



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



André Augusto Oliveira Pinto

Aproveitamento de Água pluvial para fins não potáveis em residência:

Estudo de caso em Ouro Preto- MG

Ouro Preto
2016

André Augusto Oliveira Pinto

Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em residência:

Estudo de caso em Ouro Preto- MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves

Ouro Preto
2016

P659a Pinto, André Augusto Oliveira.
Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em residência.
[manuscrito] : estudo de caso em Ouro Preto- MG / André Augusto
Oliveira Pinto. – 2016.
61f.: il., color., graf., tab.

Orientadores: Prof. Dr. Luiz Fernando Ríspoli Alves.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro
Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.
Área de concentração: Engenharia Civil.

1. Engenharia civil. 2. Reservatórios. 3. Sustentabilidade.
4. Águas pluviais. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 624

André Augusto Oliveira Pinto

Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em residência:

Estudo de caso em Ouro Preto- MG

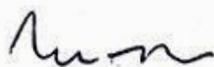
Monografia de conclusão de curso para obtenção do Grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto, defendida e aprovada em 15 de março de 2016, pela banca examinadora constituída pelos professores:



Prof. Luiz Fernando Rispoli Alves (D.Sc.) – Orientador – UFOP



Prof. Geraldo Donizetti de Paula (D.Sc.) – UFOP



Prof. Paulo Marcos de Barros Monteiro (D.Sc.) – UFMG

RESUMO

Devido a razões como o aumento da população mundial, o consumo excessivo de recursos, a poluição e desperdício de água, necessitamos urgentemente de novas alternativas para suprir a necessidade de abastecimento de recursos hídricos. Por muito tempo acreditava-se que a água era um recurso ilimitado, porém hoje já se sabe que a água de qualidade está escassa. O aproveitamento de água pluvial se mostra como uma solução sustentável que permite o uso racional desse recurso, proporcionando sua conservação para futuras gerações. Nessa ótica, o presente trabalho tem como objetivo demonstrar o potencial de aproveitamento pluvial em uma residência na região urbana de Ouro Preto-MG. O trabalho visa analisar a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento de água de chuva. Através de uma revisão bibliográfica e o estudo de caso de uma residência, tem-se como objetivo avaliar todo o processo de captação e armazenamento, assim como o processo de limpeza e manutenção para que se chegue a uma conclusão do custo benefício da implantação do sistema. Para efeitos de comparação foram utilizados dois padrões de cobrança de tarifas aplicadas por concessionárias da região de Ouro Preto.

Palavras Chaves: Águas de chuva, sustentabilidade, viabilidade, aproveitamento, reservatório.

ABSTRACT

Due to reasons such as the increasing world population, excessive consumption of resources, pollution and waste of water, we urgently need new alternatives to meet the need of supply of water resources. For a long time it was believed that, the water was an unlimited resource, but today it is known that the water of quality is scarce. The rainwater utilization is shown as a sustainable solution, which enables the rational use of this resource, providing its preservation for future generations. From this perspective, this study aims to demonstrate the potential of rainwater utilization in a residence in the urban area of Ouro Preto. The work aims to analyze the technical and economic viability of rainwater use. Through a literature review and the case study of a residence, you have to evaluate the whole process of capture and storage, as well as the process of cleaning and maintenance in order to reach a conclusion of the benefit cost of system deployment. For comparison, we used two patterns of charging fees applied by dealers of the Ouro Preto region.

Key words: Rainwater, sustainability, viability, utilization, reservoir.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	11
Figura 2 - Distribuição relativa dos recursos hídricos no planeta	12
Figura 3 - Pedra Moabita, 830 a.C.	14
Figura 4 - Esquema representativo do sistema de aproveitamento de água de chuva	23
Figura 5 - Representação das dimensões do telhado	24
Figura 6 - Representação de calhas e condutores.....	25
Figura 7 - Ábacos para a determinação de diâmetros de condutores verticais.....	28
Figura 8 - Filtro horizontal.....	30
Figura 9 - Exemplo de reservatório para descarte inicial	31
Figura 10 - Cisterna de polietileno.....	33
Figura 11 - Reservatório de água com equipamentos de captação de águas pluviais.....	33
Figura 12 – Bomba centrífuga.....	34
Figura 13 - Mini cisterna econômica.....	59
Figura 14 – Filtro econômico.....	59

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 - Comparativo entre regiões brasileiras.....	13
Tabela 2 - Distribuição do uso de água em uma residência nos EUA.....	17
Tabela 3 - Distribuição do uso de água em uma residência no Reino Unido.	17
Tabela 4 - Distribuição do uso de água em uma residência no Colômbia.....	18
Tabela 5 - Distribuição do uso de água em uma residência na Dinamarca... ..	18
Tabela 6 - Distribuição do uso de água em um apartamento da USP.....	19
Tabela 7 - Uso final de água tratada para consumo doméstico em uma habitação da Companhia de Desenvolvimento Habitacional Urbano... ..	19
Tabela 8 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.....	22
Tabela 9 - Frequência de manutenção.....	22
Tabela 10 - Coeficientes <i>Runoff</i> para cada tipo de telhado.....	24
Tabela 11 – Coeficientes de rugosidade.....	27
Tabela 12 – Método de Rippl.....	36
Tabela 13 - Método da simulação.....	38
Tabela 14 - Precipitação mensal em Ouro Preto-MG.....	45
Gráfico 14.1 - Precipitação mensal em Ouro Preto-MG.....	46
Tabela 15 - Potencial de captação.....	47
Tabela 16 - Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl.....	50
Tabela 17 - Dimensionamento do reservatório pelo método da simulação.....	51
Tabela 18 - Exemplos de valores cobrados para cada consumo.....	53
Tabela 19 - Tarifas cobradas pela COPASA.....	54
Tabela 20 - Custo Estimado do sistema.....	56

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	09
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2-1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	11
2-1-1 NO MUNDO.....	12
2-1-2 NO BRASIL.....	13
2-2 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: CONCEITOS... ..	13
2-2-1 HISTÓRICO.....	13
2-2-2 CONSUMO DE ÁGUA.....	15
2-2-3 USO FINAL DA ÁGUA.....	16
2-2-4 QUALIDADE DA ÁGUA.....	20
2-3 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: COMPONENTES E PROCESSO CONSTRUTIVO.....	22
2-3-1 ÁREA DE CAPTAÇÃO.....	23
2-3-2 CALHAS E CONDUTORES.....	25
2-3-3 LIMPEZA E FILTRAGEM.....	29
2-3-4 ARMAZENAMENTO (RESERVATÓRIO).....	31
2-3-5 BOMBEAMENTO.....	34
3 - MÉTODOS DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIO	35
3-1 MÉTODO DE RIPPL.....	35
3-2 MÉTODO DA SIMULAÇÃO.....	37
3-3 MÉTODO DE AZEVEDO NETO.....	39
3-4 MÉTODO PRÁTICO ALEMÃO.....	40
3-5 MÉTODO PRÁTICO INGLÊS.....	40
3-6 MÉTODO PRÁTICO AUSTRALIANO.....	41
4 ESTUDO DE CASO	42
4-1 LOCAL DE ESTUDO.....	43
4-2 CARACTERÍSTICAS DA RESIDÊNCIA.....	43

4-3	DEMANDA DE ÁGUA PLUVIAL.....	44
4-4	DETERMINAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO LOCAL.....	45
4-5	POTENCIAL DE CAPTAÇÃO.....	46
4-6	DIMENSIONAMENTO DE CALHAS E CONDUTORES.....	47
4-7	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	49
4-8	CÁLCULO DA TARIFA DE ÁGUA.....	52
5-	ANÁLISE E RESULTADOS.....	54
5-1	ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO.....	55
5-2	ANÁLISE ECONÔMICA.....	55
6-	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
7-1	CONCLUSÃO	60
7-2	RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
8-	REFERÊNCIAS.....	62

1- INTRODUÇÃO

Atualmente, estamos enfrentando uma grande crise hídrica que vem se agravando nos últimos anos não só no Brasil como no restante do mundo. Isso não se deve somente ao regime inconstante de chuvas, mas também à má gestão dos recursos naturais implantados no nosso modelo de consumo. A sociedade está cada vez mais preocupada em relação a conservação dos recursos da natureza, e a preservação da água se tornou um dos principais desafios da humanidade, com isso a busca por alternativas sustentáveis passou a ser de suma importância para o desenvolvimento sustentável do planeta.

No mundo, cerca de 2/3 da superfície do planeta Terra são dominados pelos oceanos. O volume total de água na Terra é estimado em torno de 1,35 milhões de quilômetros cúbicos, sendo que 97,5% deste volume são de água salgada, encontrada em mares e oceanos. Já 2,5% são de água doce, porém localizada em regiões de difícil acesso, como aquíferos (águas subterrâneas) e geleiras. Apenas 0,007% da água doce encontra-se em locais de fácil acesso para o consumo humano, como lagos, rios e na atmosfera (UNIÁGUA, 2010).

Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) mostra que há no mundo água suficiente para suprir as necessidades de crescimento do consumo, mas não sem uma mudança dramática no uso, gerenciamento e compartilhamento. Segundo o documento, a crise global de água é de governança, muito mais do que de disponibilidade do recurso, e um padrão de consumo mundial sustentável ainda está distante. De acordo com a organização, nas últimas décadas o consumo de água cresceu duas vezes mais do que a população e a estimativa é que a demanda cresça ainda 55% até 2050. Mantendo os atuais padrões de consumo, em 2030 o mundo enfrentará um déficit no abastecimento de água de 40%. Os dados estão no *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos 2015 – Água para um Mundo Sustentável*. (ADJUNTO, 2015).

Diante dessa situação preocupante deve-se procurar novas alternativas de reciclagem e aproveitamento de água a fim de diminuir a demanda de mananciais e rios caminhando no sentido da prática de políticas e ações sustentáveis para garantir a sobrevivência dos ecossistemas e a boa convivência com o meio ambiente.

Uma das soluções mais interessantes para minimizar o impacto causado pelo homem nos recursos hídricos é o aproveitamento das águas pluviais através de soluções baratas e práticas. Além disso pode gerar uma economia em termos financeiros para a edificação.

A água da chuva coletada pode substituir o uso da água potável para fins menos nobres como rega de jardins, lavagem de calçada e automóveis, descarga sanitária, entre outros. Para implantação desse sistema é necessário um estudo de viabilidade técnica e financeira a fim de analisar o custo benefício gerado pelo processo.

O presente trabalho tem por objetivo demonstrar o potencial de aproveitamento de água de chuva na região de ouro preto, assim como apresentar técnicas e processos utilizados para implantação do sistema. Serão analisadas as precipitações da região para possível potencial de captação, parâmetros físicos necessários na edificação como área captada, materiais necessários, sistemas de bombeamento, limpeza e armazenamento, e por fim será realizada uma análise técnico-financeira sobre a viabilidade do sistema que nortearão possíveis adaptações e melhorias ao que foi apresentado.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão abordados os conceitos fundamentais utilizados para elaboração desta pesquisa.

2-1 DISPONIBILIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS

Desde o surgimento da vida na terra, a água é de extrema importância para o seu desenvolvimento, e por muitos anos se acreditou que esse recurso era inesgotável e que não haveria necessidade de seu uso racional. A essa perspectiva adivinha de uma ideia que se origina que a água não tem fim, a partir do princípio do ciclo hidrológico, esta sequência fechada de fenômenos pelos quais a água passa do globo terrestre para a atmosfera, no qual a água coexiste em seus três estados físicos.

A figura 1 demonstra o ciclo hidrológico e como ocorre:

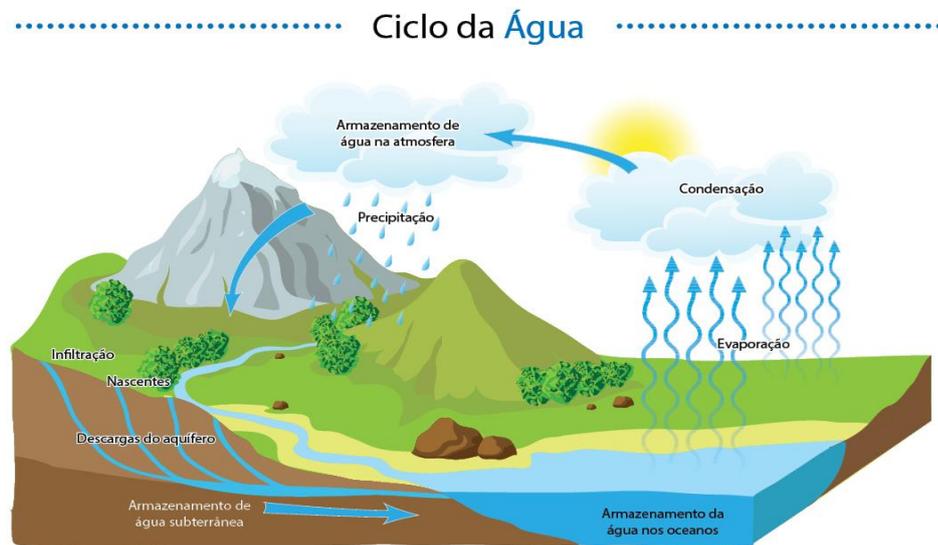


Figura 1: Ciclo Hidrológico
Fonte: revista ecológico (2015)

A preocupação com a conservação e gerenciamento da água ganhou maior importância no cenário mundial nos últimos anos devido à escassez enfrentada por alguns países, inclusive o Brasil, considerado até então um país privilegiado em relação a disponibilidade de recursos hídricos. Esse cenário se deve a vários

fatores, sendo os principais: o aumento da população mundial, a má distribuição populacional, a poluição exagerada e a ineficiente gestão dos recursos.

2-1-1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO MUNDO

Estima-se que exista um volume de 1386 milhões de quilômetros cúbicos de água no planeta, sendo que aproximadamente 97% são de águas salgadas, correspondendo aos mares, oceanos e lagos, os 3% restantes de água doce (Von Sperling, 2006). Da parcela de água doce, 68,9% estão congelados nas calotas polares e em regiões montanhosas, 29,9% correspondem as águas subterrâneas e somente 0,266% se encontra em lagos, rios e reservatórios isso significa que 0,007% do total de água doce e salgada do planeta está em locais de simples acesso ao ser humano. (TOMAZ, 2005)

As maiores concentrações de recursos hídricos do mundo estão na América do Sul e na Ásia, com 12,379 e 11,727 km³ por ano, respectivamente, em seguida vem a América do Norte com 7.480 k m³ ao ano e Europa com 6631 km³. Os continentes menos favorecidos com a água doce disponível ao consumo são: a América Central, a África e a Oceania, como mostra a figura 2:

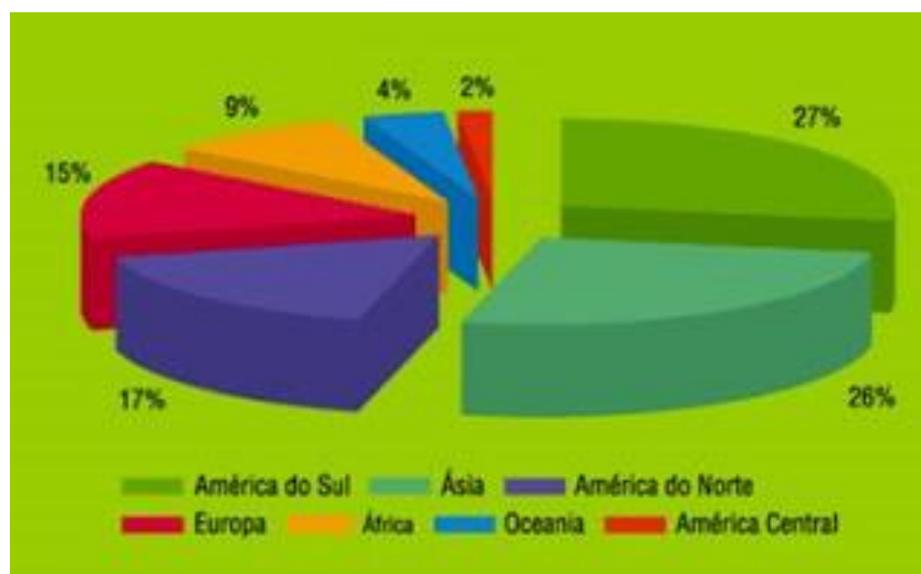


Figura 2: Distribuição relativa dos recursos hídricos no planeta (Extraído de BORGHETTI et al., 2004).

2-1-2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL

Segundo dados apresentados pela ANA (Agencia Nacional de Águas), o Brasil possui disponibilidade hídrica em torno de 5.759,5 km³/ano, tendo uma população estimada em 200,4 milhões de pessoas (IBGE, 2013), nos leva a disponibilidade hídrica média por habitante de 28740 m³/ano, número que leva a crer grande abundancia de água no país.

