras. E-mail: michael.thebaldi@ufla.br

<sup>3</sup> Engenheira Ambiental, Mestranda em Recursos Hídricos, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal de Lavras. E-mail: marinanevesmerlo@gmail.com

## TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF RAINWATER HARVESTING RESERVOIRS FOR NON-POTABLE PURPOSES IN VERTICAL AND HORIZONTAL APARTMENT COMPLEXES

### ABSTRACT

Rainwater harvesting 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.

### 1 INTRODUÇÃO

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 por meio 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 utilização de água da chuva para fins não potáveis deve ser preconizada pois apresenta muitos benefícios, levando à redução da demanda de água potável nas cidades, além de aliviar o estresse hídrico na região e reduzir o volume instantâneo e escoamento superficial, evitando inundações (CAMPISANO; MODICA, 2012).

Neste sentido, no Brasil em 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.

Desta forma, teve-se como objetivo deste trabalho, avaliar tecnicamente e economicamente a implantação de reservatórios para o aproveitamento de águas pluviais em dois tipos de condomínios de múltiplas unidades habitacionais, um do tipo vertical e outro horizontal, que possuem mesma demanda por água não potável, diferindo-se entre si na área total de captação de água

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado no município de Lavras - MG, que possui uma área de 564,744 km<sup>2</sup> e aproximadamente 92.200 habitantes, segundo o último censo IBGE (2010). A densidade demográfica é de 163,26 hab./km<sup>2</sup>. Está localizada a 919 metros de altitude, cujas coordenadas geográficas são: 21° 14' 42" Sul de Latitude e 45° 0' 0" Oeste de Longitude.

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 1° 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 1.

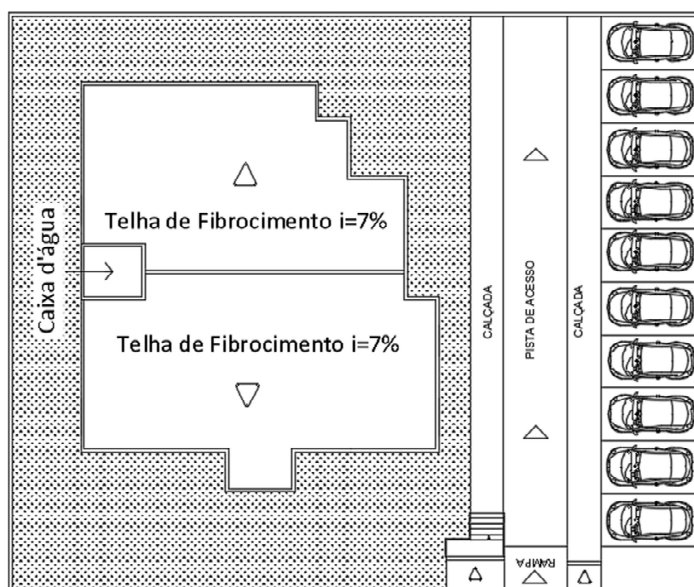
Tabela 1 – Caracterização das unidades habitacionais nos condomínios vertical e horizontal.

Tipo	Habituação	WC	Lavabo	AS	Cozinha	Quarto	Varanda	Sala	Copa
Vertical	X01 e X02	1	1	1	1	2	0	1	0
	X03	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: Os autores. Nota: WC e AS referem-se a banheiros e a área de serviço, respectivamente. X se refere ao andar, para um total de três.

