



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DE CHUVA: estudo de caso

LUIZA PITANGUY MAIA

Belo Horizonte

2016

LUIZA PITANGUY MAIA

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE
RESERVATORIOS DE ÁGUA DE CHUVA: estudo de caso

Trabalho apresentado à disciplina Trabalho de
Conclusão de Curso II apresentado ao Centro
Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Dr. Luciana Peixoto Amaral

Belo Horizonte – MG

2016

Luciana Peixoto Amaral
Luiza Pitanguy Maia

Maia, Luiza Pitanguy.

S---

Comparação De Métodos De Dimensionamento De Reservatórios De
Água De Chuva: estudo de caso. / Luiza Pitanguy Maia. – Registro: 2016

79 f.; -- cm

Orientadora: Prof^a. Dra. Luciana Peixoto Amaral.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2016.

1. Água de chuva 2. Dimensionamento 3. Reservatórios. I. Maia, Luiza
Pitanguy. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III.
Comparação de Métodos De Dimensionamento De Reservatórios De Água
De Chuva: estudo de caso.



Serviço Público Federal – Ministério da Educação
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ATA DE DEFESA FINAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

Aos **vinte e sete** dias do mês de **junho** de 2016, no *campus* I do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, reuniram-se os professores **Luciana Peixoto Amaral**, **Karina Venâncio Bonitese** e **André Luiz Marques Rocha**, para participarem da banca de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “*Comparação de métodos de dimensionamento de reservatórios de água de chuva: estudo de caso*” de autoria da aluna **Luiza Pitanguy Maia**, do curso de Engenharia de Ambiental e Sanitária. Uma vez avaliado, o trabalho foi declarado:

Aprovado.

Reprovado.

Belo Horizonte, 27 de junho de 2016.

Banca Examinadora:

Prof^ª. Orientadora Luciana Peixoto Amaral

Prof^ª. Karina Venâncio Bonitese

Prof. André Luiz Marques Rocha

Dedico esse trabalho à minha mãe,
minha melhor amiga e companheira.
Obrigada por me inspirar todos os dias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e toda a hierarquia divina que me acompanhou nessa caminhada da graduação e me acompanha na caminhada da vida.

Agradeço às mulheres da minha família, minha mãe, minha querida avó Margarida, minha madrinha, Tia Samia, e minha prima-irmã Luciana. Vocês são o meu maior exemplo de força, de garra e de amor. Obrigada por me ancorarem sempre que precisei.

Agradeço ao meu irmão e meu pai pela compreensão nos momentos que eu mesma não pude me compreender.

Agradeço à minha orientadora Luciana Peixoto, por toda a inspiração para produzir um bom trabalho.

Agradeço aos colegas de faculdade, em especial à Aysla e Jessica, pelos dias mais coloridos dentro de sala de aula e fora dela.

Agradeço à banda do batman por todo o companheirismo e amizade nesses últimos 14 anos.

Agradeço ao meu grupo espiritual das quartas e minha família de Brighton, pelo amor incondicional e apoio.

Agradeço aos professores do CEFET com quem tive o prazer de aprender no decorrer desses anos de graduação.

Agradeço à equipe Methanum onde tive a grande oportunidade de consolidar os conhecimentos da graduação e continuar aprendendo.

E, por fim, a todos aqueles que surgiram nessa caminhada, aos que ficaram e aos que se foram, mas que de certa forma me fizeram ser quem eu sou hoje.

Eterna gratidão a todos vocês.

"You may say I'm a dreamer,
but I'm not the only one"

John Lennon

RESUMO

LUIZA PITANGUY MAIA, *Estudo Comparativo Entre Modelos De Dimensionamento De Reservatórios Para Captação De Água De Chuva: Estudo De Caso – MG.2016*. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar os métodos de dimensionamento de reservatórios de captação de água de chuva aplicado a um estudo de caso em um edifício residencial em Belo Horizonte- MG – Brasil. A demanda a ser suprida pelo sistema de aproveitamento de águas pluviais é para fins não potáveis e ficou estabelecida em torno de 50% da média de consumo total do edifício. Foram aplicados os métodos recomendados pela ABNT NBR 15527/2007 – *Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos* - e um método de otimização para dimensionamento reservatórios de águas pluviais utilizando dados pluviométricos de Belo Horizonte do período de 2005 a 2015. Para todos os métodos foram utilizados os mesmos parâmetros de entrada, de modo que a comparação entre os métodos fosse possível. Foi realizado uma análise de viabilidade econômica utilizando o valor presente uniforme em um ciclo de vida de 20 anos comparando dois cenários: um sistema com a instalação de um reservatório de aproveitamento de água de chuva e outro considerando o suprimento total da demanda pela concessionária local. O método de otimização não conseguiu encontrar uma solução ótima para todos os anos avaliados, apenas para os anos 2008, 2009 e 2011; desses anos, adotou-se o maior volume global do método. Ainda assim, este método obteve o menor volume dentre todos os métodos analisados e correspondente a 2,4%; 7,5%; 8,4%; 21,1% e 22,0% dos volumes

obtido nos métodos Rippl, Australiano, Azevedo Neto, Inglês e Alemão, respectivamente. Para o menor volume obtido foi realizada a análise do custo no ciclo de vida, para reservatórios de concreto e polietileno, e para o abastecimento total pela concessionária. Ambos reservatórios se mostraram economicamente viáveis e com *payback* a ser realizado durante seu ciclo de vida, sendo o reservatório de polietileno a opção mais econômica. Percebe-se a necessidade de desenvolvimento e melhoramento de métodos de otimização para o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva uma vez que resultam em volumes menores do que os métodos recomendados pela NBR 15527/2007 e se apresentam economicamente viáveis à sua instalação.

Palavras-Chave: água de chuva, dimensionamento, reservatórios.

ABSTRACT

LUIZA PITANGUY MAIA. *Comparative Study between Reservoirs Scaling Models for Rainwater Catchment - Study Case*. 2016. Monograph (Graduate) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

The study aimed to evaluate the design methods of rainwater catchment reservoirs applied to a case study in a residential building in Belo Horizonte – MG – Brazil. The demand to be supplied by the rainwater harvesting systems for non-potable purposes and was established around 50% of the average of the total building consumption. The methods recommended by the NBR 15527/2007 and an optimization method for sizing rainwater reservoirs were applied using rainfall data from Belo Horizonte from 2005 to 2015. For all methods were used the same input parameters, so that the comparison between the methods were possible. An analysis was carried out of economic viability using the uniform present value in a life cycle of 20 years by comparing two scenarios: a system with the installation of a rainwater reservoir and another considering the total supply of the demand by the local dealership. The optimization method could not find an optimal solution for all years evaluated, only for 2008, 2009 and 2011; those years, it adopted the greater overall volume of the method. Nevertheless, this method had the lowest volume among all methods analysed, corresponding to 2,4%; 7,5%, 8,4%; 21,1 %; and 22% of the volumes obtained in methods Rippl, Australian, Azevedo Neto, English and German, respectively. For the lowest volume obtained was performed the analysis of the cost in the life cycle, for concrete and polyethylene reservoirs, and for the total supply by the dealership. Both reservoirs were economically viable and with payback time to be held during its life cycle, being the polyethylene reservoir

the most economic option. It is perceived the need for development and improvement of optimization methods for the design of rainwater reservoirs as they result in smaller volumes than the methods recommended by NBR 15527/2007 and present economically feasible for their installation.

Key words: Rainwater, design, reservoir.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.	38
Tabela 2: Resultados dos dimensionamentos de reservatórios para municípios baianos - métodos descritos na NBR 15527/2007.	50
Tabela 3: Resultados do dimensionamento de reservatórios em três municípios brasileiros – métodos NBR 15527/2007.	52
Tabela 4: Resultados do dimensionamento de reservatórios para o Parque de Material Aeronáutico do Galeão - métodos NBR15527/2007 e método de otimização.	52
Tabela 5: Histórico de consumo de água em um prédio residencial durante um período de um ano (abril/2015 – março-16).	59
Tabela 6: Orçamento de sistema de aproveitamento de água de chuva – 2016.....	62
Tabela 7: Hidrograma anual (2005 a 2015) da cidade de Belo Horizonte – precipitação em mm.	63
Tabela 8: Parâmetros de entrada para cálculos.	63
Tabela 9: Resultados obtidos nos cálculos do dimensionamento utilizando os métodos da NBR15527/2007.....	64
Tabela 10: Parâmetros de entrada adotados no método de otimização para dimensionamento de reservatórios.	66
Tabela 11: Volumes de reservatório obtidos no método de otimização.....	68
Tabela 12: Coeficientes de eficiência.....	68
Tabela 13: Volumes dos reservatórios obtidos nos métodos aplicados	70
Tabela 14: Análise do custo no ciclo de vida - Reservatório em concreto.....	71
Tabela 15: Custos relacionados ao suprimento de água.....	71

Tabela 16: Valores presentes para o reservatório e abastecimento pela concessionária.....	71
Tabela 17: Valor presente para o reservatório de polipropileno.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCMAC – Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BH – Belo Horizonte

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

NBR – Norma Brasileira

OMS – Organização Mundial de Saúde

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

SUMÁRIO

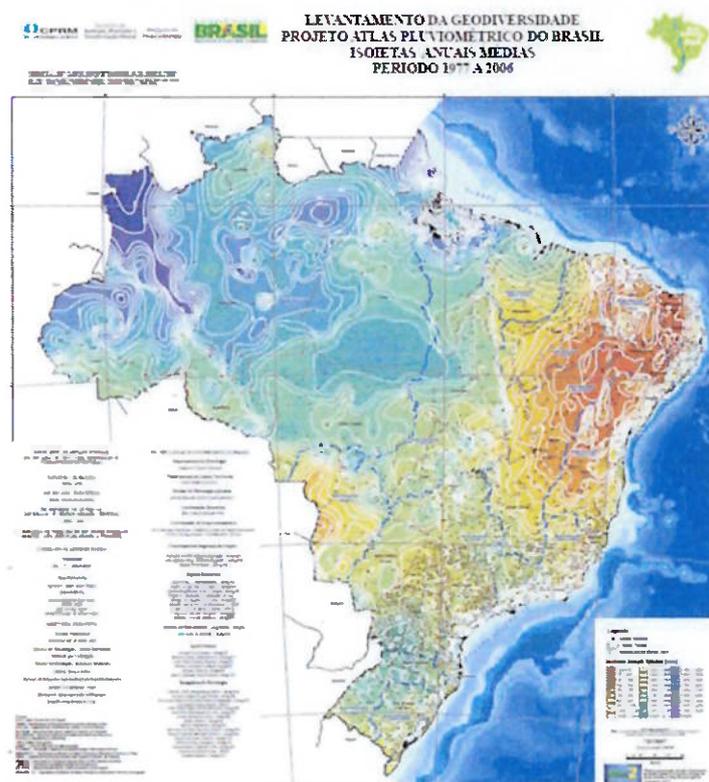
1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	22
3. REVISÃO DE LITERATURA	23
3.1. Usos da água	23
3.2. Aproveitamento da água pluvial	25
3.3. Componentes de um sistema de aproveitamento de água pluvial	28
3.4. Experiências internacionais do aproveitamento de água de chuva	30
3.5. Uso das águas pluviais em áreas urbanas	32
3.6. Legislação para o aproveitamento de água pluvial	33
3.7. Qualidade da água pluvial	36
3.8. Dimensionamento de reservatórios de água pluvial ..	39
3.8.1. <i>Método de Rippl</i>	40
3.8.2. <i>Método de Simulação</i>	41
3.8.3. <i>Método Azevedo Neto</i>	42
3.8.4. <i>Método Prático Alemão</i>	43
3.8.5. <i>Método Prático Inglês</i>	44
3.8.6. <i>Método Prático Australiano</i>	44
3.8.7. <i>Método de otimização proposto por Murça et al. (2014)</i> 45	
3.8.8. <i>Aplicação dos dimensionamentos de reservatórios</i>	50
3.9. Viabilidade econômica de implantação do sistema ...	53
3.9.1. <i>Método do payback simples</i>	54
3.9.2. <i>Método da análise do benefício-custo</i>	54

3.9.3.	<i>Método da análise do custo no ciclo de vida</i>	55
3.9.4.	<i>Método adotado por Murça et al. (2014)</i>	56
4.	METODOLOGIA	58
4.1	Descrição da área de aplicação	58
4.2	Dados de entrada dos modelos	60
4.3	Dimensionamento do reservatório de água pluvial	60
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1	Métodos da norma NBR 15527	63
5.2	Método de otimização de dimensionamento de reservatório de água de chuva	66
5.3	Comparação do volume do reservatório de água de chuva obtidos pelos métodos da NBR 15527/2007 e o proposto por Murça et al. (2014)	69
5.4	Viabilidade técnica e econômica da implementação do reservatório de água de chuva	70
6.	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	76

1. INTRODUÇÃO

O uso da água no cotidiano residencial ou industrial é indispensável para a grande maioria das atividades. Mesmo o Brasil possuindo grande disponibilidade hídrica, essa realidade não se faz presente em todas as regiões do país. Além da presença de corpos hídricos adequados ao abastecimento humano, diversos fatores como poluição hídrica, crescimento desordenado próximo às margens, má gestão e maus hábitos para com o recurso interferem na qualidade e quantidade da água disponível para o abastecimento.

