

**IX-056 - DIMENSIONAMENTO HIDRAULICO DE RESERVATORIO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA USOS NÃO POTÁVEIS EM EDIFICAÇÃO DESTINADA AO ENSINO**

**Lineker Max Goulart Coelho<sup>(1)</sup>**

Professor Assistente da Universidade Federal de Viçosa – Campus de Rio Paranaíba. Mestre em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Ecole des Ponts Paristech, Paris, França.

**Wesley Harteman de Moura**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa – Campus de Rio Paranaíba.

**Guilherme Rodrigues Xavier**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa – Campus de Rio Paranaíba.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal de Viçosa, Campus de Rio Paranaíba, Rodovia MG-230, Km 7 - Rio Paranaíba MG - CEP: 38810-000 - Brasil - e-mail: linekermx@yahoo.com.br

## RESUMO

Considerada um bem de consumo essencial à sobrevivência, o acesso à água vem sendo cada vez mais dificultado por questões como crescimento da população, aumento da poluição e consumo irresponsável dos recursos hídricos. Assim sendo, este trabalho tem por objetivo, mostrar os resultados do dimensionamento de um reservatório para aproveitamento de água de chuva de uma edificação destinada ao ensino superior, bem como uma análise de viabilidade econômica preliminar de sua implantação. Foram efetuadas estimativas de consumo de água total e de água não potável, estudo hidrológico para permitir a determinação do volume do reservatório e verificação hidráulica dos componentes do sistema de águas pluviais já existente no edifício. Ao final do estudo, obteve-se um volume de reservatório de 667 m<sup>3</sup>. Quanto às questões econômicas, as simples análises efetuadas ao longo deste trabalho demonstram que o retorno financeiro resultante da implantação do sistema se dá em um prazo considerável, de aproximadamente 10 anos. Do ponto de vista ambiental, a implantação deste tipo de sistema em universidades, escolas, indústrias e residências é interessante, pois reduz o consumo de água dos mananciais. Ressalta-se que a implantação desta solução permitiria um alívio ao sistema de distribuição de água, além de garantir a economia de 2.880 m<sup>3</sup> de água potável. Medidas como a proposta por esse trabalho contribuem de maneira positiva para as políticas de gestão consciente dos recursos hídricos, uma vez que diminuem a aplicação de água de boa qualidade em atividades em que não requerem tal potabilidade. Além disso, tal iniciativa contribui também para a redução na demanda dos mananciais, manutenção dos lençóis freáticos e controle de escoamento durante picos chuvosos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aproveitamento de água de chuva, Reservatório, Usos não potáveis.

## INTRODUÇÃO

A coleta e o armazenamento de águas pluviais são procedimentos utilizados pelo homem há centenas de anos. Como cita Tomaz (2003), na cidade de Tomar, em Portugal, existem dois reservatórios construídos para servir à fortaleza e convento dos Templários, construído no ano de 1160, com capacidades de retenção de água de chuva de 215 m<sup>3</sup> e 145 m<sup>3</sup>. Segundo este mesmo autor, no México, mais precisamente em Iucatã, até hoje são utilizados reservatórios para água de chuva datados de antes da chegada de Cristóvão Colombo à América. Os povos Incas, Maias e Astecas, no século X, coletavam e armazenavam a água de chuva para ser utilizada na agricultura, construindo cisternas escavadas no subsolo calcário, com capacidade de 20 a 45 m<sup>3</sup>. A coleta era efetuada por áreas entre 100 e 200 m<sup>2</sup> e os volumes direcionados para as diversas cisternas impermeabilizadas (GNADLINGER, 2000).

No Brasil, um país em que predominam os climas equatorial e tropical com uma média pluviométrica anual elevada, a captação e o uso da água de chuva não era prática popular devido à relativa abundância de recursos hídricos havendo bacias hidrográficas com grandes rios caudalosos e perenes. Uma exceção a esta realidade é a região nordeste que possui um clima semiárido de ar seco e baixa pluviosidade, aliado a solos com baixa

capacidade de retenção de água. Esses fatores fizeram com que o uso consciente e o armazenamento da água das poucas chuvas se tornassem práticas essenciais à sobrevivência da população nordestina.