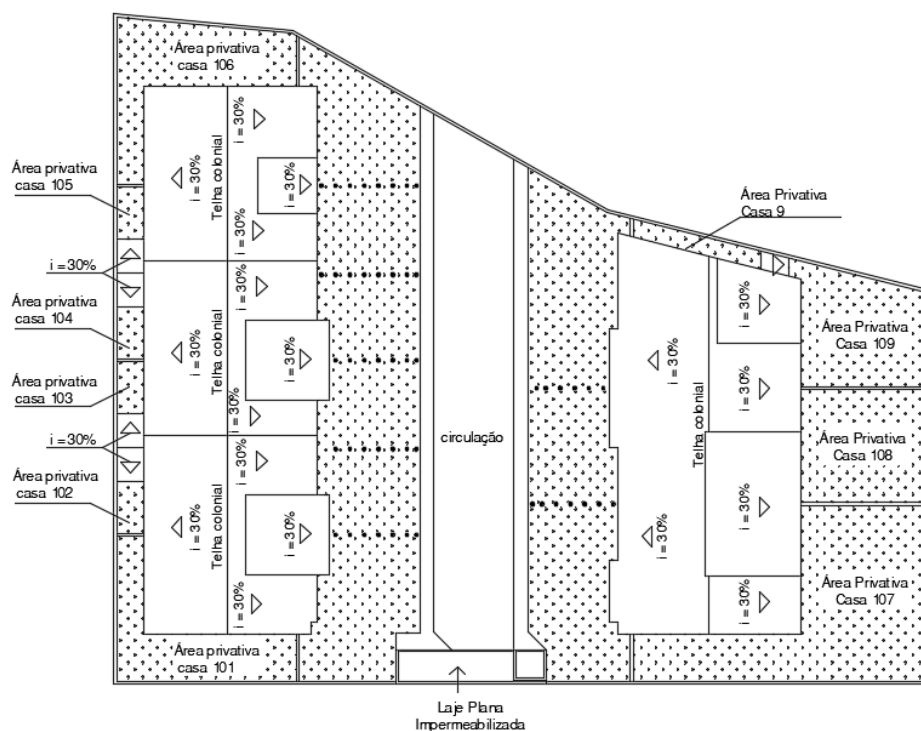
A vista superior dos condomínios vertical e horizontal, respectivamente, podem ser vistas nas Figuras 1 e 2, nas quais são representadas as inclinações dos telhados, com setas apontando a direção do escoamento.

Figura 1 – Vista superior do condomínio vertical.



Fonte: Os autores

Figura 2 - Vista superior do condomínio horizontal.



Fonte: Os autores

O levantamento da área de captação pluvial para os dois condomínios é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Área de captação pluvial em cada um dos condomínios estudados.

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

Fonte: Os autores

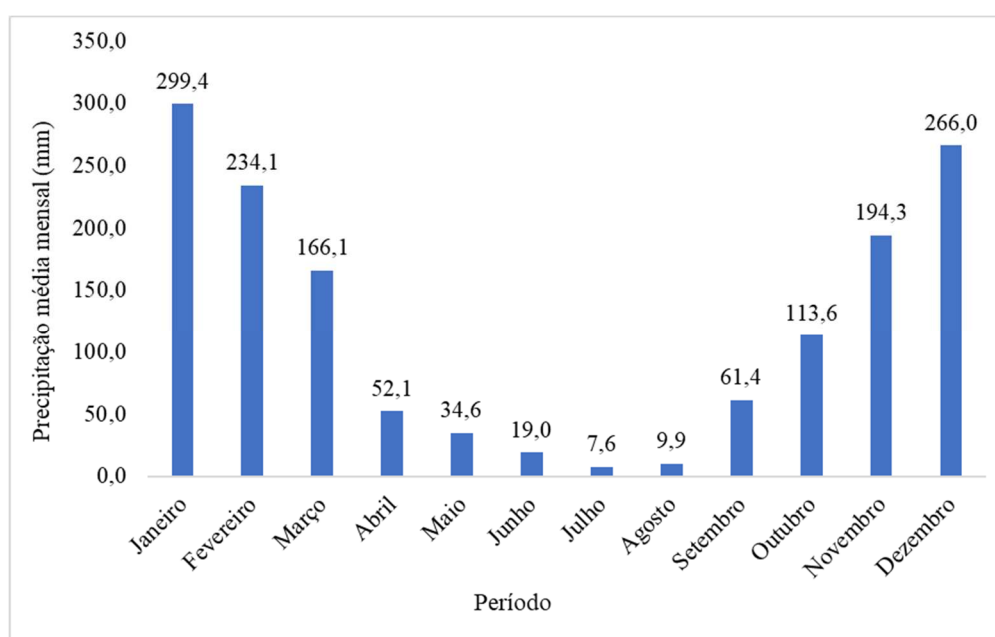
No estudo em questão, apenas os telhados contribuíram com o sistema de captação de água da chuva. O cálculo da área de captação de água das coberturas foi realizado de acordo com o preconizado pela NBR 10844 (ABNT, 1989), verificando as plantas de cobertura das edificações e inclinações dos telhados.