Figura 1: Isoietas anuais médias brasileiras no período de 1977 a 2006



Fonte: CPRM

Recentemente a região sudeste do Brasil tem enfrentado uma crise hídrica; os baixos índices pluviométricos somado a um grande crescimento da demanda de água sem adequado planejamento dos recursos hídricos, fizeram com que a população sofresse com o abastecimento de água e comprometesse a geração de energia (MARENGO e ALVES, 2016). Simultaneamente a esse fenômeno climático extremo, soma-se a ausência de consciência coletiva dos consumidores para o uso racional da água.

Nesse contexto de crise hídrica, escassez de água potável para consumo humano resultante da poluição dos corpos hídricos e do desperdício de água potável, a reutilização da água e o aproveitamento do recurso de fontes alternativas tornam-se interessantes e atrativas para diversos consumidores.

De acordo com o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB (2009), a busca não só de medidas e que visam à redução do volume de consumo, bem como por fontes alternativas de água se mostram cada vez mais necessárias do ponto de vista da disponibilidade hídrica e da sustentabilidade ambiental. Diante disso, o aproveitamento de águas pluviais se apresenta como alternativa socioambiental e economicamente viável, no sentido de suprir demandas caracterizadas por usos não potáveis.

O aproveitamento de águas pluviais é uma prática antiga que consiste na captação da chuva escoada pelo telhado e outras superfícies, e no armazenamento para fins posteriores. Os sistemas de aproveitamento de água de chuva são simples de operar e podem prover uma fonte alternativa de água onde há escassez hídrica ou regiões rurais em que não há existência de abastecimento de água por concessionárias. Além disso, os sistemas normalmente requerem

baixos investimentos para instalação e, dependendo do projeto, não requerem energia elétrica para serem operados.

No contexto urbano, a utilização de águas pluviais para fins não potáveis para atividades como jardinagem, paisagística e uso em bacias sanitárias reduziria o consumo de recursos hídricos potáveis e auxiliaria a prevenir a escassez nos sistemas de distribuição (MATTOS *et al.*, 2015). O sistema de aproveitamento de águas pluviais contribui também para a redução não só dependência de água potável fornecida pelas concessionárias, bem como o escoamento superficial, minimizando problemas como enchentes tão recorrentes nas grandes cidades brasileiras.

O reservatório é o componente mais oneroso do sistema de aproveitamento residencial, sendo, portanto, o item que irá determinar a viabilidade econômica de instalação do sistema. A NBR 15527/2007 indica diversos métodos para o dimensionamento do reservatório, porém não especifica as limitações, vantagens e indicações quanto ao a aplicação dos mesmos. Além dos métodos citados na NBR, Murça *et al* (2014) desenvolveram uma metodologia de otimização de reservatórios para captação de águas pluviais, uma alternativa para incrementar a viabilidade econômica de projetos nessa área.

2. OBJETIVOS

Após essa revisão bibliográfica e levando em consideração as indicações dos métodos de dimensionamento citados na NBR 15527 da ABNT de 2007, esse trabalho tem como objetivo avaliar os métodos de dimensionamento de reservatórios de água de chuva para fins não potáveis sugeridos pela norma e o método de otimização do dimensionamento de reservatórios para águas pluviais desenvolvido por Murça *et al.* (2014). Os métodos são aplicados a um prédio residencial de 3 andares, 6 apartamentos, localizado na região centro-sul de Belo Horizonte com cerca de 3 habitantes por apartamento.

Diante dos resultados obtidos em cada método espera-se:

- Comparar os resultados bem como a aplicação de cada método;
- Destacar as limitações e vantagens de cada método de acordo com os resultados e parâmetros utilizados em cada método; e
- Estudar a viabilidade econômica para a implantação de um reservatório de água de chuva em um pequeno prédio residencial em Belo Horizonte, Minas Gerais.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Usos da água

No Brasil, apesar da Constituição de 1988 pouco ou nada tratar especificamente sobre a água, é certo que tal direito está implícito tanto no direito à vida e à saúde, como no princípio fundamental de dignidade da pessoa humana, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) elenca diversos instrumentos e mecanismos de concretização do direito à água.

A PNRH, instituída pela Lei Federal 9.433 (BRASIL, 1997), baseia-se em alguns fundamentos:

- A água é um bem de domínio público;
- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- Em situações de escassez, o uso prioritário é o consumo humano e dessedentação dos animais;
- A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; e
- A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Tem como objetivos:

- Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

- A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

A água é considerada o principal recurso natural, sendo indispensável para o desenvolvimento dos seres vivos e de inúmeras atividades humanas como industriais, domésticas e culturais. O manejo e o aproveitamento da água de chuva para uso doméstico, industrial e agrícola estão ganhando ênfase em várias partes do mundo, sendo considerado um meio simples e eficaz para se atenuar o grave problema ambiental da crescente escassez de água para consumo (MAY, 2004).

Com os recorrentes problemas de escassez, devido às crescentes demandas e problemas de poluição dos mananciais, ganha importância o desenvolvimento de medidas destinadas a promover o adequado uso da água, privilegiando usos mais nobres, aliadas à necessidade de estímulo ao desenvolvimento industrial no país, é um dos atuais desafios da gestão dos recursos hídricos existentes (MIERZWA *et al.*, 2007).

O aproveitamento de água de fontes alternativas vem sido pesquisado e adotado para suprir as demandas que carecem de uma qualidade inferior à potável, reduzindo o consumo de água potável. As águas cinzas, por exemplo, são constituídas pela mistura de águas residuárias do banho, tanques, lavatórios e máquinas de lavar roupas. Alguns edifícios possuem sistemas compactos de tratamento de águas cinzas para serem reutilizadas em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e outras demandas de usos não potáveis (PROSAB, 2009).

Segundo Serpa *et al.* (2012) essa água de qualidade inferior pode ser obtida das chuvas, coletando-a dos telhados. Há diversas aplicações da água coletada (SERPA *et al.*, 2012):

- Irrigação paisagística;
- Irrigação de campos para cultivo;
- Usos industriais;
- Recarga de aquíferos;
- Usos urbanos não potáveis;
- Finalidades ambientais; e
- Usos diversos como controle de poeira, aquicultura e construções.

3.2. Aproveitamento da água pluvial

O programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA (United Nations Environment Programme - UNEP) destaca que uma das alternativas mais adotadas para reduzir o número de pessoas sem acesso a água para consumo humano é a captação da água da chuva e seu armazenamento em cisternas.

Em diferentes cenários mundiais, os países têm promovido diferentes programas para a construção de estruturas para captação da água de chuva, especialmente em áreas rurais, para aqueles que carecem do recurso para o consumo humano. Essa qualidade de programa social já vem sendo implantada e desenvolvida no Brasil com o P1MC – Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um milhão de cisternas rurais.

De acordo com Gomes *et al.* (2013), nas áreas rurais, a captação das águas pluviais é normalmente utilizada para suprir às necessidades

mais básicas, compreendendo o consumo humano principalmente. Nas áreas urbanas, a captação da água da chuva é utilizada como fonte complementar, para cobrir as demandas secundárias e que não exigem um padrão de qualidade físico-químico elevado.

Ghisi *et al.* (2006) abordam que não há programas governamentais que promovam a instalação de sistemas de coleta e reserva de água pluvial nas áreas urbanas no Brasil. No entanto, há relatos de pessoas coletando água de chuva em suas residências com finalidade de economizar água potável e contribuir para um mundo mais sustentável.

Segundo May (2004), podem-se citar as seguintes vantagens dos reservatórios de água de chuva em áreas urbanas:

- Diminuição do risco de inundações urbanas; e
- Favorecimento da economia de água potável em jardins, lavagens de roupa, lavagens de carro e vasos sanitários.

De maneira geral, os projetos de captação e armazenamento de água de chuva nas áreas urbanas são orientados pelo uso racional da água potável para fins menos nobres, como irrigação de parques e jardins, descargas de vasos sanitários, limpeza doméstica, além do controle de enchentes (GOMES *et al.*, 2013).

O dimensionamento do sistema pode variar de região para região, em função da finalidade da implantação do sistema e dos dados pluviométricos. E, então, com o volume obtido, a tecnologia pode ser utilizada para atender à demanda por alguns dias, meses ou por todo ano. Normalmente, o cálculo é realizado na tentativa de atender a demanda por maior tempo possível e com menor custo de implantação. Para dimensionar o sistema, é necessário conhecer a área de captação,

pluviometria local, coeficiente de aproveitamento e do volume de água potável a ser substituída pela pluvial (AMORIM e PEREIRA, 2008). O dimensionamento de reservatórios será detalhando no item 3.8 desse trabalho.

Geralmente, durante os processos de dimensionamento de reservatório para água de chuva, procura-se construir grandes reservatórios buscando-se com isso regularizar a vazão, ou seja, acumular água durante o período chuvoso, para ser utilizada durante a estiagem. Essa lógica aplica-se muito bem a regiões que não dispõem de outras fontes. Porém, no dimensionamento de sistemas para área urbana que, frequentemente, possui sistemas de públicos de abastecimento de água e inexistência de áreas livres para instalação de grandes volumes de reservação, deve-se adotar uma outra lógica. Nestas regiões, a utilização de água pluvial deve funcionar como uma fonte complementar, que será utilizada durante o período de chuvas, permitindo, porém, que este sistema seja abastecido pela rede pública durante as estiagens (COHIM *et al.*, 2008).

O aproveitamento de águas pluviais é uma opção que pode se mostrar muito atrativa para a minimização dos efeitos da escassez de água nos grandes centros urbanos e também dos custos, gerados pelo consumo de água obtida a partir de fontes tradicionais, os quais incidem sobre o preço final dos produtos (MIERZWA *et al.*, 2007).

Segundo Gomes *et al.* (2010), os motivos que levam a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva podem variar de uma região para outra. Por exemplo, o foco de instalação no Nordeste é o suprimento de suas necessidades hídricas enquanto no centro - oeste é o racionamento de água.

Segundo Mierzwa *et al.* (2007), esta condição é ainda mais

relevante para o caso do uso de água em atividades industriais, uma vez que as indústrias apresentam condições que favorecem a implantação de sistemas para aproveitamento de águas pluviais, ou seja, processos com elevado consumo de água e grandes áreas de cobertura para captação. May (2004) obteve como resultado da sua pesquisa que quando a área de coleta e a demanda são altos, o prazo de recuperação do investimento é curto, tornando a instalação do sistema de coleta pluvial interessante em postos de gasolina e indústrias.