Entretanto, em 2014 regiões que antes não sofriam com restrições severas ao abastecimento de água tais como Sudeste e Centro-Oeste tem passado por racionamentos no fornecimento de água os quais tem afetado tanto áreas metropolitanas como na cidade de São Paulo quanto em cidades de pequeno porte. Ressalta-se que as grandes cidades geralmente estão mais bem preparadas para lidar com esta situação tendo em vista que possuem equipes mais capacitadas e melhor infraestrutura para lidar com situações de escassez tais como barragens de controle de vazão e captação em diferentes mananciais. Pequenas cidades, por sua vez, são mais sensíveis a eventos de escassez severa tendo em vista que em sua maioria não possuem sistemas de regularização de vazão e dependem quase sempre de um mesmo manancial.

Sendo assim, o estudo do aproveitamento da água de chuva surge como alternativa para reduzir a demanda de água às concessionárias podendo contribuir para minimizar os impactos ou mesmo evitar situações de racionamento. Um dos principais componentes dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais é o reservatório de armazenamento. O dimensionamento deste deve ser efetuado, como cita a NBR 15.527: 2007, de forma a atender critérios técnicos e ambientais, além de ser economicamente viável sua construção e manutenção. A água contida não deve estar sujeita à incidência direta de luz solar e calor, e a tubulação de extravasão deve ser protegida a fim de evitar a entrada de animais no reservatório. Os métodos sugeridos pela norma serão abordados posteriormente na metodologia.

Outro componente importante do sistema é a área de coleta que trata-se de uma superfície impermeável na qual a água de chuva é precipitada e escoada. A determinação da área de coleta e do volume escoado deve ser efetuada com base nas recomendações da NBR 15.527:2007. De acordo com Garrido (2006), diversos projetos de lei relacionados ao aproveitamento de águas pluviais em edificações estão em fase de estudo e discussão nas esferas legislativas do país, em locais como Salvador – BA, Tubarão – SC, Rio de Janeiro – RJ e Jundiaí – SP, o que demonstra a preocupação dos governantes em adotar uma política consciente de administração dos recursos hídricos.

Em Curitiba, por exemplo, a Lei Municipal nº 10.785, de 18 de setembro de 2003, cria no município o programa de conservação e uso racional da água nas edificações (PURA). Entre as medidas que visam o uso racional e a utilização de fontes alternativas de água, destacam-se a captação, armazenamento e utilização de água proveniente das chuvas para fins que não potáveis, tais como rega de jardins e hortas, lavagem de roupas, veículos e calçadas. Conforme apresentado acima, um dos principais componentes necessários para o aproveitamento de águas pluviais é a área de coleta. Dessa forma edificações que possuem projeção horizontal elevada possuem um grande potencial de terem seus telhados utilizados como área de coleta. Sendo assim, escolas, universidades e galpões apresentam uma arquitetura favorável ao aproveitamento de águas pluviais tendo em vista que possuem edifícios de grande porte com extensão horizontal maior que a vertical, apresentando grandes áreas de telhado.

## **OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo, mostrar os resultados do dimensionamento de um reservatório para aproveitamento de água de chuva de uma edificação destinada ao ensino superior, bem como uma análise de viabilidade econômica preliminar de sua implantação.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO EM ESTUDO**

O edifício em estudo é o Pavilhão de aulas da Universidade Federal de Viçosa localizado no campus da cidade de Rio Paranaíba, MG. A Figura 1 apresenta uma vista geral da edificação em questão ocupa uma área de cerca de 5500 m<sup>2</sup>.



**Figura 1: Vista aérea do prédio PVA. (UFV, 2014)**

## SÉRIE HISTÓRICA

A série histórica de dados pluviométricos utilizada para obtenção das médias mensais e anuais de precipitação foi obtida por meio de uma estação pluviométrica implantada no campus de uma universidade da cidade de Rio Paranaíba.

## CÁLCULO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO

O reservatório para águas pluviais merece atenção especial, pois deve ser dimensionado de forma a garantir a disponibilidade de água frente ao consumo e não gerar custos onerosos que inviabilizem a implantação do sistema. A NBR 15.527:2007 especifica a aplicação de seis métodos distintos para que seja feito o dimensionamento do reservatório a critério do projetista, os quais serão utilizados no estudo em questão. São eles:

- Método de Rippl;
- Método da Simulação;
- Método Azevedo Neto;
- Método Prático Alemão;
- Método Prático Inglês;
- Método Prático Australiano.