O Brasil é considerado um país rico em água, com cerca de 12% da disponibilidade mundial, porém mesmo dotando de significativa disponibilidade hídrica comparada à maioria dos países, o país apresenta expressiva desuniformidade na distribuição no que tange as regiões mais populosas. A quase totalidade da população brasileira (95 %) habita as quatro regiões que respondem por aproximadamente 27 % da disponibilidade hídrica do País (LIBÂNIO, 2010). A tabela 1 mostra um comparativo entre as regiões:

Região do Brasil	Área territorial (%)	Disponibilidade de Água (%)	População (%)
Norte	45	69	8
Nordeste	18	3	28
Sudeste	11	6	43
Sul	7	6	15
Centro Oeste	19	15	7

Tabela 1: Comparativo entre regiões brasileiras

Fonte: Ghizi,2006

2-2 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: CONCEITOS

2-2-1 HISTÓRICO

A coleta de água de chuva está presente em nossa sociedade há milhares de anos, sabe-se que ela surgiu independentemente e em épocas diferentes nas diversas partes do mundo, por motivos diversos como escassez de água, relevos e

climas adversos. Segundo TOMAZ (2006), a pedra moabita (figura 3) encontrada no oriente médio de 850 a.C, é uma das provas mais antigas do mundo que relata a coleta e uso da água de chuva.

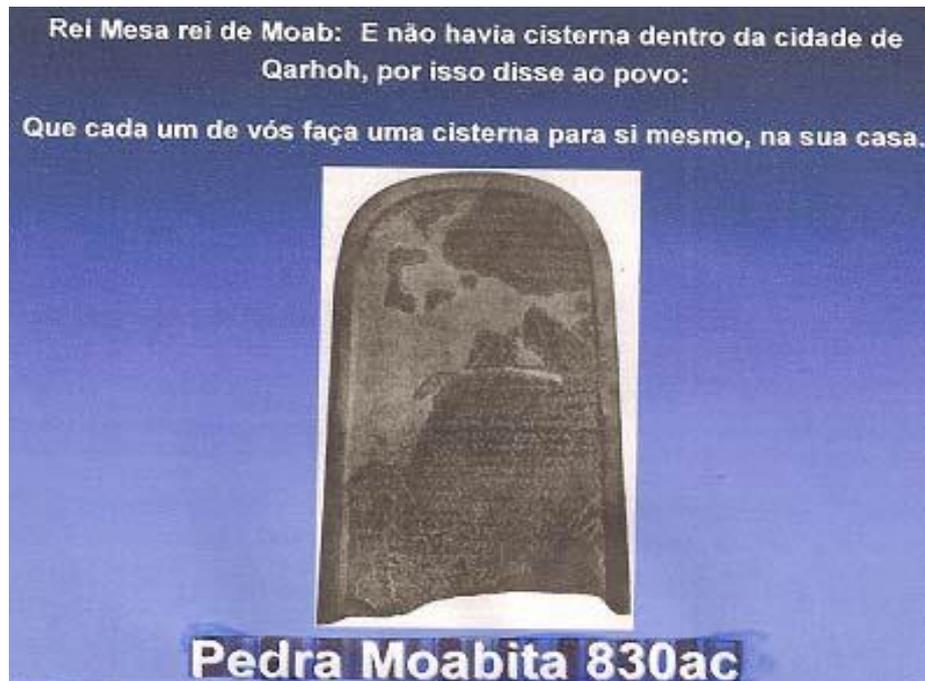


Figura 3: Pedra Moabita, 830 a.C.

Fonte:(Tomaz, 2007)

Existem vários outros exemplos do uso da água de chuva que se perpetua e se desenvolve ao longo dos anos, um deles é no palácio de Knossos, na ilha de Creta, por volta de 2000 a.C, onde a água pluvial era utilizada em bacias sanitárias.

Outro exemplo, já no oriente médio situa-se em Israel, a fortaleza de Massada (Figura), tem dez reservatórios com capacidade total de 40 milhões de litros cavados nas rochas (GNADLINGER, 2000).

Nas civilizações pré-colombianas também são encontrados sistemas parecidos. Onde hoje é o México, a civilização Maia armazenava água de chuva para utilizar na agricultura.

Hoje em dia a prática do aproveitamento de água de chuva está mais presente em países desenvolvidos como EUA, Japão e Alemanha. Nesses países existem incentivos fiscais e financeiros para quem utilizar essa prática, a fim de diminuir o custo para o estado de captação de água e também de prevenção de enchentes.

Segundo Tomaz (2005), em Hamburgo na Alemanha, o governo fornece entre US\$ 1500,00 e US\$ 2000,00 para quem adotar o aproveitamento pluvial. Entre 1988 e 2000, já existiam cerca de 1500 unidades de coleta.

No Brasil esta prática ainda é pouco usual, e não existe quase nenhum incentivo para seu uso. Encontramos poucos exemplos, em sua maioria concentram-se em empresas que buscaram redução de custos ou edifícios públicos, como estádios, arenas e universidades.

2-2-2 CONSUMO DE ÁGUA

Segundo o relatório do governo federal do Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico do Ministério das Cidades referente a 2014, o Brasil desperdiça cerca de 37% da água tratada para consumo, essa perda é referente principalmente as falhas nas tubulações, fraudes e ligações clandestinas no caminho.

Apesar do desperdício no país esteja caindo, ainda segundo a ONU esse é um valor inaceitável para os padrões de hoje, devendo ser no máximo de 15%. Países que não possuem recursos naturais como o Japão trabalha na ordem de 3%.

No Brasil, a demanda consultiva total estimada em 2010 foi de 2373 m³/s, sendo o setor de irrigação o responsável pela maior parte (54%), seguido por uso urbano (22%), industrial (17%), animal (6%) e rural (1%), segundo a Agência Nacional de Águas (ANA).

O consumo de água aumentou de forma considerável em todo o planeta, chegando a dobrar nas últimas 4 décadas, além disso aumentou o número de pessoas sem acesso a água de boa qualidade, cerca de 1,1 bilhão de habitantes, principalmente nos países subdesenvolvidos. Não por acaso a maior parte do consumo mundial concentra-se nos países ricos. Segundo a ONU, um valor considerado ideal de consumo é de 110 litros por pessoa/dia, valor muito superado por exemplo pelos EUA que é de 575 litros por pessoa. No Brasil, apesar de grande diferença regional, esse valor gira em torno de 180 litros por pessoa/dia.

Na cidade de Ouro Preto o consumo de água é considerado muito elevado, está entre as cidades com maior taxa de consumo do Brasil, girando em torno de 450 litros/habitante/dia. Esse consumo elevado se deve a fatores como a falta de hidrômetros de cobrança individual (no caso de Ouro Preto é cobrado uma taxa por residência), a cultura de desperdício e falta de consciência dos moradores, ao sistema precário de abastecimento que gera muitas perdas pela tubulação, dentre outros motivos.

Para a previsão de consumo doméstico, há uma maneira de estimar o consumo de água potável usando parâmetros de engenharia, porém para o Brasil existem poucas pesquisas referentes ao consumo de água residencial, por isso muitas vezes os dados devem ser estimados (TOMAZ, 2005).

2-2-3 USO FINAL DA ÁGUA

A utilização de água potável em uma residência pode se dar de várias maneiras, tais como: lavagem de roupas, preparação de alimentos, uso em descargas sanitárias, limpeza pessoal, lavagem de chão, banheiros, entre outros. Dentre os diversos usos da água em uma residência, uma parcela significativa está destinada ao uso não potável como descargas sanitárias, regas de jardins, lavagens de carros e áreas molhadas, locais onde pode ser utilizada a água de chuva.

Muitos países vêm desenvolvendo estudos a fim de identificar os usos finais de água, principalmente na área doméstica e industrial. As tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentam resultados de estudos sobre o consumo de água residencial de alguns países:

TIPOS DE USO DA ÁGUA	PORCENTAGEM (%)
Descargas na bacia sanitária*	27
Chuveiro	17
Lavagem de roupa*	22
Vazamentos em geral	14
Lavagem de pratos	2
Torneiras	16
Outros	2
Total	100
Total não potável	49

Tabela 2: Distribuição do uso de água em uma residência nos EUA
Fonte: VICKERS, 2003 apud TOMAZ, 2005

TIPOS DE USO DA ÁGUA	PORCENTAGEM (%)
Descargas na bacia sanitária*	37
Banhos e lavatório	37
Lavagem de roupa*	11
Lavagem de louças	11
Preparação de alimentos	4
Total	100
Total não potável*	48

Tabela 3: Distribuição do uso de água em uma residência no Reino Unido
Fonte: SABESP, 2007

TIPOS DE USO DA ÁGUA	PORCENTAGEM (%)
Descargas na bacia sanitária*	40
Ducha	30
Limpeza*	15
Cozinha	5
Lavagem de louças/mãos	10
Total	100
Total não potável*	55

Tabela 4: Distribuição do uso de água em uma residência no Colômbia
Fonte: SABESP, 2007

TIPOS DE USO DA ÁGUA	PORCENTAGEM (%)
Alimentação	5
Banhos	20
Higiene pessoal	10
Vazo sanitário*	20
Lavagem de pratos	15
Lavagem de roupa*	20
Lavagem de carros e jardins*	10
Total	100
Total não potável*	45

Tabela 5: Distribuição do uso de água em uma residência na Dinamarca
Fonte: TOMAZ, 2005

Constata-se que há uma variação de percentuais para os mesmos países para um mesmo aparelho sanitário, isso se deve a condições climáticas, diversidades culturais, econômicas e sociais. Pode-se ver que a não há grande variação para o consumo total de água não potável, variando entre 45% e 55%.