A norma NBR – 15527 define que “se aplica a usos não potáveis em que as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento adequado como, por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d’água e usos industriais “. O que torna viável a implantação desse sistema de aproveitamento em prédios residenciais como medida de racionamento da água.

3.3. Componentes de um sistema de aproveitamento de água pluvial

Os elementos e componentes principais podem variar de acordo com os critérios utilizados por cada autor, com a disponibilidade de recursos locais, com qualidade da água requerida (propósito de uso da água), quantidade de água armazenada, entre outros aspectos.

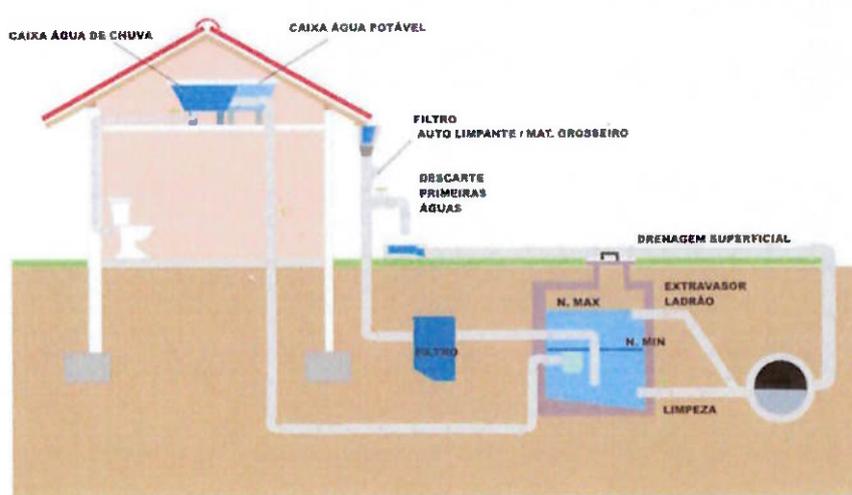
Tomaz (2010) e May (2004) sugerem que o sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva é formado pelos seguintes componentes (Figura 1):

- a) Área de coleta: a área normalmente utilizada para a coleta de água da chuva é o telhado ou a laje de edificação. Pode-se realizar a coleta através de áreas impermeabilizadas como pátios e estacionamentos, dependendo do uso final da água e do tratamento a ser aplicado.
- b) Condutores: sistema de calhas e condutores verticais que transportam a água da chuva do telhado até o reservatório. Nesses condutores é comum que ocorram entupimentos causados por folhas e galhos, sendo necessário que ocorra a limpeza periódica desses componentes. A instalação de um sistema de peneiras ou grades para reter esse material e facilitaria a limpeza, manutenção e a condição desses componentes.
- c) Armazenamento: é a parte do sistema que tem como objetivo armazenar a água. Calcula-se o volume do reservatório a partir de métodos que utilizam como parâmetros de entrada a precipitação média da região, demanda, área de coleta e coeficiente *runoff*. O reservatório pode estar apoiado, enterrado ou elevado, e pode ser de concreto armado, alvenaria de bloco armado, polipropileno, etc. Segundo MURÇA *et al.* (2014) e MAY (2004), o dimensionamento do reservatório é uma das etapas mais relevantes do sistema de aproveitamento de água de chuva já que é a unidade de maior custo e, portanto, fator determinante na viabilidade econômica do projeto como todo.
- d) Tratamento: o sistema de tratamento será adotado de acordo com a qualidade da água coletada e sua destinação de uso. Podem ser adotados tratamentos com filtração simples, sedimentação natural, cloração e até tratamentos mais complexos envolvendo desinfecção ultravioleta e osmose reversa.

e) *By pass* ou *first flush*: dispositivo de autolimpeza que resguarda o reservatório da primeira chuva que possui uma qualidade inferior devido às impurezas presentes nos telhados.

f) Extravasor: dispositivo a ser instalado no reservatório para escoar eventuais excessos de água, deve conter dispositivo como uma grade para evitar a entrada de pequenos animais.

Figura 2: Esquema de coleta de água de chuva com reservatório de autolimpeza.



Fonte: Reformolar.

3.4. Experiências internacionais do aproveitamento de água de chuva

A preocupação com os recursos naturais, principalmente com a água, reflete na adoção de práticas sustentáveis para com o seu uso e captação. Em diversos locais do mundo, têm-se adotado sistemas de aproveitamento de águas pluviais como forma de minimizar o uso de água potável para fins menos nobre. Alguns países se mostram mais avançados e pesquisam os riscos microbiológicos que estão envolvidos

no consumo da água pluvial. No Brasil, as pesquisas e os sistemas de aproveitamento de água de chuva, de maneira geral, ainda se encontram incipientes, principalmente no meio urbano.

Campos (2004) aborda que o aproveitamento de água pluvial está em grande desenvolvimento em países como Austrália, Japão, Alemanha e Estados Unidos. Nesses países tem se realizado esforços para desenvolver e incentivar o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis (MARINOSKI *et al.*, 2004).

Em Hamburgo, na Alemanha, a água de chuva é muito usada para as descargas nas bacias sanitárias e servem para aliviar o pico das vazões de enchentes. A prefeitura de Hamburgo fornece incentivos financeiros a quem aproveitar água de chuva (TOMAZ, 2001).

O mesmo autor ainda aborda que no Japão o aproveitamento da água de chuva é feito em casas, prédios de apartamentos e de escritórios, e estádios de baseball. A água de chuva é usada para as descargas nas bacias sanitárias e rega de jardins. Marinoski *et al.* (2004) relatam um estudo de caso na cidade de Kitakyushu em que o reservatório do sistema de aproveitamento de água de chuva foi construído abaixo da edificação e possui capacidade de armazenar 1 milhão de litros.

Na cidade de Berlim, na Alemanha, em 1999, foi construído um bairro de 213 habitantes com captação da água de chuva em telhados e nas ruas para que a água fosse usada principalmente em descargas de bacias sanitárias e também para rega de jardins. A água de chuva é conduzida a galeria de águas pluviais de diâmetro de 400mm e daí vai para a cisterna de 160m³. A água de chuva é filtrada e desinfetada com raios ultravioleta, sendo utilizada em média na razão de 35 litros/pessoa.dia (TOMAZ, 2001).

3.5. Uso das águas pluviais em áreas urbanas

A NBR 15527/2007 fornece os requisitos para o aproveitamento de água de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. A norma qualifica usos não potáveis como descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpezas de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

No Brasil, o grupo Coca Cola adota medidas de aproveitamento de água de chuvas em diversas fábricas e edifícios da empresa. O projeto referência em coleta e uso da água de chuva está localizado em Maringá/PR. Com a prática do aproveitamento, estima-se uma economia de R\$ 12 mil por ano, em decorrência da captação de 3.500 m³ de água de chuva no mesmo período. A água é captada com a ajuda de calhas e armazenada em uma cisterna exclusiva. Para remoção das partículas, passa por uma filtragem. Depois, é misturada com a água proveniente da rede pública e de poços, para ser enviada a uma Estação de Tratamento de Efluentes. Em seguida, a água retorna à fábrica para ser utilizada nos processos produtivos (CARDOSO, 2009).

O PROSAB (2009) relata que nas edificações residenciais, comerciais, públicas e industriais, o aproveitamento de águas pluviais vem sendo praticado para fins não potáveis como finalidades paisagísticas, irrigação, lavagem de pátios e fachadas, descargas de vasos sanitários, etc.

Em Belo Horizonte, Lage (2010) simulou um sistema e aproveitamento de água de chuva em concessionárias de veículos para ser utilizada na lavagem dos mesmos. Nesse trabalho, o autor fixou a demanda como uma porcentagem do consumo de água potável e

encontrou resultados satisfatórios quanto a economia de água potável e o retorno do investimento se mostrou atrativo financeiramente para os proprietários.

Marinoski (2007) verificou o potencial de economia de água potável que poderia ser obtido em uma escola em Florianópolis através de um sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. O sistema se mostrou economicamente viável para implantação com período de retorno de 4 anos e 10 meses e com potencial de economia potável de 45,8%.

Cardoso (2009) analisou em seu trabalho aspectos técnicos quanto à qualidade da água coletada nos telhados, relacionando a qualidade do material onde é coletada e a região em que os pontos de coleta estão inseridos. Seu trabalho demonstrou que a qualidade de água está intimamente ligada ao material em que a água é coletada uma vez que as telhas metálicas apresentaram qualidade microbiológica superior às telhas cerâmicas. A localidade do ponto de coleta também interferiu na qualidade da água, sendo a água captada na região central de qualidade inferior àquela coletada na região mais afastada. Uma das possíveis causas para tal é a maior poluição advinda de automóveis que a região central das grandes cidades está submetida.

3.6. Legislação para o aproveitamento de água pluvial

As ações públicas para o aproveitamento de águas pluviais se encontram mais voltadas para a área rural. No semiárido brasileiro, há o programa P1Mc que compreende a construção de um milhão de cisternas como solução tecnológica para o abastecimento de água nas áreas rurais.

A iniciativa de aproveitamento de água pluvial no meio urbano ainda é incipiente e modesta. No entanto, algumas leis municipais incentivam o aproveitamento de água de chuva e encorajam práticas para minimizar o desperdício do recurso.

A Lei Municipal de São Paulo nº 13.276, de 4 de janeiro de 2002 torna obrigatório a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes edificados ou não, que tenham área impermeabilidade superior a 500m².

A Lei Municipal de Maringá/Paraná nº 6345 de 2003 institui o programa de reaproveitamento de águas do município, com finalidade de diminuir a demanda de água e aumentar a capacidade de atendimento da população. Os munícipes são incentivados a instalar reservatórios para a contenção de águas cinzas e para o recolhimento de águas das chuvas por meio de subsídios.

A Lei Municipal nº 2349 de 2004 de Pato Branco/Paraná cria o programa de conservação e uso racional das águas nas edificações. O programa tem como objetivo instituir medidas que induzam à conservação, o uso racional e a utilização de fontes alternativas para a captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água. A água pluvial será captada na cobertura das edificações e encaminhadas a uma cisterna ou tanque, para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água tratada proveniente da rede pública de abastecimento, tais como rega de jardins e hortas; lavagem de roupa, lavagem de veículos; lavagem de vidros, calçadas e pisos; descargas de vasos sanitários. O não cumprimento das disposições da presente lei implica na negativa de concessão do alvará de construção, para as novas edificações.

A Lei Municipal de Campinas, São Paulo, nº 12474 de 2006 cria o Programa Municipal e Conservação, Uso Racional e Reutilização de Água em Edificações. Um dos objetivos do programa é a implantação de medidas que induzam os munícipes à conservação, ao uso racional, a reutilização de águas servidas no município, como também a utilização da água de chuva. O aproveitamento de água de chuva, que deverá ser entendido como o conjunto de ações que possibilitem a captação, reservação, tratamento, monitoramento da qualidade e distribuição para o uso em aplicações/atividades menos nobres: irrigação, lavagem de pisos, etc. Neste caso, os sistemas de reservação e distribuição deverão ser totalmente separados, de modo a impedir a mistura com água da rede pública, conforme legislações vigentes.

A Lei Estadual nº 4393 de 2004 do Rio de Janeiro dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover os imóveis residenciais e comerciais de dispositivo para captação de águas da chuva. Nesta lei, as empresas projetistas e de construção civil no Estado do Rio de Janeiro ficam obrigadas a prover coletores, caixa de armazenamento e distribuidores para água da chuva, nos projetos de empreendimentos residenciais que abriguem mais de 50 (cinquenta) famílias ou nos de empreendimentos comerciais com mais de 50 m² de área construída, no Estado do Rio de Janeiro.

A Lei Estadual de São Paulo nº 12526 de 2007, estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. É obrigatória a implantação de sistema para a captação e retenção de águas pluviais, coletadas por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m² (quinhentos metros quadrados). Entre os objetivos dessa medida está a contribuição para reduzir o consumo e o uso adequado da água potável tratada.