Entre os parâmetros de entrada exigidos pelos métodos citados pela NBR 15.527:2007 destaca-se o volume de chuva aproveitável em determinado intervalo de tempo. A metodologia adotada para a definição da equação recomendada pela norma se baseia nas definições e aplicações do Método Racional resultando, a equação 1.

$$V = P.A.C. \cdot \eta_{\text{fator de captação}} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

V = Volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável;

P = precipitação média anual, mensal ou diária;

A = Área de coleta;

C = Coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

$\eta_{\text{fator de captação}}$  = eficiência do sistema de captação. Leva em conta o dispositivo de descarte de sólidos, além do desvio de escoamento inicial.

O valor adotado ao longo dos dimensionamentos foi de  $C = 0,8$ . É importante citar que o coeficiente de escoamento adotado já abrange as questões consideradas pela NBR 15.527:2007 para o  $\eta_{\text{fator de captação}}$ . Assim sendo, o mesmo foi considerado com valor unitário.

## MÉTODO DE RIPPL

Trata-se de um método que relaciona volume coletado pela cobertura e o volume demandado a cada intervalo de tempo determinado. O somatório das diferenças positivas, obtidas a cada intervalo, fornece o volume do

reservatório. De acordo com a literatura, como cita TOMAZ (2003, p. 111), o método de Rippl tende a superdimensionar o reservatório, porém seu emprego é interessante a fim de se obter o limite superior do volume do reservatório. O volume inicial é considerado vazio. As equações 2, 3 e 4 apresentam os procedimentos de cálculo necessários a aplicação deste método

$$S_{(t)} = Q_{(t)} - D_{(t)} \quad \text{equação (2)}$$

$$Q(t) = C \cdot P \cdot A \quad \text{equação (3)}$$

$$V = \sum S(t) \quad (\text{somente para } S(t) > 0) \quad \text{equação (4)}$$

Onde:

$S_{(t)}$  = volume de água do reservatório no tempo  $t$ ;

$Q_{(t)}$  = volume de chuva precipitável no tempo  $t$ ;

$D_{(t)}$  = demanda ou consumo no tempo  $t$ ;

### MÉTODO DA SIMULAÇÃO

O método considera o reservatório vazio no tempo  $t_0$  e a série de dados histórica analisada representa condições pluviométricas futuras. Assim como o método de Rippl, este método tende ao superdimensionamento do reservatório. As equações 5 e 6 apresentam os procedimentos de cálculo necessários a aplicação deste método.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad \text{equação (5)}$$

$$Q(t) = C \cdot P \cdot A \quad \text{equação (6)}$$

Onde:

$S_{(t-1)}$  = volume de água do reservatório no tempo  $(t-1)$ ;

Sendo que:  $0 \leq S_{(t)} \leq V$

### MÉTODO AZEVEDO NETO

Ao contrário dos métodos anteriores, este método faz uso de dados de precipitação média anual e utiliza do critério de “mês de pouca chuva”, ou seja, meses em que a precipitação foi consideravelmente inferior à média, para o cálculo do volume do reservatório. O volume de armazenamento de água é determinado pela equação 7.

$$V = 0,042 P.A.T \quad \text{equação (7)}$$

Onde:

$T$  = número de meses de pouca chuva ou seca;

### MÉTODO PRÁTICO ALEMÃO

O método analisa somente duas variáveis, a precipitação média anual e o consumo médio anual e, segundo Fontanela (2010), por se tratar de um método empírico, não são levados em consideração a eficiência e o balanceamento do sistema. Dessa forma, o volume obtido ao final do cálculo aumenta linearmente conforme a área de contribuição também aumenta. A equação 8 permite o cálculo do volume de reservação pelo método alemão.

$$V_{\text{adotado}} = \min(V_{\text{ap}}; D) \cdot 0,06 \quad \text{equação (8)}$$

Onde:

$V_{\text{ap}}$  = volume aproveitável de água de chuva anual [ $\text{m}^3$ ];

$D$  = demanda anual de água potável [ $\text{m}^3$ ];

$V_{\text{adotado}}$  = volume de água do reservatório [ $\text{m}^3$ ].