Para uma verificação completa do consumo de água menos nobres em uma residência deve se levar em consideração vários fatores como condição econômica, frequência de uso no aparelho, estrutura familiar e pressão dos aparelhos.

No Brasil foram realizados estudos pela Universidade de São Paulo e Instituto de Pesquisas Tecnológicas, onde mostram o consumo de duas residências apresentando resultados bastante diferentes entre si. A primeira situação é um apartamento, apresentado na tabela 6, e a segunda uma habitação da Companhia de Desenvolvimento Habitacional Urbano, apresentada na tabela 7.

TIPOS DE USO DA ÁGUA	PORCENTAGEM (%)
Vaso sanitário	29
Chuveiro	28
Pia da cozinha	17
Máquina de lavar roupa	9
Lavatório	6
Tanque	6
Máquina de lavar louça	9
Total	100
Total não potável*	44

Tabela 6: Distribuição do uso de água em um apartamento da USP
Fonte: DECA (2007)

TIPOS DE USO DA ÁGUA	PORCENTAGEM (%)
Vaso sanitário	5
Chuveiro	54
Pia da cozinha	17
Máquina de lavar roupa	4
Lavatório	7
Tanque	10
Máquina de lavar louça	3
Total	100
Total não potável*	19

Tabela 7: Uso final de água tratada para consumo doméstico em uma habitação da Companhia de Desenvolvimento Habitacional Urbano
Fonte: DECA (2007)

Diante de todas essas análises conclui-se que a água de chuva pode substituir grande parte do consumo de água total, gerando assim uma grande economia na maioria dos casos. Como na maioria dos casos a porcentagem variou entre 40% e 55% usaremos o valor de 40% para cálculos onde não se conhece o valor real da residência.

2-2-4 QUALIDADE DA ÁGUA

De uma maneira geral a água oriunda da chuva até atingir a área de captação é de boa qualidade, sendo próxima de uma água destilada, porém existem vários fatores que influenciam essa condição como ar poluído de regiões industriais, salinidade do mar, entre outros. Contudo sua maior fonte de poluição acontece depois de atingir a superfície, podendo se contaminar com o próprio material da superfície, poeira, folhagens e o mais preocupante que são as fezes de animais, podendo ocasionar doenças aos usuários.

A qualidade da água da chuva pode ser dividida em quatro etapas: a primeira etapa é a qualidade da chuva antes de atingir o solo; a segunda etapa é a qualidade da chuva depois de se precipitar sobre o telhado ou área impermeabilizada e correr pelo telhado; a terceira etapa é quando a água de chuva fica armazenada em um reservatório e tem a sua qualidade alterada e depositam-se elementos sólidos no fundo do mesmo e a água está pronta para utilização; na quarta etapa a água chega ao ponto de consumo, como por exemplo, a descarga na bacia sanitária (TOMAZ, 2005).

Gould, Nissen-Petersen (1999) sintetizam os fatores importantes para a água pluvial em:

- Área de captação deve ser limpa, impermeabilizada, feita com material não tóxico e livre de fissuras e vegetações;
- Torneiras e dispositivos para limpeza do tanque para lavagem deverão estar a pelo menos 0,05m do piso da cisterna;

- Deverá ser colocado um sistema de filtragem antes da água entrar na cisterna;
- Deverão ser colocadas proteções em todas as entradas do tanque a fim de evitar a entrada de animais na cisterna;
- O tanque deverá ser todo fechado a fim de impedir a entrada de qualquer iluminação para evitar o crescimento e a proliferação de algas e microrganismos;
- A limpeza do tanque, calhas, telas e outros componentes do sistema de captação deverá ser feita periodicamente;
- Deve-se evitar o consumo da água pluvial diretamente do tanque, sem algum tipo de tratamento, logo após a primeira precipitação efetiva;
- Água de outras fontes não deverá ser misturada com a água pluvial contida no tanque

Uma das principais ações que devem ser realizadas é o descarte da primeira água de chuva, também chamado de First Flush. A água que cai inicialmente no telhado deve lavar e carregar as folhas, fezes e sujeiras e deve prover de dispositivo para que ocorra seu descarte, garantindo assim uma melhor qualidade da água a ser armazenada. O volume de água a ser rejeitado depende do material da superfície de recolha e do grau de contaminação, a NBR 15527 recomenda que se descarte os 2mm iniciais da precipitação.

De acordo com a NBR 15527, que trata sobre o aproveitamento de água de chuvas, os padrões de qualidade devem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista para os fins a que se destina, para desinfecção ela pode-se utilizar derivado clorado, raios ultravioleta, ozônio e outros. Para fins mais restritivos deve ser utilizada a tabela 8 a seguir:

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre	mensal	0,5 a 3,0mg/L
Turbidez	mensal	< 2,0 uT. Para usos menos restritivos < 5,0 uT.
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corantes, ou antes, da sua utilização);	mensal	< 15 uH
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário.	mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulçõ de aço carbono ou galvanizado.
NOTAS uT é a unidade de turbidez. uH é a unidade de Hazen.		

Tabela 8: Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Fonte: NBR 15527

Para que se obtenha padrões mínimos de qualidade a norma ainda estabelece uma correta manutenção periódica do sistema, conforme tabela 9:

Componente	Frequência de manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal e limpeza bimestral
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	2 vezes por ano
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Tabela 9: Frequência de manutenção

Fonte: NBR 15527/07

2-3 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: COMPONENTES E PROCESSO CONSTRUTIVO

O sistema de aproveitamento de água de chuva compreende várias em etapas e deve ser dimensionado corretamente de acordo com o tamanho da edificação e com a finalidade a que se propõe garantindo maior eficácia e economia. Os sistemas tradicionais são compostos basicamente por captação, filtragem, armazenagem e distribuição. Na maioria dos casos a água é captada pelo telhado e

conduzida pelas calhas e condutores até o reservatório onde é armazenada ficando disponível para uso, processos que serão detalhados nos próximos itens. É recomendado que a primeira água da chuva seja descartada a fim de evitar possíveis contaminações. A figura 4 seguir representa uma simplificação do sistema

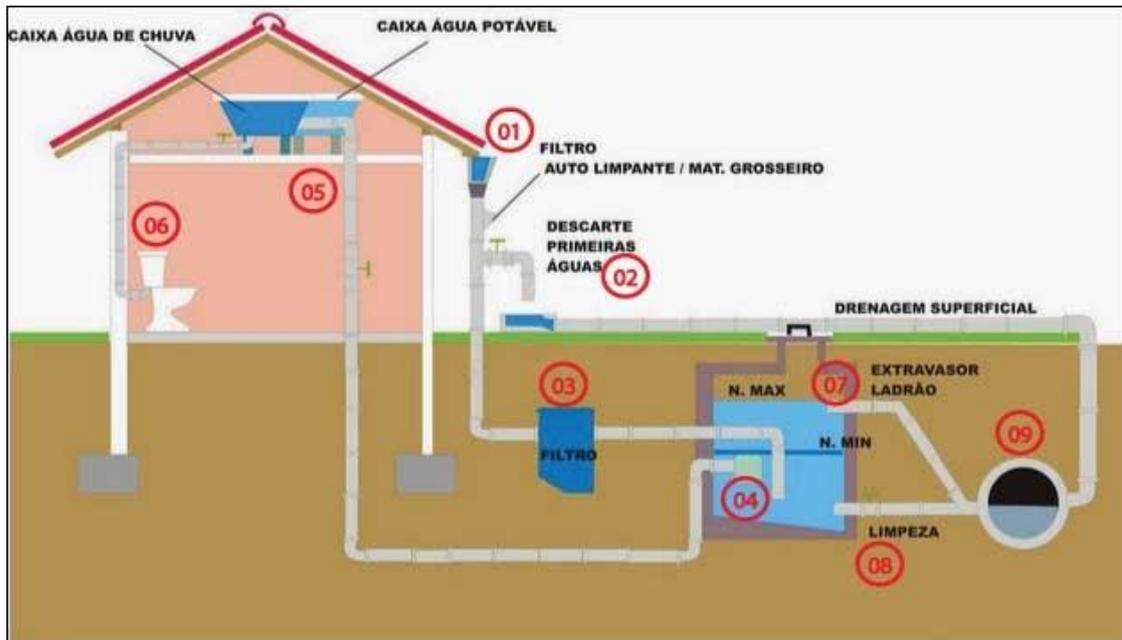


Figura 4: Esquema representativo do sistema de aproveitamento de água de chuva

Fonte: www.engefest.com.br

2-3-1 ÁREA DE CAPTAÇÃO

A forma mais usual de captação da água da chuva é feita através dos telhados das edificações, por estar em local estratégico e possuir grande área, porem existem outras formas de captação como pisos de estacionamentos.