Em Belo Horizonte, cenário de estudo deste trabalho, há um projeto de lei nº 1509 de 2015 que dispõe sobre a criação de modelo para captação de águas pluviais, conforme padrões estabelecidos pelo município. No entanto, esse projeto não teve maiores andamentos na câmara municipal.

3.7. Qualidade da água pluvial

Tomaz (2001) sugere que:

“A água de chuva armazenada pode apresentar uma aparência de água pura e limpa, mas muitas vezes isso não corresponde à realidade. Em algumas regiões urbanas, a água da chuva pode conter impurezas absorvidas da poluição atmosférica, não sendo recomendada para ingestão humana”.

A qualidade da água de chuva depende de diversos fatores, sejam meteorológicos que envolvem fatores de intensidade, duração, regime de ventos e estação do ano até fatores geográficos, presença de vegetação e/ou carga poluidora.

Em áreas urbanas e polos industriais, normalmente são encontradas alterações nas concentrações de determinados componentes devido principalmente aos poluentes encontrados na atmosfera. A reação dos poluentes como CO₂, SO₂ e óxidos de nitrogênio (NO_x) com as moléculas de água formam ácidos que diminuem o pH da água da chuva. Considera-se chuva ácida àquelas que apresentam pH inferiores a 5,6 (BRAGA E HESPANHOL, 2005).

Cardoso (2009) aponta que em áreas rurais, as águas pluviais apresentam qualidade superior às águas captadas em áreas urbanas industriais. Em regiões que a presença de poluentes atmosféricos é

expressiva, o pH pode atingir 4,0 ou valores inferiores, como 3,0 já relatadas em regiões da Europa e dos Estados Unidos (TOMAZ, 2010). Nas regiões em que há grande emissão de poluentes atmosféricos ou nas regiões em que a chuva ácida é uma realidade, devido à movimentação de massas de ar, as águas pluviais devem ser utilizadas para uso não potável. Em sua tese, Cardoso (2009) pode comprovar que a qualidade de água de chuva pode variar de região para região dentro de uma mesma cidade, sendo a poluição advinda de automóveis e ônibus uma das possíveis causas para a qualidade inferior.

No que diz respeito ao aproveitamento da água de chuva, deve-se atentar para as superfícies de coleta, como telhados e lajes. Tomaz (2010) e a Organização Mundial de Saúde (2006) ressaltam que os materiais da superfície de coleta podem interferir na contaminação da água, e a presença de outros contaminantes como fezes de pássaros, de ratos, poeira e folhas de árvores também podem interferir na qualidade da água pluvial.

A qualidade da água da chuva também varia no decorrer do tempo, sendo que os contaminantes estão concentrados nos primeiros minutos de precipitação (Tomaz, 2010). Sendo então adotado como boas práticas no aproveitamento de água de chuva, o descarte do volume inicial coletado. Rodrigues *et al.* (2007) aponta que a Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva - ABCMAC indica o descarte de 1 a 2 litros por metro quadrado de telhado.

O PROSAB (2009) também recomenda que como as primeiras águas pluviais são de baixa qualidade, o manejo da água de chuva deve ser realizado de modo criterioso, eliminando essa primeira fração priorizando o monitoramento e o tratamento.

Campos (2004) sugere que na fase de implantação do projeto sejam adotados procedimentos que facilitem a manutenção e a limpeza da área de captação e do reservatório. Nesse sentido, os componentes do sistema devem evitar contato direto de homens e animais com a água. Equipamentos que descartem a primeira água da chuva conhecidos como *first flush* se fazem necessários para garantir a "segurança sanitária". Cardoso (2009) confirma a importância da limpeza das calhas após o período de estiagem, para a melhoria dos parâmetros como turbidez e cor aparente e, conseqüentemente, melhoria na qualidade da água captada.

Na NBR 15527/2007 são indicados os padrões de qualidade para usos não potáveis (*Tabela 1*), que devem ser definidos de acordo com a utilização prevista.

Tabela 1: Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100mL
Coliformes termos tolerantes	Semestral	Ausência em 100mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	<2,0 uT ^b , passa usos menos restritivos <5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	<15 uH ^c
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

NOTA podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio

^a No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.

^b uT é a unidade de turbidez.

^c uH é a unidade de Hazen

Fonte: NBR 15527 (2007).

No entanto, a NBR 15527/2007 não especifica para quais os usos se faz necessário a desinfecção.

3.8. Dimensionamento de reservatórios de água pluvial

Murça *et al.* (2014) abordam que o dimensionamento do reservatório é uma das etapas mais relevantes do projeto de aproveitamento de águas pluviais, uma vez que é um item de alto custo unitário e, conseqüentemente, determinante na obtenção da viabilidade econômica.

Segundo a NBR 15527/2007, o volume de água aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, sendo calculado pela equação 1. O coeficiente é definido pela razão do volume de água escoado superficialmente por ocasião de uma chuva pelo volume total da água precipitada.

$$V = P \times A \times C \times \eta_{\text{fator de correção}} \quad (1)$$

Em que V é o volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável; P é a precipitação média anual, mensal ou diária; A é a área de coleta do sistema de captação, C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura e $\eta_{\text{fator de correção}}$ é a eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e o desvio de escoamento inicial, caso o último seja utilizado.

A seleção da técnica a ser utilizada é fortemente influenciada pelo seu grau de facilidade no processo de cálculo. As técnicas que exigem séries históricas de dados pluviométricos, por exemplo, tendem a incorporar as características locais dos regimes de chuva, e apresentam, assim, um resultado mais consistente; porém, os dados de chuva raramente são diretamente aplicáveis, exigindo um considerável esforço para processá-los (DORNELLES *et al.*, 2010).

O dimensionamento desses reservatórios é feito com a utilização de métodos de regularização de vazão, tradicionalmente utilizados para o dimensionamento de reservatórios para abastecimento público ou geração de energia (MIERZWA *et al.*, 2007).

A NBR 15527 sugere diferentes métodos para dimensionamento de reservatório: método de Rippl, método da simulação, método Azevedo Neto, método prático alemão, método prático inglês e método prático australiano.

3.8.1. Método de Rippl

O método de Rippl, também chamado de diagrama de massa, é um procedimento gráfico onde a curva de volumes médios mensais acumulados é graficada ao longo de um ano hidrológico (DORNELLES *et al.*, 2010).

Amorim e Pereira (2008) abordaram que o método é o mais utilizado, especialmente por sua fácil aplicação. Entretanto, há uma série de críticas sobre sua utilização, baseadas principalmente no fato de esse método ter sido, a princípio, desenvolvido para grandes reservatórios, o que acarretaria uma superestimativa do volume a ser reservado, sendo considerado antieconômico por Murça *et al.* (2014), pelo fato de pressupor o atendimento pleno da demanda. O método consiste na determinação do volume com base na área de captação e

na precipitação registrada, considerando-se que nem toda a água precipitada seja armazenada e correlacionando tal volume ao consumo mensal da edificação, que pode ser constante ou variável.

A seguir, as equações 2, 3 e 4 utilizadas no método de Rippl (Cohim *et al.*, 2008).

$$Q_t = P_t * A * C \quad (2)$$

$$S_t = D_t - Q_t \quad (3)$$

$$V = \Sigma S_t \text{ somente para valores } S_t > 0 \quad (4)$$

Sendo:

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$Q_{(t)}$ é o volume de chuva captada no tempo t ;

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

$P_{(t)}$ é a precipitação no tempo t ;

C é o coeficiente de escoamento superficial;

A é a área de captação; e

V é o Volume do reservatório.

3.8.2. Método de Simulação

Nesse método, os registros de precipitação (mensais ou diários) são utilizados para simular o comportamento do volume de água no reservatório apresentado na equação 5. A simulação inicia com o reservatório cheio, representado por 0 (zero), de forma que, se o

resultado do balanço, em um intervalo de tempo é positivo, automaticamente é utilizada representação de reservatório cheio. Apenas os déficits (valores negativos) são mantidos, e o volume do reservatório será definido como o maior déficit obtido com a série de dados de chuva do local, onde o reservatório será construído (DORNELLES *et al.*, 2010; ABNT, 2007).

$$S_{i+1} = S_i + A * P_i - D_i \quad (5)$$

Se $S_{i+1} > 0$ então $S_{i+1} = 0$

Em que:

S é o volume de água no reservatório (litro);

P é a precipitação (mm);

A é a área de coleta de água de chuva (m²);

D é a demanda (litro);

i é o indexador temporal (dia ou mês).

3.8.3. Método Azevedo Neto

É um método prático que visa obter o volume de reservação diretamente da seguinte equação 6 (ABNT, 2007):

$$S = 0,042 * P * A * T \quad (6)$$

Em que: S = volume de água no reservatório (litro);

P é a precipitação (mm);

A é a área de coleta de água de chuva (m²);

D é a demanda (litro);

T é o número de meses sem chuva por ano.

Neste método empírico é desconsiderada a influência da demanda, considerando apenas o volume captado e o período de estiagem (mensal) (COHIM *et al.*, 2008).

3.8.4. Método Prático Alemão

Trata-se de um método empírico onde se toma o menor valor do volume do reservatório; 6 % do volume anual de consumo ou 6 % do volume anual de precipitação aproveitável, conforme a equação 7 (ABNT, 2007):

$$V_{adotado} = \text{mínimo} \{ (V e D) * 0,06 (6\%) \} \quad (7)$$

Sendo:

V é o volume anual de precipitação aproveitável (litros);

D é a demanda anual de água não potável (litros).

Ou como sugere Dornelles *et al.* (2010) conforme a equação 8:

$$S = \min(P * A; 365,25 * D) * 0,06 \quad (8)$$

Em que:

P é a precipitação média anual (mm);

A é a área de captação (m²);

D é a demanda diária (litro);

S é o volume do reservatório (litro);

3.8.5.Método Prático Inglês

O volume do reservatório é obtido pela equação empírica, que adota diretamente 5% do volume anual de água pluvial captado (Dornelles *et al.*, 2010), dado pela equação 9:

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

Em que:

P é o valor numérico médio anual (mm);

A é o valor numérico da área de coleta em projeção (m²);

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna (litros).

3.8.6.Método Prático Australiano

Outro método empírico citado na NBR 15527 (ABNT, 2007) é o método Prático Alemão. Neste método, o volume de chuva é obtido pela equação 10:

$$Q = A * C * (P - I) \quad (10)$$

Em que:

C é o coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P é a precipitação média mensal;

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

A é a área de coleta;

Q é o volume mensal produzido pela chuva.

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório, por meio de balanço hídrico dado pela equação 11:

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (11)$$

Onde:

Q_t é o volume mensal produzido pela chuva no mês t;

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

V_{t-1} é o volume de água que está no tanque no início do mês t;

D_r é a demanda mensal.

Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio.

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

3.8.7. Método de otimização proposto por Murça et al. (2014)

A maior parte dos métodos propostos pela NBR 15527 da ABNT é empírico, baseados em experiências internacionais. Murça et al. (2014) identificaram que não há um método que aborde a questão do dimensionamento de reservatórios como um problema de otimização,

com o objetivo de obter uma solução ótima de acordo com parâmetros pré-estabelecidos. Os pesquisadores desenvolveram um modelo de programação matemática não linear que acopla o modelo hidrológico do balanço de massa a uma análise econômica de custo no ciclo de vida, integrando assim os aspectos hidráulico e econômico de funcionamento do reservatório.

O método assume que existe uma demanda fixa conhecida de água potável em uma edificação que pode ser substituída por água pluvial e, portanto, deseja-se projetar um reservatório de água pluvial que "seja o mais econômico possível" para atender essa demanda em um período de projeto específico.

Foi considerado o balanço diário de massa líquida no reservatório (equação 12) ao longo de um ano, ou seja, t variando de 1 a 365,

$$S_t = Vp_t + S_{t-1} - D_t \quad (12)$$

S_t é o volume do reservatório no tempo t em m^3 ;

S_{t-1} é o volume de água no reservatório no tempo $t-1$ em m^3 ;

Vp_t é o volume de chuva aproveitável em m^3 ;

D_t é a demanda diária em m^3 .