## MÉTODO PRÁTICO INGLÊS

Assim como os métodos Alemão e Azevedo Neto, utiliza-se de dados médios anuais. Não considera também os dados de consumo mensal, ou seja, não é feito um balanceamento do volume disponível no reservatório, sendo calculado por meio da equação 9.

$$V = 0,00005.P.A$$

equação (9)

## MÉTODO PRÁTICO AUSTRALIANO

Para este método obtêm-se o volume de chuva pela equação 10:

$$Q = A.C. (P-I)$$

equação (10)

Onde:

I = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação [mm];

Q = volume produzido pela chuva [L].

O método faz uso de dados mensais, dessa forma há balanceamento entre demanda e disponibilidade pluviométrica. O volume obtido pela chuva é calculado pela equação 5. O volume do reservatório é obtido por meio de tentativas. Atinge-se o resultado final ao serem verificados valores ótimos de confiança e volume do reservatório. Ressalta-se que o volume de água no reservatório é considerado zero para o primeiro mês. O cálculo da confiança deve ser efetuado por meio das equações 11 e 12.

$$Pr = Nr / N$$

equação (11)

Onde:

$P_r$  = falha;

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

N = número de meses considerado, geralmente 12 meses;

Con = confiança.

$$Con = (1 - P_r)$$

equação (12)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### CONSUMO DE ÁGUA NO EDIFÍCIO EM ESTUDO

O consumo médio mensal faturado pela concessionária de abastecimento de água do edifício em questão é de 354 m<sup>3</sup> obtidos com base na série histórica de faturamento.

### CONSUMO RELACIONADO A USOS NÃO POTÁVEIS

Considerando os valores obtidos por Marinoski (2007): 63,6% e por Fasola *et al.* (2011): 72%, quanto à participação dos usos não potáveis no volume total consumido, decidiu-se por adotar o valor médio entre os mesmos: 67,8%. Sendo assim, o volume total mensal relacionado aos usos não potáveis pode ser obtido pelo produto entre consumo total mensal e a porcentagem obtida acima resultando em um volume de 240 m<sup>3</sup>/mês.

O valor acima será considerado, para o cálculo dos reservatórios, como o volume demandado mensalmente ao sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais.

### DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A Tabela 1 apresenta os valores médios mensais e anuais de precipitação para a área em estudo.

**Tabela 1 – Precipitação média mensal e anual.**

Mês	Precipitação Média (mm)
Janeiro	370,3
Fevereiro	117,7
Março	159,2
Abril	137,2
Maio	30,1
Junho	42,5
Julho	0,7
Agosto	3,0
Setembro	45,0
Outubro	192,5
Novembro	410,9
Dezembro	345,2
Anual	1854,2

## CÁLCULO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO

Para o dimensionamento do reservatório, o coeficiente de escoamento superficial (C) adotado ao longo dos dimensionamentos foi de 0,8. É importante citar que o coeficiente de escoamento adotado já abrange as questões consideradas pela NBR 15.527 (2005) para o fator de captação. Assim sendo, o mesmo será considerado com valor unitário. Ressalta-se que a área de captação utilizada foi de 5496 m<sup>2</sup>.

## MÉTODO DE RIPPL

De posse dos dados pluviométricos da Tabela 1, efetuou-se o dimensionamento analiticamente, que pode ser verificado na Tabela 2. O valor do reservatório seria de 667 m<sup>3</sup>, resultado que confirma o que é citado na literatura, no que diz respeito ao superdimensionamento do reservatório.

## MÉTODO DA SIMULAÇÃO

Utilizando-se da mesma série de precipitações médias mensais, obtida na Tabela 1, realizou-se o dimensionamento do reservatório pelo método da simulação. Inicialmente foi considerado um volume de 240 m<sup>3</sup>, ou seja, igual ao volume diário demandado.