O trabalho dará uma ênfase maior às coberturas residenciais que podem ser feitas de diversos materiais, fato que influencia na quantidade de água capitada, no processo de limpeza da mesma e no coeficiente *runoff* (Entende-se como coeficiente de *runoff* o quociente entre a água que escoa superficialmente e o total de água precipitada). Podem ser telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento, telhas de zinco, galvanizadas, telhas de concreto armado, telhas de plástico, telhado plano revestido com asfalto etc.

Segundo a NBR 10844, o cálculo da área de superfícies tradicionais como apresentado na figura 5, é dado pela equação 1:

$$A = (a + h/2) \times b \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

A = Área de captação

a = Largura da água de cobertura;

b = comprimento da cobertura;

h = altura da cobertura.

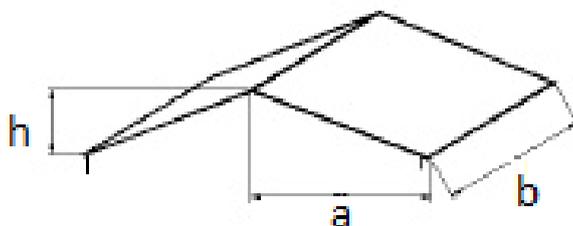


Figura 5: Representação das dimensões do telhado

Fonte: NBR 10844

O Domestic Roofwater Harvesting Programme da Universidade de Warwick (www.eng.warwick.ac.uk/dtu/rwh) apresenta uma comparação entre diversos tipos de materiais constituintes das telhas da cobertura com suas vantagens e desvantagens, que se encontra reproduzida na Tabela 10:

Tabela Coeficientes e características dos tipos de telhado

Tipos	Coefficiente de <i>Runoff</i>	Notas
Folhas de ferro galvanizado	Maior que 0,90	Qualidade excelente da água. A superfície é excelente e, nos dias quentes, a alta temperatura ajuda a esterilizar a água.
Telha cerâmica	0,60 a 0,90	Se vitrificada apresenta melhor qualidade. Caso contrário, pode apresentar mofo. Pode existir contaminação nas junções das telhas.

Telhas de cimento amianto	0,80 a 0,90	Folhas novas podem dar boa qualidade a água. Não existe nenhuma evidências, que causa efeito cancerígeno pela ingestão da água que passa por elas. Levemente porosas, o que diminui o coeficiente de <i>runoff</i> . Quando velhas, podem apresentar lodo e rachaduras.
Orgânicos (Sapê)	0,20	Qualidade fraca (> 200 CF/100 ml). Pouca eficiência da primeira chuva. Alta turbidez devido a matérias orgânicas dissolvidas que não decantam

Tabela 10: Coeficientes *Runoff* para cada tipo de telhadoFonte: www.eng.warwick.ac.uk/dtu/rwh

2-3-2 CALHAS E CONDUTORES

Para o transporte da água da chuva entre a área de captação e o reservatório são necessários dispositivos de condução que são as calhas coletoras e os condutores verticais, normalmente fabricados em PVC ou metálicos. Seu dimensionamento correto assim como sua instalação é crucial para todo o desenvolvimento eficaz do sistema. Deve-se utilizar como referência de dimensionamento as normas brasileiras de instalações de esgoto pluvial (NBR 10844). A seguir um esquema de calhas e condutores, representada pela figura 6:

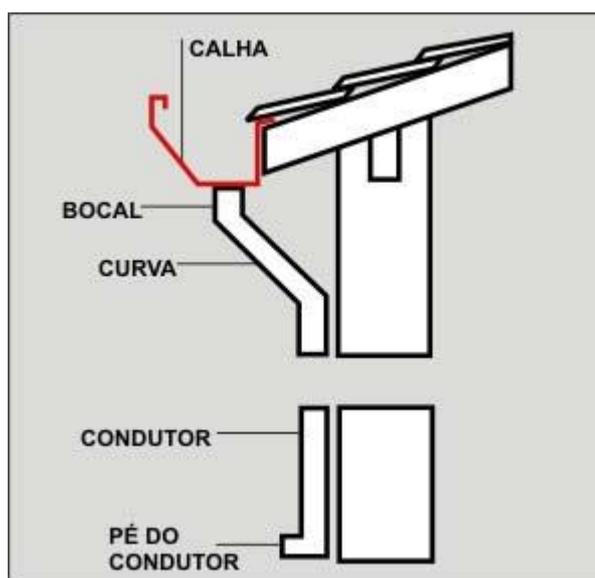


Figura 6: Representação de calhas e condutores

Fonte: www.metalcalhas.com.br

De acordo com TOMAZ (2005), para áreas de cobertura até 100 m² de projeção horizontal, pode-se adotar intensidade de chuva de 150mm/hora quando não se sabe os dados da região. Os períodos de retorno devem ser T=1 ano para áreas pavimentadas onde o empoçamento possa ser tolerado; T= 5 anos para coberturas e ou terraços e T= 25 anos para coberturas e áreas onde o empoçamento não possa ser tolerado.

A NBR 10844/89 determina em seu anexo tabela 5 que para a cidade de Ouro Preto-MG as intensidades pluviométricas com duração de 5 minutos para cada tempo de retorno são:

TR = 1 ano i = 120 mm

TR = 5 anos i = 211 mm

TR = 25 anos i = não informado

Onde:

TR = tempo de retorno

I = intensidade

Ainda segundo TOMAZ (2005), a vazão na calha é calculada pela equação 2:

$$Q = I \times A \quad \text{(equação 2)}$$

Onde:

Q = vazão de projeto (L/min)

I = intensidade pluviométrica (mm/h)

A= área de contribuição (m²)

A partir da vazão de projeto, de acordo com a NBR 10844/89 dimensiona-se as calhas a partir da fórmula de Manning, ou equivalente, conforme a equação 3:

$$Q = 60.000 \times (A/n) \times R_H^{2/3} \times S^{1/2} \quad \text{(equação 3)}$$

Onde:

Q = vazão de projeto (L/min)

A = área de seção molhada (m²)

P = perímetro molhado (m)

$R_H = A/P$ = raio hidráulico

n = coeficiente de rugosidade de Manning (ver tabela 11)

S = declividade (m/m)

Valores adotados:

Segundo a NBR 10844, a inclinação das calhas e de beiral e platibanda deve ser uniforme, com valor mínimo de 0,5%. Para rugosidade utiliza-se a tabela 11 para materiais normalmente utilizados na confecção de calhas.

Material	N
Plástico, fibrocimento, aço, metais não ferrosos	0,011
Ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
Cerâmica, concreto não alisado	0,013
Alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

Tabela 11: Coeficientes de rugosidades
Fonte: NBR 10844/1989

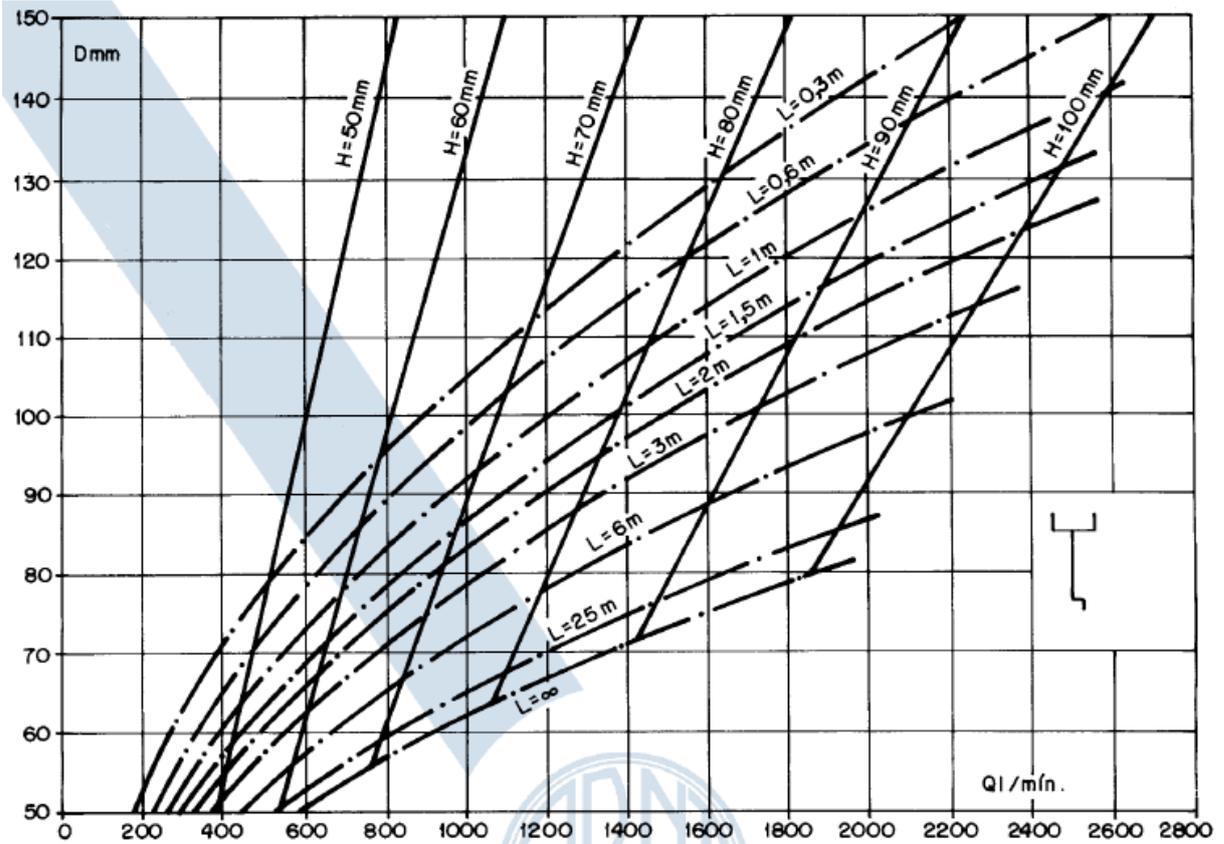
De acordo com a NBR 10844 (ABNT, 1989) o dimensionamento dos condutores verticais deve ser feito a partir dos seguintes dados:

Q = Vazão de projeto, em l/min;

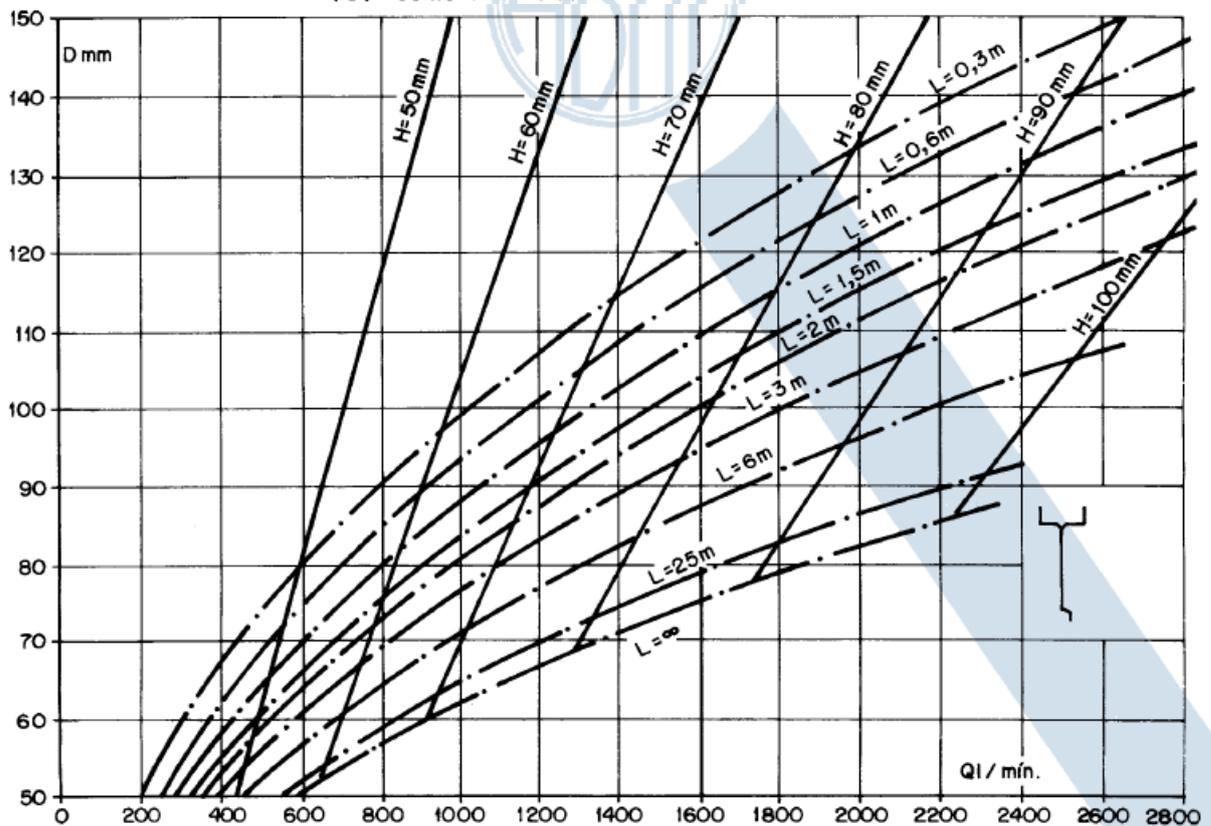
H = altura da lâmina de água na calha, em mm;

L = comprimento do condutor vertical, em m.

O diâmetro interno (D) do condutor vertical é obtido através dos ábacos da Figura 7. O diâmetro interno mínimo para seção circular é 70mm (ABNT, 1989):



(a) Calha com saída em aresta viva



(b) Calha com funil de saída

Figura 7: Ábacos para a determinação de diâmetros de condutores verticais
 Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989)

2-3-3 LIMPEZA E FILTRAGEM

Segundo Tomaz (2005), a primeira chuva, que normalmente carrega a sujeira dos telhados, pode ser removida pelo uso de tubulações, no qual pode ser desviada do reservatório ou através de dispositivos de autolimpeza em que o homem não precisa fazer nenhuma operação, ainda segundo o autor pode se utilizar peneiras para remover materiais em suspensão com tela de 0,2mm a 1,0mm.

Existem vários dispositivos de limpeza da água de chuva, seja físicos, químicos ou biológicos. Seu uso dependerá da complexidade do sistema e principalmente de qual finalidade a água terá.

É de consenso geral entre os autores que uma das principais ações de limpeza da água de chuva é o descarte inicial, no qual carrega as impurezas do ambiente, fezes de animais, folhagens entre outros que se acumulam na superfície de recolha, essa água deve ser descartada em quase todos os casos, mesmo que a finalidade dessa água não seja um contato direto com o ser humano.

De acordo com a NBR 15527/2007 devem ser instalados dispositivos para remoção de sujeiras, podendo ser telas, grades e filtros. Recomenda-se que seja instalado no sistema de aproveitamento de água de chuva um dispositivo para o descarte da água de escoamento inicial. É aconselhável que tal dispositivo seja automático. Quando utilizado, o dispositivo de descarte de água deve ser dimensionado pelo projetista. Na falta de dados, recomenda-se o descarte de 2 mm da precipitação inicial.

Portanto um sistema de limpeza eficiente é composto por descarte inicial de rejeitos podendo ser por telas e filtros, seguido por um reservatório de autolimpeza, que consiste em descartar as primeiras águas de chuva.

O processo de filtragem começa quando a água passa pelo filtro (Recomenda-se o filtro VF1) como na figura 8, onde ele é composto por lâminas que separam as folhas e sujeiras mais pesadas da água. Essa sujeira e um pouco de

água seguem para rede fluvial e a água aproveitada segue inicialmente para o reservatório de autolimpeza.

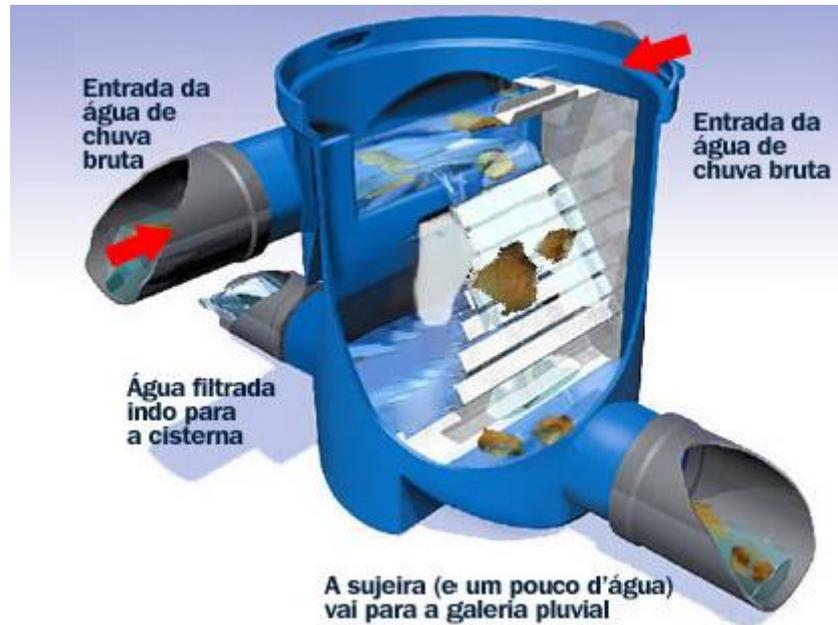


Figura 8 - filtro horizontal
Fonte: www.zarya.com.br

Um sistema bem simples a ser utilizado para descarte de primeira água (first flush) consiste na utilização de um cano de PVC na vertical provido de um pequeno orifício ou torneira na parte inferior para posterior esvaziamento. O escoamento vindo telhado enche esse cano e depois passa a escoar para o reservatório de armazenagem.