O volume de chuva aproveitável (Vp_t) é obtido através da equação 13, t variando de 1 a 365:

$$Vp_t = C \times (P_t \times 10^{-3}) \times A - ff \quad (13)$$

Sendo, P_t a precipitação diária em mm;

A é a área de coleta da água pluvial em m²;

C é o coeficiente adimensional de escoamento superficial (*runoff*);

Ff é o descarte da precipitação inicial (*first flush*) em m³.

Considera-se um evento de precipitação e uma demanda fixa de água pluvial em determinado dia, o volume de água precipitado soma-se ao volume de água existente no reservatório demonstrado pelas equações 14 e 15:

$$S_{t-1} \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ se } t = 1; \\ 0, \text{ se } S_{t-2} < 0 \\ (S_{t-2}, \text{ caso contrário}), \text{ caso contrário,} \end{array} \right\} \quad (14)$$

$$S_t \left\{ \begin{array}{l} V_R, \text{ se } Vp_t + S_{t-1} - D_t > V_R \\ (Vp_t + S_{t-1} - D_t), \text{ caso contrário} \end{array} \right\} \quad (15)$$

Sendo V_R o volume do reservatório.

Se o volume de chuva precipitado é tal que excede a capacidade do reservatório, tem-se e um excedente que pode ser descartado descrito pela equação 16:

$$Ov_t = \left\{ \begin{array}{l} (Vp_t + S_{t-1} - D_t - V_R), \text{ se } Vp_t + S_{t-1} - D_t > V_R \\ 0, \text{ caso contrário} \end{array} \right\} \quad (16)$$

Sendo Ov_t a quantidade de chuva extravasada no tempo t .

Se o volume de chuva precipitado vai para o reservatório de águas pluviais, constitui o volume de água consumido, conforme as equações 17 e 18:

$$Vc_t = \left\{ \begin{array}{l} M, \text{ se } M \leq V_R \\ V_R, \text{ caso contrário} \end{array} \right\} \quad (17)$$

$$M = \begin{cases} D_t, \text{ se } Vp_t + S_{t-1} \geq D_t \\ (Vp_t + S_{t-1}), \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (18)$$

Em que Vc_t é a quantidade de chuva consumida no tempo t ; M é um parâmetro matemático, sem significado físico, criado apenas para facilitar a visualização e o entendimento.

O suprimento é dado pela equação 19. Caso o volume de água precipitado somado ao volume de água já contido no reservatório não for suficiente para suprir a demanda, será necessário que o abastecimento ocorra por parte da concessionária de água, conforme equações 20 e 21:

$$\text{Suprimento}_t = X_t + Y_t \quad (19)$$

$$X_t = \begin{cases} -(Vp_t + S_{t-1} - D_t), \text{ se } Vp_t + S_{t-1} - D_t < 0, \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (20)$$

$$Y_t = \begin{cases} (D_t - Vc_t - X_t), \text{ se } Vc_t + X_t \leq D_t \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (21)$$

Em que suprimento é o suprimento de água fornecido pela concessionária no tempo t , X_t e Y_t são parâmetros matemáticos criados para facilitar a visualização e o entendimento.

O método é aplicado para cada ano da série histórica de precipitação diária, sendo aplicado a cada ano independentemente, evitando assim uso de valores médios, o que poderia reduzir drasticamente a confiabilidade. O volume ótimo global do reservatório é definido como o máximo entre as soluções ótimas obtidas para cada ano.

Os pesquisadores desenvolveram um método que otimiza o dimensionamento do reservatório de águas pluviais. No entanto há duas situações que devem ser consideradas em se tratando de um projeto de sistema de um sistema de reaproveitamento de água de chuva. Na situação mais comum, tem-se a demanda fixa obtida através do levantamento do perfil de consumo no edifício e deseja-se obter o volume ótimo do reservatório para atender a essa demanda de maneira eficiente. Predefinindo a demanda de água de chuva e do tempo de vida útil do sistema de aproveitamento, estabelece o seguinte problema de programação matemática descrito pela equação 22:

Minimizar VPR_{chuva}

$$\text{Sujeito a } \left\{ \begin{array}{l} V_R \geq 0 \\ \sum_{t=1}^{365} D_t \leq \sum_{t=1}^{365} Vp_t \end{array} \right\} \quad (22)$$

Observa-se então que o método proposto por Murça *et al.* (2014) para o dimensionamento de reservatório de águas pluviais se difere dos outros métodos existentes já que garante a obtenção da solução mais econômica que atende aos requisitos de demanda em uma análise de ciclo de vida.

Em um segundo caso, fixa-se o volume do reservatório e projeta-se uma demanda para determinada atividade para que o custo com o abastecimento provido pela concessionária seja o menor possível. A minimização nesse caso não seria viável já que reduziria a demanda a zero, sendo necessário criar um novo problema matemático para obter a demanda que otimize a eficiência do sistema. Foi estabelecido um problema de maximização da diferença entre o volume anual de chuva consumido e o volume anual fornecido pela concessionária dado pela equação 23, sujeito as condições da equação 24.

$$\text{Maximizar } \sum_{t=1}^{365} Vc_t - \sum_{t=1}^{365} Supr_t \quad (23)$$

$$\text{Sujeito a } \left\{ \begin{array}{l} D_t \geq 0 \\ \sum_{t=1}^{365} D_t \leq \sum_{t=1}^{365} Vp_t \end{array} \right\} \quad (24)$$

3.8.8. Aplicação dos dimensionamentos de reservatórios

Diversos autores realizaram o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva utilizando os métodos sugeridos na NBR 15527/2007.

Cohim *et al.* (2008) avaliaram como a distribuição da precipitação pode influenciar o aproveitamento de água pluvial. Para tanto, considerou-se uma demanda de 40 litros/pessoa.dia em uma residência fictícia com 100m² de telhado em 5 municípios baianos: Salvador, Barreiras, Lençóis, Juazeiro e Itabuna. Os resultados obtidos para cada método, em cada cidade correspondente, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados dos dimensionamentos de reservatórios para municípios baianos - métodos descritos na NBR 15527/2007.

Municípios	Juazeiro	Barreiras	Lençóis	Itabuna	Salvador
Precipitação anual (mm)	443	999	999	1497	1803
Método de Cálculo	Volume do Reservatório por Método de Cálculo Utilizado (m³)				
Rippl	29,9	21,9	7,9	-	0,7
Prático Brasileiro	13,0	16,8	16,8	6,29	22,72
Prático Alemão	2,3	5,1	5,1	7,63	9,20
Prático Inglês	2,2	5,0	5,0	7,48	9,02

Fonte: Cohim *et al.* (2008).

O método de Rippl resultou em um volume de reservatório diferente para os municípios de Barreiras e Lençóis, apesar destes apresentarem a mesma média anual de 999 mm. Tal diferença é causada pela forma que as precipitações estão distribuídas ao longo do ano, Barreiras possui um período de estiagem mais longo e severo, resultando em um volume maior para suprir a demanda durante esse período, enquanto Lençóis possui regime de precipitação bem distribuído ao longo do ano. Juazeiro obteve o maior volume pelo método de Rippl enquanto Salvador obteve o menor, essa diferença é atribuída tanto para a quantidade de chuva quanto para a sua distribuição durante o ano. O método de Rippl não se aplica a Itabuna pois se baseia no balanço entre disponibilidade e demanda, acumulando água no período de chuva para ser utilizada durante a estiagem, porém, nesse município, não há um mês onde o volume captado seja inferior a demanda considerada.

Para os métodos práticos, verifica-se que os volumes maiores foram encontrados em municípios que apresentam maiores precipitações anuais, sendo os municípios com precipitação anual idêntica, apresentaram volumes também idênticos. Tal resultado se deve a forma que são calculados, já que nesses métodos se consideram o volume total de chuva captado no ano, desprezando a forma de distribuição ao longo do ano.

Lopes *et al.* (2015) calcularam volumes de reservatórios para residências localizadas em Belo Horizonte (MG), Recife (PE) e Rio Branco (AC) utilizando nos métodos sugeridos na NBR 15527. Utilizou-se uma série histórica de 44 anos, de 1970 até 2014, considerou-se área de captação de 150 m² e demanda mensal a ser suprida pelo

sistema de aproveitamento igual a $8,8\text{m}^3$. Os resultados obtidos encontram-se descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados do dimensionamento de reservatórios em três municípios brasileiros – métodos NBR 15527/2007.

Métodos	Volume Reservatório (m^3)		
	Belo Horizonte	Recife	Rio Branco
Rippl	31	7,4	11,8
Azevedo Neto	58,5	59	50
Prático Alemão	6,3	6,3	6,3
Prático Inglês	12	17	1,5
Prático Australiano	8	5	5

Fonte: Lopes *et al.* (2015).

Murça *et al.* (2014) realizaram o dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água de chuva para o Parque de material Aeronáutico do Galeão (PAMA-GL), no Rio de Janeiro. Adotaram como parâmetros de entrada: área total de $28361,7 \text{ m}^2$, demanda diária de 40 m^3 , descarte de 2 mm, coeficiente de escoamento superficial (runoff) de 0,8 e série de dados pluviométricos de 2004 a 2010. Os dimensionamentos foram realizados segundo os métodos da NBR 15527/2007 e pelo método de otimização proposto, os resultados obtidos estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados do dimensionamento de reservatórios para o Parque de Material Aeronáutico do Galeão - métodos NBR15527/2007 e método de otimização.

ANO	Proposto	Rippl	Azevedo Neto	Prático Alemão	Prático Inglês
2004	266	1477	2476	878	1474
2005	266	2142	2623	878	1561
2006	235	2577	2395	878	1426

2007	191	1309	2134	878	1270
2008	200	1360	3265	878	1945
2009	280	1040	3941	878	2346
2010	149	2771	3629	878	2160
Máximo	280	2771	3941	878	2346

Fonte: Murça *et al.* (2014).

O método de otimização proposto conduz a valores bem menores de volume, enfatizando que a utilização de métodos de otimização pode aumentar significativamente a viabilidade econômica do sistema de aproveitamento de águas pluviais (MURÇA *et al.*, 2014).

3.9. Viabilidade econômica de implantação do sistema

Campos (2004) aborda que o reservatório é o componente que determinará a viabilidade técnica e econômica do sistema de aproveitamento de água pluvial. Na avaliação de um sistema de aproveitamento de água de chuva deve-se contemplar:

- Custo completo das instalações em toda a sua vida;
- Eficiência das instalações; e
- Benefícios esperados.

No Brasil, não existe padronização quanto ao tempo de vida de um sistema de coleta e armazenamento de água da chuva. Na prática, adotam-se períodos de 5 a 7 anos para o retorno do capital investido, mesmo não havendo uma relação com a vida útil do sistema (TOMAZ, 2010).

Assim como existem diversos métodos de dimensionamento de reservatório, também existe uma variedade de métodos para o cálculo da análise econômica de uma solução. Tomaz (2001) sugere que os

três métodos: *payback*, análise do benefício-custo e análise do custo no ciclo de vida, são os mais utilizados para a análise econômica de um sistema de águas pluviais

3.9.1. Método do *payback* simples

O período do *payback* se resume ao tempo necessário para que o investimento realizado no sistema seja recuperado, desconsiderando o valor do dinheiro no tempo (BISCHOFF, 2013).

Murça *et al.* (2014) relatam que para calcular o *payback* simples deve-se calcular o custo de implantação do sistema de aproveitamento de água e o custo do volume de água fornecido pela concessionária caso não houvesse o sistema (equação 25). O método também não leva em consideração o suprimento de água potável quando a demanda supera o volume de água pluvial aproveitável.

$$\text{Payback} = \frac{\text{custo de implantação}}{\text{custo de fornecimento de água pela concessionária}} \quad (25)$$

Bischoff (2013) sugere que por ser um método de avaliação de fácil aplicação e interpretação é muito utilizado na prática. A principal desvantagem desse método, no entanto, é não considerar o valor do dinheiro no tempo, sendo necessário utilizá-lo em conjunto com outros métodos de avaliação e seleção de projetos.