**Tabela 2: Cálculo do volume do reservatório pelo Método de Rippl.**

Meses	Coeficiente de escoamento	Chuva média mensal (mm)	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volume de chuva mensal (m <sup>3</sup> )	Demanda constante mensal (m <sup>3</sup> )	Diferença entre os vol. da demanda e vol. de chuva (m <sup>3</sup> )	Diferenças positivas acumuladas (m <sup>3</sup> )
Janeiro	0,80	370,3	5496	1628	240	-1388	-
Fevereiro	0,80	117,7	5496	518	240	-278	-
Março	0,80	159,2	5496	700	240	-460	-
Abril	0,80	137,2	5496	603	240	-363	-
Maio	0,80	30,1	5496	132	240	108	108
Junho	0,80	42,5	5496	187	240	53	161
Julho	0,80	0,7	5496	3	240	237	398
Agosto	0,80	3,0	5496	13	240	227	625
Setembro	0,80	45,0	5496	198	240	42	<b>667</b>
Outubro	0,80	192,5	5496	846	240	-606	61
Novembro	0,80	410,9	5496	1807	240	-1567	-
Dezembro	0,80	345,2	5496	1518	240	-1278	-

Tabela 3: Método da simulação com volume de 240 m<sup>3</sup>.

Meses	Chuva média mensal (mm)	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volum e de chuva mensal (m <sup>3</sup> )	Demanda constante mensal (m <sup>3</sup> )	Volume do reserv. fixado (m <sup>3</sup> )	Volume do reserv. no tempo t-1 (m <sup>3</sup> )	Volume do reserv. no tempo t (m <sup>3</sup> )	Overflow (m <sup>3</sup> )	Supri-mento de água externo (m <sup>3</sup> )
Janeiro	370,3	5496	1628	240	240	0	240	1148	0
Fevereiro	117,7	5496	518	240	240	240	240	278	0
Março	159,2	5496	700	240	240	240	240	460	0
Abril	137,2	5496	603	240	240	240	240	363	0
Maio	30,1	5496	132	240	240	240	132	0	0
Junho	42,5	5496	187	240	240	132	79	0	0
Julho	0,7	5496	3	240	240	79	-158	0	-158
Agosto	3,0	5496	13	240	240	0	-227	0	-227
Setembro	45,0	5496	198	240	240	0	-42	0	-42
Outubro	192,5	5496	846	240	240	0	240	366	0
Novembr o	410,9	5496	1807	240	240	240	240	1567	0
Dezembro	345,2	5496	1518	240	240	240	240	1278	0
<b>Total</b>			<b>8153</b>	<b>2880</b>				<b>5460</b>	<b>-427</b>

Como mostrado na Tabela 3, o volume de suprimento de água externo necessário é de 427 m<sup>3</sup>. Somando-se esse volume ao adotado para o reservatório (240 m<sup>3</sup>) têm-se um volume final de 667 m<sup>3</sup>, que é igual ao obtido pelo Método de Rippl considerado elevado, se analisados termos técnicos, construtivos e os custos relacionados.

## MÉTODO AZEVEDO NETO

O conceito de “poucas chuvas”, utilizado para a obtenção do número de meses de pouca chuva ou seca, foi definido assim como cita Fontanela (2010), que considera meses de pouca chuva aqueles em que a precipitação média mensal for inferior a 30 mm. Chegou-se a esse valor considerando que ocorreram chuvas iguais ou inferiores a 1 mm/dia, ao longo de um mês, precipitação essa totalmente consumida por evaporação ou limpeza da cobertura (água de descarte). Analisando-se a Tabela 1, constatou-se que os meses de julho e agosto apresentam precipitações inferiores a 30 mm. Dessa maneira, considera-se T = 2 meses e é efetuado o cálculo segundo a equação 7. Resultando em um volume de 856 m<sup>3</sup>. Para verificação do funcionamento do reservatório e, conseqüentemente, do balanço entre entradas e saídas de águas, foi elaborada a Tabela 4.

Tabela 4: Verificação do reservatório de volume 856 m<sup>3</sup>.