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 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.

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 na Figura 3.

Figura 3 - 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: Fonte: Os autores

Para determinação da 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 1 foi possível encontrar a população total.

$$P_t = R_p \cdot (N_{H2} \cdot 2 + N_{H3} \cdot 3) \quad (1)$$

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 presente estudo, 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.

Para determinar o consumo de cada dispositivo, adotaram-se os valores apresentados por Gonçalves (2006). 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 2.

$$Q_T = P_t \cdot R_V \cdot R_F \quad (2)$$

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,  $R_F = 6 \frac{descargas}{habitante.dia}$ .

Como há dois padrões de residências, dois e três quartos, fez-se necessário calcular a população e demanda por residência para cada situação, adotando-se reservatórios com volume comercial imediatamente superior ao calculado. Optou-se por reservatórios fabricados em polietileno.

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 3.

Tabela 3 - 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: Os autores

Para o dimensionamento dos reservatórios, inicialmente, calcula-se o volume de água de chuva aproveitável. Assim, conforme apresentado em ABNT (2007), tem-se a Equação 3.

$$V = P \cdot A \cdot C \cdot \eta_{\text{fator de captação}} \quad (3)$$

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 m<sup>2</sup>;

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.

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%.

Para o condomínio vertical, o volume do reservatório superior foi igual à demanda diária de água pluvial total do condomínio. 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.

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.

As calhas adotadas foram do tipo PVC semicirculares. Para o dimensionamento das calhas, foram adotados os procedimentos descritos na NBR 10844 (ABNT, 1989). A Intensidade Média Máxima de precipitação foi determinada a partir do uso da Equação 4.

$$I = \frac{K \cdot TR^a}{(t + c)^b} \quad (4)$$

em que:

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

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

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

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

Os valores de 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). Para os condutores vertical e horizontal, o material adotado foi o PVC.

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. 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 com sucção negativa (afogadas).

Para definir a bomba a ser utilizada, foi determinada a sua altura manométrica, que se refere à altura geométrica de elevação acrescida das perdas de cargas

distribuídas e localizadas na sucção e no recalque. Calculou-se a vazão de bombeamento por meio da Equação 5.

$$Q_R = \frac{\sum V_{R,SUP}}{t_R} \quad (5)$$

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  $m^3$ ;

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

Para a determinação da altura estática de sucção, 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 caso de reservatórios pequenos, até 2000 litros aproximadamente, considerou-se  $t_R$  igual a 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 de 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 6, conforme prescreve a NBR 5626 (ABNT, 1998).

$$D_R = 0,586 \cdot X^{0,25} \cdot \sqrt{Q_R} \quad (6)$$

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.

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 do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (2019) utilizando como localidade de referência o estado de Minas Gerais e mês de coleta 07/2019.

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 7).

$$C_{energia} = (Pot \cdot t_{func.} \cdot T_{energia}) \cdot 365 \quad (7)$$

em que:

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

Pot: potência da bomba, em kW;

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

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

Então, foi verificada a 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.