3.9.2. Método da análise do benefício-custo

De acordo com Powell (2005), esse método considera o custo de um projeto, junto com a economia de seus benefícios. São geralmente utilizados em setores privados.

Murça *et al.* (2014) abordam que o método consiste em determinar o benefício anual e o custo anual do sistema, equação 26, e verificar se o quociente entre eles é maior ou igual a 1. Calcula-se o benefício anual considerando a economia de água potável e o custo anual envolve a amortização do custo do reservatório e seus respectivos custos de operação no período de um ano.

$$\text{análise do custo - benefício} = \frac{\text{benefício anual}}{\text{custo anual do sistema}} \quad (26)$$

No entanto, esse método também não considera o suprimento de água potável pela concessionária quando a demanda extrapola a capacidade do reservatório.

3.9.3. Método da análise do custo no ciclo de vida

Esse método se baseia na comparação do valor presente (VPR) entre duas alternativas excludentes. No caso do sistema de aproveitamento de águas pluviais, uma delas será aproveitar ou não esse recurso.

Tomaz (2003) sugere que deve considerar todos os custos relevantes de todos os componentes e parâmetros que compreendem o sistema durante seu ciclo de vida.

Murça *et al.* (2014) consideraram apenas os parâmetros correspondentes ao dimensionamento do reservatório: custo de implantação, custo operacional e de manutenção, suprimento de água potável por parte da concessionária quando o sistema não é capaz de atender à demanda.

O valor presente é dado pela seguinte equação:

$$VPR = F \times \frac{1}{(1 + d)^t} \quad (27)$$

Em que F representa o investimento pontual no tempo t e d representa a taxa de juros anual real.

De acordo com Tomaz (2003), o valor presente uniforme é usando como se fosse uma série de valores iguais que são pagos durante um certo número de anos. Sendo assim, o valor presente uniforme é dado pela equação a seguir:

$$VPRU = A \times \frac{(1 + d)^n - 1}{d(1 + d)^n} \quad (28)$$

Sendo A é o investimento anual no período de n anos e d representa a taxa de juros anual real.

3.9.4. Método adotado por Murça et al. (2014)

Murça et al. (2014) contemplam em seu método de otimização de dimensionamento de reservatórios uma análise do custo do ciclo de vida.

O método considera uma análise de ciclo de vida de 20 anos de projeto e o custo do reservatório foi calculado com base no informativo SBC de 2011. Adotaram-se reservatórios de concreto armado para o caso, “uma vez que a especificidade da metodologia de gerar como saída o volume ótimo do reservatório está intimamente ligada à possibilidade de usar reservatórios pré-moldados ou moldados *in loco* para o caso de volumes não disponíveis”.

A equação do custo do reservatório no método é descrita conforme a equação 27.

$$\text{Custo (R\$)} = 421,72 \times \text{Volume (m}^3\text{)} + 3099,06 \quad (29)$$

O custo contingencial (projeto, instalação, dentre outros) foi considerado 30% do custo do reservatório e o custo de operação e manutenção foi considerado como 6% do custo do reservatório. Ambos os valores foram recomendados por Tomaz (2003) de acordo com análises empíricas.

4. METODOLOGIA

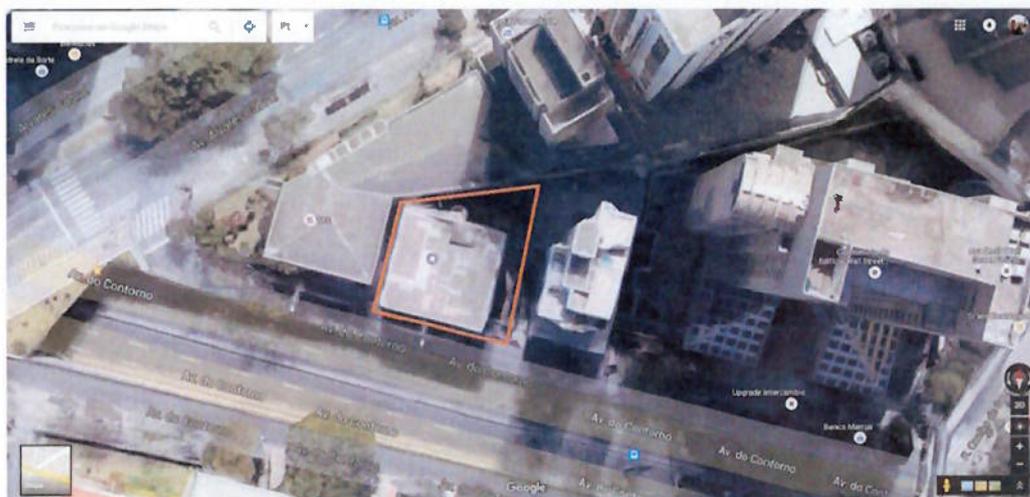
Para realizar a comparação entre os métodos de dimensionamento, foram selecionados os métodos Rippl, Azevedo Neto e métodos práticos da NBR 15527, além do método de otimização proposto por Murça *et al.* (2014). O método da simulação não foi inserido no contexto do presente trabalho por não fornecer um volume ótimo, funcionando apenas como ferramenta para observar a eficiência do reservatório quanto ao atendimento da demanda, considerando um reservatório de volume pré-definido.

A metodologia empregada é do tipo exploratória, buscando familiarizar-se com os métodos de dimensionamento de reservatório, a fim de obter maior entendimento a respeito.

4.1 Descrição da área de aplicação

O Condomínio Edifício Nossa Senhora da Pompeia está localizado na Avenida do Contorno 8100, bairro Santo Agostinho, em Belo Horizonte – MG. O edifício possui 3 pavimentos, somando um total de 6 apartamentos com cerca de 3 habitantes cada. Por se tratar de uma edificação antiga, praticamente 100% do terreno encontra-se impermeabilizado. Caso haja aproveitamento de águas pluviais, a coleta se realizaria no telhado de laje de 300m².

Figura 3: Localização do condomínio edifício Nossa Senhora da Pompéia



Um dos dados fundamentais para o cálculo da demanda é o padrão de consumo médio mensal de acordo com a conta de água do prédio, baseando-se na conta de água do prédio (Tabela 5).

Tabela 5: Histórico de consumo de água em um prédio residencial durante um período de um ano (abril/2015 – março-16).

Mês	Volume faturado (l)	Dias entre medições	Média diária (l)	Média diária (m ³)
Mar/16	83000	28	2964	2,96
Fev/16	100000	33	3030	3,03
Jan/16	82000	30	2733	2,73
Dez/15	95000	32	2969	2,97
Nov/15	82000	29	2828	2,83
Out/15	89000	30	2967	2,97
Set/15	102000	32	3188	3,19
Ago/15	70000	30	2333	2,33
Jul/15	71000	30	2367	2,37
Jun/15	96000	31	3097	3,10
Mai/15	79000	28	2821	2,82
Abr/15	75000	32	2344	2,34

Fonte: Autora

Compilando a demanda média diária dos últimos 12 meses e realizando a média aritmética, obteve-se que o consumo médio é de 2,80 m³/dia e, portanto, o consumo médio mensal é de 84,10 m³.

4.2 Dados de entrada dos modelos

Os métodos foram aplicados para uma situação real de um prédio residencial de três andares, com dois apartamentos por andar, localizado na cidade de Belo Horizonte – MG.

Adotou-se que cerca de 50% dessa demanda seria para utilizada fins não potáveis (TOMAZ, 2010), sendo, portanto, fixada como demanda mensal para os dimensionamentos o valor de 40 m³. Além disso, foi considerado um coeficiente de escoamento superficial (runoff) de 0,8, descarte (*first flush*) de 2 mm e área de captação de 300 m².

Os dados pluviométricos foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Para o dimensionamento dos métodos, foram utilizados os dados de precipitação diários e mensais em Belo Horizonte – MG, no período de 01/01/2005 até 31/12/2015.

4.3 Dimensionamento do reservatório de água pluvial

Para os cálculos de dimensionamento, foram utilizados os programas Excel 2013 e o programa Rezz versão 0.5, que realiza os cálculos de dimensionamentos de cada método, utilizando o hidrograma anual ou mensal, pertinente a cada método.

O programa computacional REZZ, desenvolvido por Nascimento e Moruzzi (2009) foi concebido baseando-se no princípio de sistema de suporte a decisão, o programa foi desenvolvido por Nascimento e

Moruzzi (2009). Os métodos disponíveis no programa são aqueles descritos na NBR 15527/07. O programa possui uma interface simples e amigável com usuário (MORUZZI e OLIVEIRA, 2010).

Figura 4: Interface inicial do programa REZZ 0.5



A inserção dos parâmetros de entrada é simples, basta escolher o método de cálculo, anexar o respectivo hidrograma e inserir os parâmetros de entrada.

Figura 5 : Inserção dos parâmetros para cálculo do método de Rippl



Para a análise econômica, foi utilizado o valor presente das diferentes opções: abastecimento total suprido pela concessionária, reservatório de concreto proposto no método de Murça *et al.* (2014), e reservatório de polipropileno. O orçamento dos reservatórios de polipropileno foi realizado pela Tega Engenharia, uma empresa que atua no mercado a mais de dez anos, sendo especialista em soluções para saneamento, meio ambiente e prestação de serviços técnicos

especializados. O orçamento encaminhado pela empresa encontra-se descrito abaixo na *Tabela 6*:

Tabela 6: Orçamento de sistema de aproveitamento de água de chuva – 2016.

Qtd	Equipamento/Serviço	Valor
01	Cisterna de água de chuva fabricada em polipropileno 1.000L Diâmetro: 1,30m. Altura: 1,0m	R\$2.200,00
01	Cisterna de água de chuva fabricada em polipropileno 2.500L Diâmetro: 1,30m. Altura: 2,0m	R\$2.900,00
01	Cisterna de água de chuva fabricada em polipropileno 5.700L Diâmetro: 1,92m. Altura: 2,0m	R\$ 4.200,00
01	Cisterna de água de chuva fabricada em polipropileno 10.000L Diâmetro: 2,60m. Altura: 2,0m	R\$ 9.000,00
01	Kit de reuso (irrigação e lavagem de piso): filtro para retenção de partículas na entrada VF1, freio d'água, sifão, bomba com sensor de nível, flutuante e clorador de passagem	R\$ 4.500,00
01	Kit de reuso (irrigação, lavagem de piso, bacia sanitária): filtro para retenção de partículas na entrada VF1, freio d'água, sifão, bomba com sensor de nível, flutuante e clorador de passagem, filtro zeolita 500L/h	R\$ 8.000,00

Fonte: Tega Engenharia e Meio Ambiente.

A comparação de viabilidade técnica e econômica se deu pelo confronto entre os valores presentes de cada opção (com sistema de aproveitamento de água de chuva ou não) adotado para o reservatório de menor volume obtido na aplicação dos métodos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Métodos da norma NBR 15527

Foi calculado o volume do reservatório de água pluvial para os métodos Rippl, Azevedo Neto e os métodos práticos Inglês, Alemão e Australiano. Para tal foi utilizado o programa Rezz 0.5 e hidrograma anual de 2005 a 2015, apresentado na *Tabela 7*.

Tabela 7: Hidrograma anual (2005 a 2015) da cidade de Belo Horizonte – precipitação em mm.