Meses	Chuva média mensal (mm)	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volume de chuva mensal (m <sup>3</sup> )	Demanda constante mensal (m <sup>3</sup> )	Volume reservatório (m <sup>3</sup> )
Janeiro	370,3	5496	1628	240	856
Fevereiro	117,7	5496	518	240	856
Março	159,2	5496	700	240	856
Abril	137,2	5496	603	240	856
Maio	30,1	5496	132	240	748
Junho	42,5	5496	187	240	695
Julho	0,7	5496	3	240	458
Agosto	3,0	5496	13	240	231
Setembro	45,0	5496	198	240	<b>189</b>
Outubro	192,5	5496	846	240	795
Novembro	410,9	5496	1807	240	856
Dezembro	345,2	5496	1518	240	856

Analisando os resultados obtidos, constata-se que no mês de setembro foi verificado o menor volume de água no reservatório ( $V = 189 \text{ m}^3$ ) e que em momento algum o reservatório foi esvaziado completamente. Como está ocorrendo, portanto, excesso de água reservada, subtrai-se do volume estipulado inicialmente, de  $856 \text{ m}^3$ , o volume mínimo reservado o que resulta em  $667 \text{ m}^3$ . O resultado obtido é idêntico ao encontrado no para os Métodos da simulação e de Rippl. Com esse volume, efetua-se o balanço hídrico entre entradas e saídas do reservatório o qual é apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5: Verificação do reservatório de volume  $667 \text{ m}^3$ .**

Meses	Chuva média mensal (mm)	Área de captação ( $\text{m}^2$ )	Volume de chuva mensal ( $\text{m}^3$ )	Demanda constante mensal ( $\text{m}^3$ )	Volume reservatório ( $\text{m}^3$ )
Janeiro	370,3	5496	1628	240	667
Fevereiro	117,7	5496	518	240	667
Março	159,2	5496	700	240	667
Abril	137,2	5496	603	240	667
Maior	30,1	5496	132	240	559
Junho	42,5	5496	187	240	506
Julho	0,7	5496	3	240	269
Agosto	3,0	5496	13	240	42
Setembro	45,0	5496	198	240	<b>0</b>
Outubro	192,5	5496	846	240	606
Novembro	410,9	5496	1807	240	667
Dezembro	345,2	5496	1518	240	667

## MÉTODO PRÁTICO ALEMÃO

Para aplicação, obteve-se o volume aproveitável de água de chuva em um ano, assim como a demanda total nesse mesmo intervalo de tempo.

**Tabela 6: Volumes totais de chuva e demanda em um ano.**

Meses	Coefficiente de escoamento	Chuva média mensal (mm)	Área de captação ( $\text{m}^2$ )	Volume de chuva mensal ( $\text{m}^3$ )	Demanda constante mensal ( $\text{m}^3$ )
Janeiro	0,80	370,3	5496	1628	240
Fevereiro	0,80	117,7	5496	518	240
Março	0,80	159,2	5496	700	240
Abril	0,80	137,2	5496	603	240
Maior	0,80	30,1	5496	132	240
Junho	0,80	42,5	5496	187	240
Julho	0,80	0,7	5496	3	240
Agosto	0,80	3,0	5496	13	240
Setembro	0,80	45,0	5496	198	240
Outubro	0,80	192,5	5496	846	240
Novembro	0,80	410,9	5496	1807	240
Dezembro	0,80	345,2	5496	1518	240
<b>TOTAL</b>				<b>8153</b>	<b>2880</b>

Com base nos dados de volume de chuva anual ( $8153 \text{ m}^3$ ) e de demanda anual ( $2880 \text{ m}^3$ ) obtém-se o volume de reservação por meio da equação XX. Resultando em um valor de  $173 \text{ m}^3$  o resultado obtido é possível afirmar que, para a demanda mensal constante de  $240 \text{ m}^3$ , há a necessidade de um regime pluviométrico constante, caso que não se aplica à região de estudo.

## MÉTODO PRÁTICO INGLÊS

Com os dados de área de captação e da precipitação média anual, o volume pode ser calculado utilizando-se a equação 9 resultando em um volume de 510 m<sup>3</sup>. Assim como o método prático alemão, este método não leva em consideração a distribuição pluviométrica na região ao longo do ano, porém o resultado obtido é mais próximo aos obtidos nos métodos anteriores.

## MÉTODO PRÁTICO AUSTRALIANO

A NBR 15.527 (2007) recomenda a utilização de um valor de 2 mm para a interceptação de água, porém, o coeficiente de escoamento (C) já leva em conta a mesma, que está relacionada à evaporação e molhagem das superfícies. Por isso foi adotado um valor nulo para a interceptação (I) ao longo dos cálculos. Foi determinado um valor de 1 mês de falha conforme equações 11 e 12. Assim, adotaram-se valores para o volume do reservatório a fim de se obter somente um mês em que a demanda não seja satisfatoriamente suprida. Analisando-se os resultados, verifica-se que o menor volume que atende à eficiência mínima exigida é de 626 m<sup>3</sup>.