Com isso, obteve-se o valor economizado de água potável, por meio da Equação 8, 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.

$$E_{a,p} = [T_{\text{água,fixa}} + T_{\text{esgoto,EDT,fixa}} + \sum V_{C,\text{faixa}} \cdot (T_{\text{água,faixa}} + T_{\text{esgoto,EDT,faixa}})] \cdot 12 \quad (8)$$

em que:

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

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

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

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

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

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

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 9).

$$F_{\text{descont.}} = \frac{[E_{a,p} - (C_{\text{man.}} + C_{\text{energia}})]}{(1 + i)^{n'}}$$
 (9)

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 média 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 10.

$$N_{p.\text{descontado}} = N_{a,\text{neg.}} - \frac{S_{a,\text{neg.}}}{F_{a,\text{seg.}}}$$
 (10)

em que:

$N_{p.\text{descontado}}$ : número de anos referente ao *Payback* Descontado do projeto;

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

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

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

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando o mesmo intervalo de tempo, o valor da precipitação anual média 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.

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.

Já os valores do volume mensal de água pluvial a ser captado pelos condomínios vertical e horizontal são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - 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
Mai	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: Os autores.

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 de a 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 5.

Tabela 5 – Volumes, em litro, dos reservatórios superiores calculados para os condomínios vertical e horizontal.

Condomínio vertical	Condomínio horizontal	
	Unidade de 2 quartos	Unidade de 3 quartos
1512	144	216

Fonte: Os autores.

Nota-se que o volume calculado do reservatório superior para a unidade de 3 quartos é cerca de 50% maior comparando-se a de 2 quartos. Para estes, foram adotados volumes comerciais de 2000 L (condomínio vertical), 150 e 250 L, para condomínio horizontal e unidades de dois e três quartos, respectivamente (FORTLEV, [201-]).

Desta forma, 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. Quanto aos reservatórios inferiores, os resultados obtidos para os volumes destes pelos três métodos de cálculo propostos nesse estudo, são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - 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: Os autores.

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, não sendo este 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% 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 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, tendo o condomínio horizontal maior área de coleta, para este será determinado um maior volume de reservatório se comparado com o do condomínio vertical. Neste método, o valor de volume calculado para o reservatório inferior foi o segundo maior para o condomínio horizontal enquanto para o vertical, o menor.

Como Método Prático Brasileiro não utiliza os valores de demanda, 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 para o 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 a ineficiência na economia de água (TOMAZ, 2001).

Segundo Lopes e Miranda (2016), o método em questão resulta em um valor do reservatório de água pluvial baseado no índice pluviométrico, observando-se os meses que 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 7.

Tabela 7 – Influência da área de captação de águas pluviais no volume do reservatório pelos métodos analisados.

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

Fonte: Os autores.

Para a escolha do volume do reservatório inferior, observou-se a Tabela 6, 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 8.

Tabela 8 - Volumes dos reservatórios inferiores adotados nos dois tipos de condomínios avaliados.

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

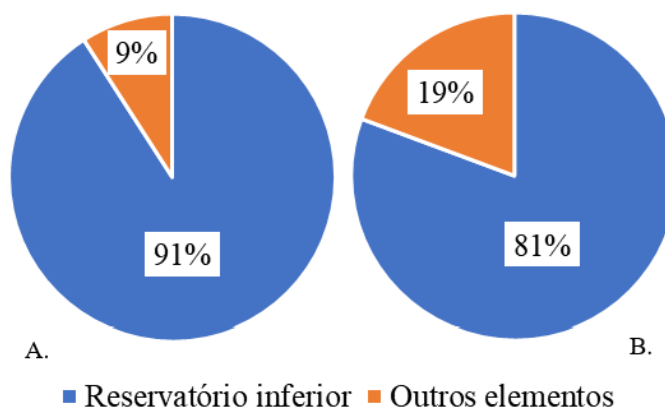
Fonte: Os autores.

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. Caso fossem adotadas soluções com maior diâmetro e conseqüentemente menor altura, acarretaria condições de transporte mais complexas e assim, aumentando o valor do produto.

Os custos totais dos elementos hidráulicos básicos para os condomínios vertical e horizontal foram de 90211,92 e 101638,34 reais, respectivamente. 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 impactos do valor do reservatório inferior perante o custo total de implantação para ambos os condomínios são mostrados na Figura 4.

Figura 4 – Influência do valor do reservatório inferior nos custos totais do sistema do condomínio vertical (A) e horizontal (B).



Fonte: Os autores.