TOMAZ (2003) recomenda de um filtro volumétrico que já vem pronto para ser instalado e que tem um esvaziamento automático através de um pequeno orifício. Além de ser bem eficiente ele tem uma baixa necessidade de revisões e limpezas. “As primeiras águas são temporariamente armazenadas num pequeno reservatório, que depois de cheio transborda para a verdadeira alimentação do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais. Entretanto, o dispositivo vai-se auto esvaziando através de um orifício de pequeno diâmetro” (BERTOLO, 2006).

A figura 9 demonstra um exemplo de reservatório para descarte inicial provido de um orifício pequeno para rejeição.

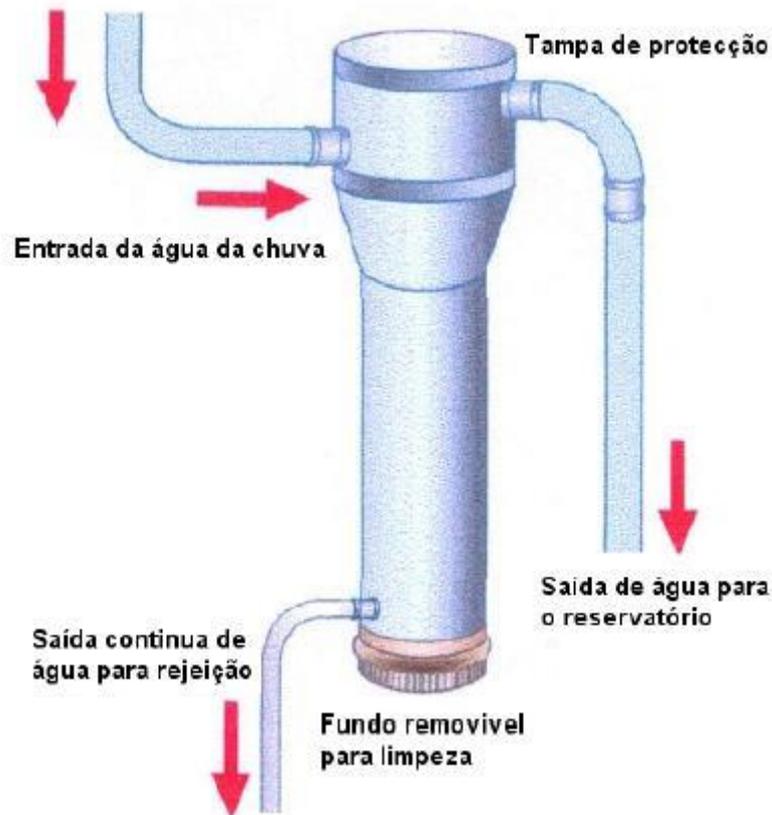


Figura 9: Exemplo de reservatório para descarte inicial
Fonte: Bertolo, 2006

2-3-4 ARMAZENAMENTO (RESERVATÓRIO)

O armazenamento da água de chuva é o principal fator do sistema de aproveitamento de águas pluviais, pois é onde representa a maior parte do custo, além disso é onde demanda maior atenção no dimensionamento e o que ocupará o maior espaço no local.

O reservatório deve ser muito bem dimensionado para que não onere a instalação do sistema e promova um equilíbrio de suprimento durante todo o ano, principalmente em épocas de estiagem. Seu dimensionamento deve levar em conta vários fatores como área de captação, custo do sistema, demanda de água não potável, regime de chuvas durante o ano, localização e material.

Segundo a NBR 15527/2007 devem ser considerados no projeto: extravasor, dispositivo de esgotamento, cobertura, inspeção, ventilação e segurança. Ainda segundo a norma, deve ser minimizado o turbilhonamento; a retirada de água deve ser feita próxima a superfície, por volta de 15 cm. O reservatório deve também possuir dispositivos que impeçam a conexão cruzada.

De acordo com o tamanho e a localização do reservatório ele pode ser construído ou ser instalado já pronto. Poderá ser de alvenaria, plástico, poliéster, aço, entre outros. Lembrando que a escolha do material é de extrema importância para se determinar o custo e a manutenção do sistema. Macomber (2001) cita que a escolha do material deve ser criteriosa, sendo sempre inerte, evitando assim possível contaminação da água armazenada.

Sua localização poderá ser acima ou abaixo do solo. As instalações acima são mais simples e fáceis de manusear pois evitam escavações e dispositivos mais complexos de manutenção, porém estão sujeitos a temperaturas mais elevadas e sujeitas a ações de bactérias e fungos.

O reservatório de água pluvial, dependendo das características locais e especificidade de uso, pode estar localizado elevado ou enterrado no solo, ou ainda sobre o solo. O reservatório elevado não necessita de bombeamento da água para o abastecimento da edificação, porém exige uma estrutura para sustentação. Nos reservatórios sobre ou sob o solo não é necessária estrutura de sustentação, porém o abastecimento exige bombeamento ou acesso facilitado à água (MANO, 2004).

A seguir um exemplo de reservatório de polietileno (figura 10) e um esquema de funcionamento de um reservatório (figura 11):



Figura 10 - Cisterna de polietileno
 Fonte: www.acquasave.com.br

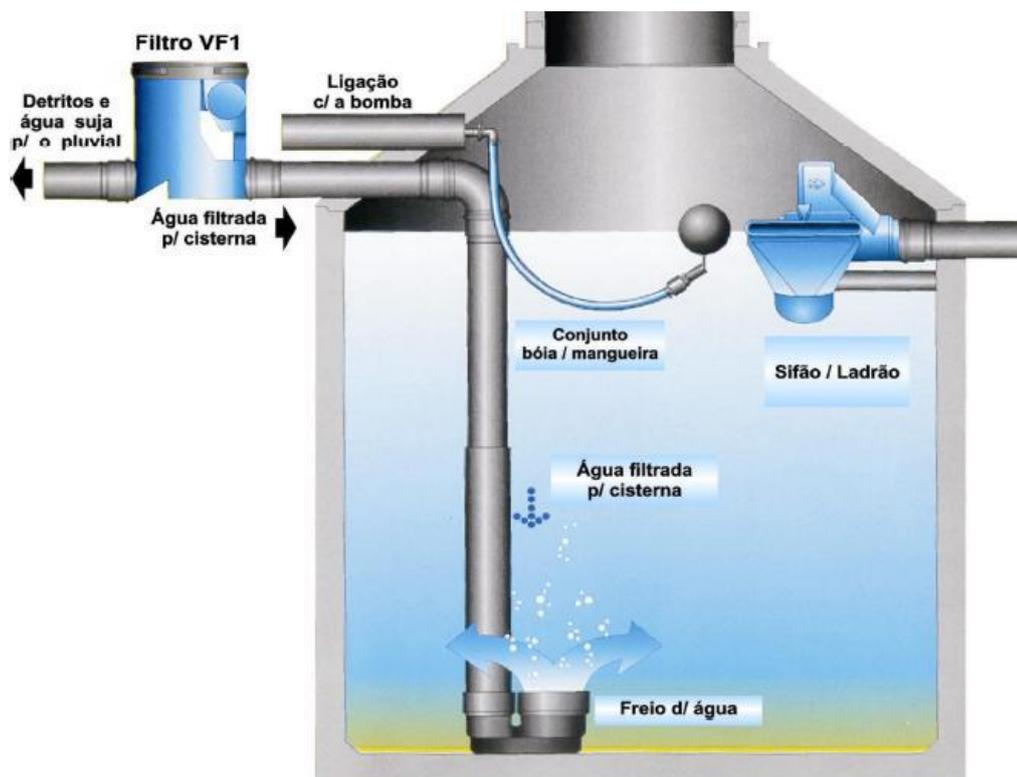


Figura 11 – Reservatório de água com equipamentos de captação de águas pluviais
 Fonte: Ecoracional (2010).

2-3-5 BOMBEAMENTO

Segundo Tomaz (2005), quando necessário o bombeamento (Figura 12), o mesmo deve atender a ABNT NBR 12214/92. Devem ser observadas as recomendações das tubulações de sucção e recalque, velocidades mínimas de sucção e seleção do conjunto motor-bomba. Através do sistema de bombeamento, a água armazenada no reservatório inferior será conduzida para o reservatório superior de água pluvial. O bombeamento é controlado por um sistema de boias magnéticas.