**Tabela 7: Método Australiano – Volume do reservatório de 626 m<sup>3</sup>.**

Meses	Chuva média mensal (mm)	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volume de chuva mensal (m <sup>3</sup> )	Demanda constante mensal (m <sup>3</sup> )	Volume do reserv. fixado (m <sup>3</sup> )	Volume do reserv. no tempo t-1 (m <sup>3</sup> )	Volume do reserv. no tempo t (m <sup>3</sup> )
Janeiro	370,3	5496	1628	240	626	0	1388
Fevereiro	117,7	5496	518	240	626	626	904
Março	159,2	5496	700	240	626	626	1086
Abril	137,2	5496	603	240	626	626	989
Mai	30,1	5496	132	240	626	626	518
Junho	42,5	5496	187	240	626	518	465
Julho	0,7	5496	3	240	626	465	228
Agosto	3,0	5496	13	240	626	228	1
Setembro	45,0	5496	198	240	626	1	<b>-41</b>
Outubro	192,5	5496	846	240	626	0	606
Novembro	410,9	5496	1807	240	626	606	2173
Dezembro	345,2	5496	1518	240	626	626	1904

**Tabela 8: Confiança para diferentes volumes.**

Volume do reservatório (m <sup>3</sup> )	Nr (meses)	Confiança (%)
600	2	83,3
<b>626</b>	<b>1</b>	<b>91,7</b>
630	1	91,7
650	1	91,7
667	1	91,7
700	0	100

## VOLUME DO RESERVATÓRIO

Aplicando-se os métodos recomendados pela NBR 15.527:2007 para o dimensionamento do reservatório de água pluvial, foi descartado o volume obtido pelo Método Prático Alemão, por ser considerado muito baixo e menor do que o volume demandado mensalmente. Dessa forma, observa-se um valor médio entre os métodos restantes, como pode ser verificado na Tabela 9.

**Tabela 9 - Volumes de reservação calculados.**

Método	Volume do reservatório (m³)
Rippl	667
Simulação	667
Azevedo Netto	856
Prático Inglês	510
Prático Australiano	626
<b>MÉDIA</b>	<b>665</b>

Verifica-se que o valor médio se aproxima dos resultados obtidos pelos métodos de Rippl e da Simulação. Considerou-se como volume final do reservatório para aproveitamento o valor de 667 m³ que é suficiente para suprir a demanda de 240 m³/mês, durante os 12 meses avaliados.

### ANALISE PRELIMINAR DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A fim de demonstrar a economia financeira propiciada pela implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais, com base na tarifa fixada para fornecimento de consumo público maior que 300 m³, estabelecida pela concessionária, que é de 7,514 R\$/m³, obtêm-se o valor anual (12 meses) a ser reduzido das despesas do edifício em estudo relacionadas ao abastecimento de água considerando um consumo mensal médio de 240 m³ para fins não potáveis. Sendo assim obtêm-se um valor anual economizado de R\$21.640,00.

O custo de construção do reservatório está relacionado a diversos fatores como:

- Tipo de material: concreto, aço, alvenaria;
- Tipo de reservatório: enterrado, semi-enterrado, apoiado ou elevado;
- Forma espacial: Prismático, cilíndrico, tulipa, multicelular, entre outros.

Dessa forma, estabelecer o custo final se torna uma tarefa árdua para este estudo, uma vez que se trata de uma análise de viabilidade relacionada, basicamente, a critérios técnicos. Assim sendo, fazendo-se uso de estudo realizado por Ramos e Vargas (2011) que conforme mostrado na Tabela 10, tem-se uma estimativa de custos entre três tipos de reservatórios, retangular, circular e cilíndrico, torna-se possível efetuar uma estimativa dos custos do reservatório obtido, desconsiderando, é claro, a variação dos custos de insumos e serviços de região para região.