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2005	241,00	158,30	253,70	38,60	36,00	23,30	6,50	4,90	127,20	42,90	292,70	393,00
2006	144,20	132,60	265,00	54,80	45,70	5,80	3,20	21,60	89,20	123,40	343,60	338,80
2007	350,90	171,30	79,80	98,00	7,00	0,00	5,90	0,00	1,70	104,00	132,40	212,20
2008	305,50	208,60	346,50	144,00	0,50	2,10	0,00	47,10	99,70	53,20	216,20	601,30
2009	313,40	215,80	273,20	41,60	20,40	38,60	0,20	23,10	103,10	344,30	213,70	564,10
2010	291,50	71,00	247,90	85,10	26,80	0,80	0,00	0,00	71,00	216,60	396,60	293,20
2011	317,90	66,60	334,50	98,70	5,00	14,60	0,00	0,00	1,40	178,80	288,70	720,00
2012	407,50	34,30	196,40	111,30	61,10	17,00	0,00	0,00	22,80	32,10	310,00	143,00
2013	426,80	75,40	127,90	99,40	46,70	23,10	0,00	0,00	32,80	137,70	108,20	495,00
2014	103,90	22,90	73,70	235,80	18,50	13,10	48,10	3,30	1,80	69,40	215,50	138,10
2015	103,80	263,80	237,20	78,70	96,70	5,00	12,40	0,00	43,50	67,50	184,30	152,30

Fonte: INMET.

Os parâmetros de entrada para a realização do cálculo de dimensionamento foram iguais para todos os métodos e estão apresentados na *Tabela 8*.

Tabela 8: Parâmetros de entrada para cálculos.

Área de Captação	300 m ²
Coefficiente de Escoamento	0,8
Demanda mensal de água	40 m ³
* Intercepção (first flush)	2mm

Fonte: Autora

Uma vez inseridos o hidrograma e os dados de entrada, são calculados os volumes pelo REZZ. Na *Tabela 9* são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 9: Resultados obtidos nos cálculos do dimensionamento utilizando os métodos da NBR15527/2007.

Método	Volume (m³)
Rippl	207,5316
Azevedo Neto	59,62056
Alemão	22,71259
Inglês	23,65895
Australiano*	66,37601

Fonte: Autora

O programa Rezz como ferramenta de cálculo se mostrou prático e possibilitou resultados rápidos.

Os diversos modelos apresentam uma grande dispersão nos resultados no que diz respeito ao volume do reservatório de água de chuva. Os métodos tidos como práticos (Azevedo Neto, Alemão, Inglês e Australiano), por serem mais simples de serem calculados, devido à facilidade de utilizar os parâmetros de entrada, podem não representar um volume compatível com que a situação real exige. Lopes et al. (2015) atribuem a variedade de resultados à diferença conceitual dos métodos, representada por suas formulações.

O método Rippl considera a distribuição pluviométrica média e a demanda de consumo da água pluvial, baseando-se na máxima diferença acumulada entre o volume e a demanda de água pluvial. Enquanto outros métodos práticos consideram apenas a área de captação e a média anual de precipitação. O valor obtido, pelo Rippl, considera que o volume do reservatório irá atender 100% da demanda, justificando o porte do reservatório.

Enquanto que o método Azevedo Neto relaciona a capacidade do reservatório com a quantidade de meses de seca ou pouca chuva. Essa variável não é utilizada pelos demais métodos indicados. Aplicado ao

REZZ, considerou-se três meses de pouca chuva, aqueles que a média de chuva diária é inferior a 1mm.

O método prático Alemão considera apenas valores de precipitação anual e, portanto, o volume de água aproveitável. Por se tratar de uma metodologia empírica, o método não se preocupa com a eficiência do sistema, tornando-se um método questionável quanto a certeza do volume de reservatório obtido.

O método prático Inglês é um dos mais simples de ser aplicado, sendo necessário apenas os valores de precipitação anual e área de captação. Por não considerar a demanda de consumo no edifício, espera-se que quanto maior os valores de precipitação maior será o reservatório, resultando em volumes de reservatório tecnicamente e economicamente inviáveis.

O método prático Australiano relaciona a precipitação total mensal e a demanda mensal para cálculo do volume do reservatório. Além disso, considera também um volume de descarte devido à qualidade inicial da água de chuva. Entre os métodos práticos, foi o método que obteve o maior volume de reservatório, esse resultado pode ser devido aos parâmetros de entrada mais criteriosos.

Para os métodos citados na NBR 15527/2007 não foi possível obter um volume ótimo, uma vez que não foram utilizadas funções restritivas como de custo de construção do reservatório, ou do fornecimento limitado em períodos pré-escassez.

5.2 Método de otimização de dimensionamento de reservatório de água de chuva

O método desenvolvido por Murça *et al.* (2014) visa obter um volume ótimo para reservatórios de água de chuva. O modelo assume uma demanda fixa conhecida para ser usada na edificação, o reservatório deve ser o mais econômico possível para atender essa demanda durante um período de projeto especificado (ciclo de vida).

Manteve-se 20 anos de vida útil e taxa de desconto de 0,045. Outros parâmetros de entrada adotados estão descritos na *Tabela 10*.

Tabela 10: Parâmetros de entrada adotados no método de otimização para dimensionamento de reservatórios.

Área de Captação	300 m ²
Coefficiente de Escoamento	0,8
Demanda mensal de água	40m ³ = 1,3m ³ diário
Intercepção (<i>first flush</i>)	2 mm
Preço da água por m³	R\$ 5,44

Fonte: Autora

Para cálculo do m³ de água, foi considerado a conta da COPASA do edifício. Na conta de água tem-se que para a faixa de consumo em 1000 litros de 6 a 10 o valor é de R\$ 2,80 e de 10 a 15 é de R\$ 5,44. Foi adotado o maior valor do m³ de água fornecido pela concessionária local, evitando aproximações por meio da média aritmética entre os valores.

O método foi gentilmente disponibilizado por Murça. Após inserção de todos os dados de precipitação e carregamento dos dados, ao buscar o volume ótimo, o programa Excel apresentou um erro. Analisando ano a ano e executando o *solver*, pode-se perceber que o método não funcionou para toda a série de dados, mas apenas para três anos. Esse erro pode ser em decorrência de uma limitação do

solver do Excel, que não consegue identificar uma solução ótima para os dados dos outros anos. Obtiveram-se volumes de reservatório ótimos para o ano 4 (2008), ano 5 (2009) e ano 7 (2011), conforme *Tabela 11*.

Tabela 11: Volumes de reservatório obtidos no método de otimização.

Ano	Volume (m ³)
2008	5
2009	4
2011	2

Fonte: Autora

Moruzzi *et al.* (2012) estabelecem uma análise para o dimensionamento baseado em eficiências de atendimento e de aproveitamento, demanda de água pluvial e tempo de retorno de investimento (no trabalho citado, foi utilizado o *payback* descontado) para diferentes cenários. O trabalho utiliza-se de duas variáveis para a análise do resultado diante do cenário simulado, para tanto são analisadas:

- Eficiência de Atendimento (E_a): quociente entre volume total de chuva consumido e demanda total;
- Eficiência de aproveitamento (E_h): quociente entre o volume total de chuva consumido e o volume total de chuva aproveitável.

Para o estudo de caso, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Coeficientes de eficiência.

E_a (Eficiência no atendimento da demanda)	0,406897148
E_h (Eficiência do sistema de aproveitamento)	0,470037341

Fonte: Autora

A utilização desses coeficientes permite uma escolha mais racional do volume do reservatório para atendimento parcial da

demanda em áreas urbanas plenamente abastecidas pela concessionária. A convergência dos coeficientes indica que a demanda atendida é máxima, e, portanto, o payback é mínimo. Ao aumentar o volume do reservatório e considerar uma demanda de água pluvial fixa, os coeficientes tendem a um valor máximo, limitado pelo volume aproveitável (MURÇA *et al.*, 2014).

Os volumes obtidos não suprem a demanda total em 100% sendo necessário suprimento por parte da concessionária durante alguns períodos do ano. O método desenvolvido por Moruzzi *et al.* (2012) realiza o cálculo da eficiência de disponibilização total da demanda (número de dias que o sistema de aproveitamento supriu a demanda), no caso de um reservatório de 5m³, a eficiência é de 38,90%.

5.3 Comparação do volume do reservatório de água de chuva obtidos pelos métodos da NBR 15527/2007 e o proposto por Murça *et al.* (2014)

Embora os métodos utilizem os mesmos parâmetros de entrada, resultam em diferentes volumes para o reservatório de aproveitamento de água de chuva, devido ao modelo conceitual de cada um. Enquanto alguns métodos consideram a distribuição pluviométrica média mensal e a demanda de utilização de água pluvial (Rippl), outros consideram apenas a área de captação e média anual de precipitação (métodos práticos), o que resulta em diferentes volumes de reservatório.

Os resultados obtidos para os métodos estão descritos na *Tabela 13*.

Tabela 13: Volumes dos reservatórios obtidos nos métodos aplicados

Método	Volume (m³)
Rippl	207,53
Azevedo Neto	59,62
Alemão	22,71
Inglês	23,66
Australiano*	66,38
Otimização (Murça <i>et al.</i> , 2014)	5

Fonte: Autora

É possível notar que o método de otimização proposto realmente conduz a valores inferiores de reservatório do que os métodos sugeridos pela NBR 15527/2007.

O volume obtido pelo método de otimização corresponde à 2,4%; 7,5%; 8,4%; 21,1% e 22,0% dos volumes obtido nos métodos Rippl, Australiano, Azevedo Neto, Inglês e Alemão, respectivamente.

Nesse sentido, a análise e utilização de métodos otimizados pode aumentar significativamente a viabilidade econômica do sistema de aproveitamento de águas pluviais (Murça *et al.*, 2014).

5.4 Viabilidade técnica e econômica da implementação do reservatório de água de chuva

Para a viabilidade técnica e econômica utilizou-se o menor volume encontrado como resultado dos métodos de dimensionamento. O método de otimização resultou no menor volume, no entanto adota-se o maior volume global desse método que foi de 5m³ como é proposto por Murça *et al.* (2014). Nesse caso, o próprio método realiza a análise do ciclo de vida, sendo os resultados apresentados na *Tabela 14*.

Tabela 14: Análise do custo no ciclo de vida - Reservatório em concreto.

ANÁLISE DO CUSTO NO CICLO DE VIDA	
Vida útil (anos)	20
Custo de reservatório (+ custo contingencial) (R\$)	R\$ 6.276,55
Custo O&M anual (R\$)	R\$ 289,69
Taxa de desconto	0,0448
Preço da água (R\$)	R\$ 5,44

Fonte: Autora

O volume de água de chuva consumido pelo sistema e o suprimento externo pela concessionária são mostrados na *Tabela 15*.

Tabela 15: Custos relacionados ao suprimento de água.

Volume de chuva consumido (m ³)	188,31
Custo (R\$)	R\$ 1.024,42
Suprimento anual externo (m ³)	274,49
Custo anual suprimento (R\$)	R\$ 1.493,21

Fonte: Autora

Para o cálculo do valor presente do sistema de aproveitamento de água de chuva foi considerado para o *VPR opção chuva* o custo do reservatório e seu custo contingencial e o suprimento externo pela concessionária quando a demanda não é atendida pelo sistema de aproveitamento; para o *VPR opção concessionária* foi considerado o abastecimento total da demanda pela concessionária. O valor presente de cada opção é mostrado na *Tabela 16*.

Tabela 16: Valores presentes para o reservatório e abastecimento pela concessionária.

Valor Presente Opção Chuva (R\$)	R\$ 29.498,71
Valor Presente Opção Concessionária (R\$)	R\$ 32.791,98
Diferença	R\$ 3.293,27
Payback (anos)	6,126942333

Fonte: Autora

A diferença entre os valores presentes das duas opções sugere que adotar o sistema de aproveitamento de água de chuva seja mais vantajoso do que manter o sistema atual de suprimento pela concessionária. Em termos de recursos econômicos, a economia em vinte anos seria de aproximadamente R\$3.000,00. Além disso, há a economia de recursos naturais pela poupança de água potável.