Analisando a Figura 4, 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 conseqüentemente, mais onerosa, exercendo essa um maior peso no custo total.

Há de se salientar que se fossem adotados os volumes de reservatórios preconizados pelo Método da Simulação para ambos os condomínios, a porcentagem do custo do reservatório inferior em relação ao total no condomínio vertical seria ainda maior, visto que o volume mínimo armazenado seria de 248962 litros. O custo anual com operação e manutenção, ano-base 2018, para os condomínios estudados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – 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: Os autores.

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 calculada na conta de água proporcionada pela utilização do sistema de captação e uso de águas pluviais foi de R\$ 4813,35 para água tratada e

R\$ 4698,50 para o tratamento de esgoto, o que leva a uma economia total de R\$ 9511,85.

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 foram de 16 anos e 8 meses e 20 anos e 5 meses para os condomínios vertical e horizontal, respectivamente.

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.

#### **4 CONCLUSÃO**

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.

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. Pelo Método Prático Brasileiro, o único fator que ocasionou a variação de volume entre os condomínios foi a área de captação pluvial, e, 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.

Com o uso do Método das Simulações, obteve-se para o condomínio horizontal o menor volume calculado. 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 do sistema hidráulico foi de R\$ 90211,92 e para horizontal R\$ 101638,34, sendo o tempo de retorno do investimento, pelo Método do *Payback* Descontado, 16 anos e 8 meses e 20 anos e 5 meses respectivamente, classificando-os como investimentos a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- 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. **Água de chuva – Aproveitamento de cobertura em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. NBR 15527, 2007.
- AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.
- 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.
- Agência Reguladora dos Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais - 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, Belo Horizonte, 25 jun. 2019.
- BRANDÃO, J. L. B.; MARCON, P. Análise dos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais sugeridos pela NBR 15527/07 com base na simulação diária. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 1031-1041, 2018.
- 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 13.501, 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.

- CAMPISANO, A.; MODICA, C. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 63, p. 9–16, 2012.
- FERNANDES, D. R. M.; MEDEIROS NETO, V. B.; MATTOS, K. M. C. Viabilidade econômica do uso da água da chuva: um estudo de caso da implantação de cisterna na UFRN/RN. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 27. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2007.
- 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-poli-etileno-2/>>. Acesso em: 24 set. 2019
- GONÇALVES, R. F. **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.
- 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). **Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**, 5. Bento Gonçalves, RS, 2016.
- McMACHON, T.A. **Hydrology design for water for water use**. Austin: McGraw-Hill, p. 990-1039, 1993.
- OLIVEIRA, L. H et. al. **Habitação mais sustentável, Projeto FINEP 2386/04 – Tecnologias para construção habitacional mais sustentável – Documento Levantamento do estado da arte**. São Paulo, 2007.
- RUPP, R. F; MUNARIM, U; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 47-64, 2011.
- SCHNEIDER. **Tabela de seleção de bombas e motobombas**. Manual Técnico revisão 07. Joinville, SC, Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A., 2019.
- SINAPI. **Referência de Preços e Custos**. [S.l.], 2019. Disponível em: <[http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-sumario-composicoes-aferidas/SUMARIO\\_DE\\_PUBLICACOES\\_E\\_DOCUMENTACAO\\_DO\\_SINAPI.pdf](http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-sumario-composicoes-aferidas/SUMARIO_DE_PUBLICACOES_E_DOCUMENTACAO_DO_SINAPI.pdf)>. Acesso em: 24 set. 2019.
- SOUZA J. F.; FRAGUAS NETO, M. R.; SOUZA, M. A. S.; VENEU, D. M. Aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis na Universidade Severino Sombra. **Revista Eletrônica Teccen**. v.9, n. 1, p.35-46, 2016.
- TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências: um estudo atualizado sobre o uso racional da água**. São Paulo: Navegar Editora, 2001.
- UFV. **Plúvio 2.1**. Universidade Federal de Viçosa, 2006. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em 30 ago. 2019.
- WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo: CETESB, 1978, 477 p.