**Tabela 10 - Custos por m³ de armazenamento por tipo de reservatório. (RAMOS E VARGAS, 2011)**

	Reservatório		
	Prismático	Circular	Multicélula
<b>Custo por m³ armazenado</b>	R\$397,48	R\$326,84	R\$412,94

Levando-se em conta somente os custos citados acima para o reservatório cilíndrico (menor custo), ou seja, desconsiderando custos relativos a projetos, conjuntos de bombeamento e reservatório superior, preços relativamente pequenos se comparados ao custo de construção do reservatório, obtêm-se um custo aproximado para o reservatório de 667 m³ de capacidade igual a R\$218.000,00. Comparando-se o custo do reservatório e a economia anual obtida com a implantação do sistema, é possível determinar o prazo de recuperação do capital investido o que corresponde a aproximadamente 10 anos. Sendo assim, do ponto de vista financeiro, o retorno do capital investido para construção do reservatório é obtido em um tempo relativamente longo (10 anos), fato este relacionado ao grande volume de reservação necessário para atender à demanda de usos não potáveis, aliado ao baixo custo da tarifa exercida pela concessionária de abastecimento. Sendo assim, medidas governamentais de incentivo a utilização da água de chuva seriam necessárias para a viabilização da implantação de tais sistemas.

### CONCLUSÃO

No que diz respeito às questões técnicas, o regime pluviométrico característico da cidade de Rio Paranaíba viabiliza a implantação do sistema, visto que a precipitação média anual é da ordem de 1850 mm, possibilitando a obtenção de um considerável volume de água coletada.

Quanto às questões econômicas, as simples análises efetuadas ao longo deste trabalho demonstram que o retorno financeiro resultante da implantação do sistema se dá em um prazo considerável, de aproximadamente 10 anos. Para a Universidade em questão, a economia gerada mensalmente pela redução do volume total faturado é relativamente pequena, se comparada ao elevado custo inicial relativo ao reservatório. Porém, a economia gerada por esse tipo de política não deve ser avaliada restritamente no âmbito do consumidor final, ou seja, a Universidade, pois as reduções no volume a ser captado, tratado e encaminhado até os consumidores, representam também menores gastos públicos e privados ao longo de todos esses processos, visto que os mesmos também possuem custos atrelados.

Do ponto de vista ambiental, a implantação deste tipo de sistema em universidades, escolas, indústrias e residências é interessante. Medidas como a proposta por esse trabalho contribuem de maneira positiva para as políticas de gestão consciente dos recursos hídricos, uma vez que diminuem a aplicação de água de boa qualidade em atividades em que não requerem tal potabilidade. Além disso, tal iniciativa contribui também para a redução na demanda dos mananciais, manutenção dos lençóis freáticos e controle de escoamento durante picos chuvosos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado Minas Gerais - FAPEMIG por financiar a participação no Congresso.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.527. Águas de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007. 8 p.
2. FASOLA, G. B. GHISI, E. MARINOSKI, A. K. BORINELLI, J. B. Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC. Ambiente e Construção, Porto Alegre, v. 11, n. 4, 2011.
3. FONTANELA, L. Avaliação de metodologias para dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial. 2010. 68 p. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Criciúma – SC.
4. GARRIDO, M. S. Legislação para aproveitamento das águas pluviais no Brasil, Salvador, Universidade Católica do Salvador, 2006.
5. GNADLINGER, J. Coleta de água de chuva em áreas rurais. In: ANAIS DO FÓRUM MUNDIAL DA ÁGUA, Holanda, 2000.
6. MARINOSKI, A. K. Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: Estudo de caso em Florianópolis – SC, Florianópolis, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
7. RAMOS, H.; VARGAS, A. Análise comparativa do dimensionamento de reservatório de concreto armado apoiado no solo: Considerando a ligação entre a parede e o fundo tipo pé deslizante. Artigo submetido para obtenção de título de Engenheiro Civil. Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Criciúma – SC, 2011. 15 p.
8. TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva - Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis, São Paulo, Navegar Editora, 2003.
9. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. Pavilhão de Aulas do Campus UFV-Rio Paranaíba é abraçado, Disponível em: <[https://www2.dti.ufv.br/ccs\\_noticias/scripts/exibeNoticia2.php?codNot=20840](https://www2.dti.ufv.br/ccs_noticias/scripts/exibeNoticia2.php?codNot=20840)>. Acesso em: 26 de setembro de 2014.