O payback do sistema é a razão entre o custo do reservatório somado aos custos contingenciais e custo do volume de água consumido, dessa forma, o payback se realizaria em 6,13 anos.

Com base no orçamento realizado em polipropileno, o custo da instalação de um reservatório de 5700 litros é de R\$4.200,00. O valor presente da instalação desse reservatório está descrito na Tabela 17.

Tabela 17: Valor presente para o reservatório de polipropileno.

Valor Presente Opção Chuva	R\$ 12.317,47
Diferença	R\$ 20.474,51
Payback	5,329859332

Fonte: Autora

A instalação de um reservatório em polipropileno seria ainda mais interessante que a de um reservatório em concreto, resultando em uma economia superior a R\$20.000,00. O payback desse reservatório também é mais atrativa à sua instalação e se realiza em 5,33 anos.

6. CONCLUSÕES

Diante das crises hídricas que a região sudeste do Brasil vem enfrentando nos últimos anos e analisando as possibilidades para reverter esse cenário, buscam-se alternativas para o aproveitamento de águas pluviais como forma de economia de água potável. O trabalho possibilitou uma revisão bibliográfica abrangente e relevante no assunto, bem como o Brasil e o mundo percebem o aproveitamento de águas pluviais e suas posturas frente a esse aspecto.

Diversos autores (Murça *et al.*, 2014; Cardoso, 2009; Tomaz, 2010) consideram o reservatório uma das partes mais importantes do sistema de aproveitamento de água de chuva, por ser o componente mais oneroso e podendo inviabilizar a instalação do sistema. Nesse sentido, a NBR 15527/2007 da ABNT foi utilizada como guia no dimensionamento dos reservatórios. O objetivo do presente trabalho foi comparar os diversos métodos sugeridos pela norma, avaliar vantagens e limitações de cada método e analisar a viabilidade de implantação do sistema em um pequeno edifício de Belo Horizonte.

Foram utilizados os mesmos parâmetros de entrada para todos os métodos sugeridos pela NBR15527/2007. Os métodos são facilmente executados no REZZ ou na planilha eletrônica Excel e apresentaram resultados discrepantes entre si, devido à maneira que consideram os parâmetros. O método de Rippl, por exemplo, considera a distribuição mensal e a demanda de utilização de água pluvial, enquanto os métodos práticos, consideram apenas a área de captação e a média anual de precipitação.

Essa variação entre os volumes obtidos pode confundir o projetista sobre qual volume do reservatório adotar, podendo configurar um sistema ineficiente ou superdimensionado e até inviabilizando a instalação do sistema.

O método de otimização desenvolvido por Murça *et al.* (2014) resultou em um volume de reservatório atrativo e passível de ser instalado em um edifício residencial em Belo Horizonte. O volume do reservatório também se mostrou inferior aos volumes obtidos pela NBR 15527/2007, corroborando para a eficiência do método. No entanto, o índice de disponibilização total da demanda é inferior a 40%, sugere-se o desenvolvimento de um método que otimize o tamanho do reservatório e menor dependência do abastecimento de água pela concessionária, simultaneamente.

Todavia, o suprimento de água pelo sistema de aproveitamento de águas pluviais deveria ser adotado. A economia gerada ao edifício é real e o reservatório se paga em tempo inferior à sua vida útil. Além da economia financeira, há a poupança dos recursos naturais e a utilização do reservatório pode despertar a consciência ambiental dos usuários para os usos finais

A análise econômica representada pelo valor presente mostra que a instalação de um reservatório de água de chuva gera economias e poupa recursos ambientais, viabilizando sua instalação em um edifício residencial em Belo Horizonte.

É necessário que incentivos e estudos sejam realizados para o desenvolvimento de novos métodos que resultem em um volume ótimo para reservatórios de aproveitamento de água, a fim de obter volumes compatíveis com a demanda real, possibilitando uma análise econômica e técnica mais plausível, e, por fim acarretando na sua instalação. Diante de novas metodologias de dimensionamento, espera-se que haja uma atualização da NBR 15527, estabelecendo-se novos métodos para dimensionamento de volumes ótimos e descrevendo as situações compatíveis com a aplicação de cada método. De forma que, contextualize o projetista sobre qual método

mais adequado a se adotar para cada regime pluviométrico (chuvas bem distribuídas ou concentradas) em específico, resultando em um volume ótimo para aquela realidade analisada.

Além disso, em trabalhos futuros podem ser agregados indicadores de desempenho, como confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade do sistema de aproveitamento de água de chuva, buscando incrementar a análise de viabilidade técnica e econômica de sua implantação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento de reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, abr/jun 2008, p. 53-66.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15.527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BELO HORIZONTE. Projeto de Lei nº 1509 de 2015. Disponível em < <http://cmbhsilinternet.cmbh.mg.gov.br:8080/silinternet/consultaProposicoes/listagemProposicoes.do?idDocumentoVinculadoPrincipal=2c907f764bc6df06014c9a7075e36a78&metodo=downloadDocAnexado>. > Acesso em 03 jul. 2016.

BISCHOFF, L. Análise de Projetos de investimentos, Editora Ferreira, 1ª ed, 2013.

BRAGA, B. & HESPANHOL, I. **Introdução à Engenharia Ambiental: o Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2ª ed. Prentice Hall. 2005.

BRASIL. Lei Federal nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm > Acesso em: 17 mai. 2006.

CAMPINAS. Lei municipal nº 12474, 16 de janeiro de 2006 Disponível em: < <http://cm-campinas.jusbrasil.com.br/legislacao/318286/lei-12474-06> >. Acesso em: 17 mai. 2006.

CAMPOS, M. A. S., Aproveitamento De Água Pluvial Em Edifícios Residenciais Multifamiliares Na Cidade De São Carlos. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. São Carlos, 2004.

CARVALHO, G. S.; SAMUEL C. DE OLIVEIRA, S. C. E MORUZZI, R. B. Cálculo Do Volume Do Reservatório De Sistemas De Aproveitamento De Água De Chuva: Comparação Entre Métodos Para Aplicação Em Residência Unifamiliar; **X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais** **Sistemas Prediais: Desenvolvimento e inovação**, São Carlos, 30 e 31 de agosto de 2007.

COHIM E., GARCIA, A., KIPERSTOK, A.; Captação E Aproveitamento De Água De Chuva: Dimensionamento De Reservatórios, **IX Simpósio De Recursos Hídricos Do Nordeste**, 2008

CPRM. Atlas Pluviométrico do Brasil. Disponível em < <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e->

[Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html](#)> Acesso em 04 jul. 2016.

DORNELLES, F.; TASSI, R; GOLDEFUM, J. A. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva; **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n.2, abr/jun 2010, p 59 – 68.

GHISI E., Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater in the Residential Sector of Brazil, **Building and Environment**, vol 41, 2006, p.1544-1550.

GOMES, G. C; CARÍSIO, P. A.; SOUZA, V. O.; CARDOZO, L.; QUEIROZ, T. C.; OLIVEIRA, V. R.; MENDANHA, T. O. E DE PAULA, H. M.; Dimensionamento de Reservatório para Aproveitamento de Água de Chuva Para Cidades do Centro – Oeste e Nordeste; **X Simpósio De Recursos Hídricos Do Nordeste**;2010, Fortaleza – CE.

GOMES, U. A. F., DOMÈNECH, L., PENA, J. L., HELLER, L., PALMIER, L. R.; A Captação De Água De Chuva No Brasil: Novos Aportes A Partir De Um Olhar Internacional. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol 19 n.1, jan/mar 2014, p.7-16.

LAGE, E. S.; Aproveitamento de água pluvial em concessionárias de veículos na cidade de Belo Horizonte: Potencial de economia de água potável e estudo de viabilidade econômica. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. Florianópolis, 2010.

LOPES, A. P. G., JUNIOR, D. P. S., MIRANDA, D. A. 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). **Revista Petra**. V.1, nº 2, p. 219-238, ago/dez, 2015.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 19, n. 3, p. 485-494, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

MARINGÁ. Lei municipal nº 6345, 15 de outubro de 2003. Disponível em: < <https://leismunicipais.com.br/a/pr/m/maringa/lei-ordinaria/2003/635/6345/lei-ordinaria-n-6345-2003-institui-o-programa-de-reaproveitamento-de-aguas-de-maringa>>. Acesso em: 17 mai. 2006.

MARINOSKI, A. K.; Aproveitamento De Água Pluvial Para Fins Não Potáveis Em Instituição De Ensino: Estudo De Caso Em Florianópolis – SC. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO. Florianópolis, Santa Catarina, 2007.

MATTOS, A. S.; EING, C.; DA SILVA, D. L.; FRASSON, K. C.; DUARTE, G. W., ECKERT, C.L; Aproveitamento De Água Pluvial Para Fins Não Potáveis: Estudo De Caso Na Jardinagem. **Revista Ciência e Cidadania**, v.1, n.1, 2015.

MAY, S. Estudo Da Viabilidade Do Aproveitamento De Água Da Chuva Para Consumo Não Potável Em Edificações, DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, São Paulo, 2004.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I.; DA SILVA, M. C. C.; RODRIGUES, L. D. B.; Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado; **REGA – vol.4**, no 1, 2007, p.29-37.

MORUZZI, R. B. & OLIVEIRA. Aplicação de Programa Computacional no Dimensionamento de Volume de Reservatório Para Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial da Cidade de Ponta Grossa, PR. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. V.2, n. 1, abril de 2010.

MURÇA M. C. R., DE JULIO M., MORUZZI, R. B.; Metodologia De Otimização Para O Dimensionamento De Reservatórios De Águas Pluviais, **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol 19 n.2, abr/jun 2014, p.29-40.

NASCIMENTO, P. H. R. & MORUZZI, R. B.; Programa Computacional De Suporte À Decisão Para Cálculo De Reservatório De Armazenamento De Água Pluvial Em Áreas Urbanas. 25º Congresso De Engenharia Sanitária E Ambiental – ABES, 2009.

PATO BRANCO. Lei Municipal nº 2349, de 18 de junho de 2004. PR. Disponível em: <<http://cm.jusbrasil.com.br/legislacao/379422/lei-2349-04>>. Acesso em: 17 mai. 2006.

POWELL, L. M.; ROHR, E. S.; CANES, M. E.; CORNET, J. L., DZURAY, E. J., MCDUGLE, L. M.; Low Impact Development Strategies And Tools For Local Governments, Report LID50T1, Setembro, 2005.

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Manejo de Águas Pluviais Urbanas, **ABES**, Rio de Janeiro, 2009.

Relatório de Sustentabilidade Coca-cola 2010/2011 Disponível em: <<https://www.cocacolabrasil.com.br/wp-content/uploads/sites/6/2013/03/relatorio2011.pdf>> Acesso em: 17 mai. 2016.

RIO DE JANEIRO. Lei estadual nº 4393, 16 de setembro de 2004. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/contlei.nsf/f25edae7e64db53b032564fe005262ef/019d11e38526336083256f120063f8af?OpenDocument>>. Acesso em: 17 mai. 2006.

SÃO PAULO. Lei estadual nº 12.526, de 02 de janeiro de 2007. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2007/lei-12526-02.01.2007.html>> Acesso em: 17 mai. 2016.

SÃO PAULO. Lei Municipal nº 13.276, 04 de janeiro de 2002. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em: 17 mai. 2016.

SERPA L., SILVA F.F, LIMA J. N. A., SCHILICKMANN H. & SCHWEITZER N. M; Reúso De Água Com Enfoque Na Agricultura Familiar, **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia**, Camboriú – SC, 2012.

TOMAZ, P., Aproveitamento De Água De Chuva Para Fins Não Potáveis, 2010

TOMAZ, P., **Economia De Água**, editora navegar, 2001.

UNEP – United Nations Environment Programme. Rainwater harvesting: a lifetime for human well-being. 2009

UNITED NATIONS, ONU, **The Right To Water**, Human Rights, Fact Sheet No 35, 2010

World Health Organization, OMS, **The Right To Water**, 2003