Junto ao reservatório superior de água pluvial deverá ser instalado uma bomba dosadora de cloro para realizar a desinfecção, a fim de melhorar o tratamento da água a ser utilizada. Na figura 12 segue um exemplo de bomba:



Figura 12: Bomba centrífuga
Fonte: Tomaz (2007)

3- MÉTODOS DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIO

Como já foi dito anteriormente a eficiência e viabilidade do sistema de aproveitamento de água de chuva depende essencialmente do correto dimensionamento do reservatório de armazenamento. Esse processo depende dos seguintes fatores como: precipitação ao longo do ano, área de captação, demanda de água, coeficiente runoff dos telhados, custo de implantação, dentre outros. A combinação entre volume de reservação e a demanda necessária é que resulta na maior eficiência, com o menor custo

Existem vários métodos de cálculo de dimensionamento do reservatório, cada um com suas peculiaridades, apropriados cada um para determinada situação. A NBR 15527/2007 traz em seu anexo uma sugestão de 6 métodos utilizados, sendo eles: Método de Rippl, Método da simulação, Método de Azevedo Neto, Método prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano. No nosso trabalho abordaremos todos teoricamente, porém no Estudo de caso daremos ênfase aos principais indicados pela literatura consultada.

Vale ressaltar que para a descrição dos métodos serão usados exemplos de autores que foram utilizados na construção do trabalho, os valores reais usados na residência modelo será representada apenas no estudo de caso. Essa é uma forma de não ficar com dados repetitivos e também para que sejam usados para efeito de comparação.

3-1 MÉTODO DE RIPPL

Um dos métodos mais utilizado para dimensionamento da cisterna é o método de Rippl. Sendo um método de diagrama de massa, este regulariza a vazão no reservatório permitindo, desta forma, o abastecimento constante de água em qualquer período, úmido ou seco (TOMAZ, 2003).

Segundo a NBR 15527/2007, neste método podem-se usar as séries históricas mensais ou diárias. O método de Rippl é geralmente utilizado em

hidrologia para regularização de vazão em reservatórios, com o objetivo de garantir abastecimento constante. Geralmente é usada uma série histórica de precipitações mensais.

Sendo assim, o método de Rippl utiliza-se a seguinte equação:

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (\text{equação 4})$$

$Q(t) = C \times \text{precipitação da chuva}(t) \times \text{área de captação}$

$V = \sum S(t)$, somente para valores $S(t) > 0$

Sendo que: $\sum D(t) < \sum Q(t)$

Onde:

$S(t)$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$Q(t)$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t ;

$D(t)$ é a demanda ou consumo no tempo t ;

V é o volume do reservatório;

C é o coeficiente de escoamento superficial.

Como base para esse método utilizaremos a tabela 12 a seguir:

1	2	3	4	5	6	7	8
Meses	Chuva Média Mensal (mm)	Demanda Mensal (m ³)	Área de Captação (m ²)	Volume de Chuva Mensal (m ³)	Diferença entre Demanda e Volume de Chuva (m ³)	Diferença Acumulada da Coluna 6 dos Valores Positivos (m ³)	Obs.

Tabela 12: Método de Rippl
Fonte: Tomaz (2005)

As colunas presentes na Tabela 12 representam (TOMAZ, 2005):

C1 = período de tempo em meses;

C2 = chuvas médias mensais (mm);

C3= demanda mensal (m³);

C4 = área de captação da água de chuva que é suposta constante durante o ano. A área de captação é a projeção do telhado sobre o terreno (m²);

C5 = volumes mensais disponíveis da água de chuva (m³);

C6 = diferenças entre os volumes da demanda e os volumes de chuva mensais. É na prática a C3 menos a C5. O sinal negativo indica que há excesso de água e o sinal positivo indica que o volume de demanda, nos meses correspondentes supera o volume de água disponível.

C7 = diferenças acumuladas da C6 considerando somente os valores positivos. Para preencher esta coluna foi admitido a hipótese inicial de o reservatório estar cheio. Os valores negativos não serão computados, pois, correspondem a meses em que há excesso de água (volume disponível superando a demanda). Começa-se com a soma pelos valores positivos, prosseguindo até que a diferença se anule, desprezando todos os valores negativos seguintes, recomeçando a soma quando aparecer o primeiro valor positivo.

C8 = o preenchimento da C8 é feito usando as letras E, D e S, sendo: E a água escoando pelo extravasor; D o nível de água baixando e S o nível de água subindo.

3-2 MÉTODO DA SIMULAÇÃO

Neste método arbitra-se um volume e verifica-se o que acontece com a água que vai sobrar (overflow) e com a água que vai faltar (suprimento do serviço público ou caminhão tanque) (TOMAZ, 2011).

São dados de entrada na tabela, a precipitação mensal (que informa o volume de chuva mensal) e a demanda mensal. Trabalha-se, para cada mês, somando ao valor inicial do reservatório (o final do mês anterior) a quantidade de água captada e subtraindo o volume consumido. Pode-se considerar um volume inicial mínimo (1 m³) antes do primeiro mês como se fosse remanescente do ano anterior. Lembra-se que, quando o reservatório fica vazio, não assume o valor negativo, mas permanece no zero, pois se consome outra água diferente da de origem pluvial. E quando o valor atinge a capacidade máxima do reservatório, dele não ultrapassa, pois, a água excedente sequer entra no reservatório, mas é eliminada (direcionada para os coletores públicos ou infiltrada no solo) ou encaminhada para usos paisagísticos (lagos, rios, etc.) ou usos que não requeiram o armazenamento (WERNECK, 2006).

De acordo com a NBR 15527/2007 nesse método a evaporação da água não deve ser levada em conta. Para um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade (equação 5) a um reservatório finito:

$$S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t) \quad (\text{equação 5})$$

$Q(t) = C \times \text{precipitação da chuva}(t) \times \text{área de captação}$

Sendo que: $0 \leq S(t) \leq V$

Onde:

$S(t)$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$S(t-1)$ é o volume de água no reservatório no tempo $t - 1$;

$Q(t)$ é o volume de chuva no tempo t ;

$D(t)$ é o consumo ou demanda no tempo t ;

V é o volume do reservatório fixado;

C é o coeficiente de escoamento superficial.

Utiliza-se a tabela 13 conforme a seguir usada por TOMAZ (2003):

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Meses	Chuva Média (mm)	Demanda mensal constante (m ³)	Área de Captação (m ²)	Volume de chuva C=0,8 (m ³)	Volume do reservatório fixado (m ³)	Volume do reservatório no tempo t-1 (m ³)	Volume do reservatório no tempo t (m ³)	Overflow (m ³)	Suprimento de água externo (m ³)
	P	Dt	A	Qt	V	St-1	St	Ov	S

Tabela 13 – Método da simulação

Fonte: Tomaz (2003)

De acordo com Tomaz (2011):

C1 = refere-se aos meses do ano;

C2 = chuvas médias mensais (mm);

C3 = Demanda mensal (m³);

C4 = Área de captação da água de chuva (m²);

C5 = Referente ao volume de água de chuva que é: (coluna 2 x coluna 4 x C (coeficiente de *Runoff*) /1000 para que o resultado saia em metro cúbicos.

C6 = Volume do reservatório que é fixado.

C7 = Volume do reservatório no início da contagem do tempo. Supõe-se que no início do ano o reservatório está vazio, então a primeira linha da coluna.

7 referente ao mês de janeiro será igual a zero. Os demais valores são obtidos usando a função SE do Excel: SE (coluna 8 < 0; 0; coluna 8).

C8 = Referente ao volume do reservatório no fim do mês. Obtêm-se a coluna 8 da seguinte maneira: coluna 8 = SE (coluna 5 + coluna7 – coluna 3 > coluna6; coluna7; coluna5 + coluna7 – coluna3).

C9 = É relativa ao overflow, isto é, quando a água fica sobrando e é jogada fora. Obtém-se da seguinte maneira: coluna9 = SE (coluna5+ coluna7- coluna3) > coluna6; coluna5 + coluna7 – coluna3 – coluna6; 0).

C10 = É a coluna da reposição da água, que pode vir do serviço público de abastecimento, caminhão tanque ou de outra procedência.

Coluna10 = SE (coluna7 + coluna5 – coluna3 <0; - (coluna7 + coluna5 – coluna3); 0).

3-3 MÉTODO DE AZEVEDO NETO

Também conhecido como como Método Prático Brasileiro, segundo Tassi e Gondenfum (2010) trata-se de um método prático e direto onde necessita de apenas 3 parâmetros: precipitação, período seco e área de captação. Este é um método simples que não leva em consideração a demanda, podendo ser uma boa estimativa quando há ausência desse dado.

Conforme a NBR 15527 (ABNT, 2007) o volume de chuva é obtido pela seguinte equação 6:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

P= é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

T = é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seco;

A = é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);

V = é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (l).

Vale ressaltar que é definido como o volume ideal do reservatório 4,2% do produto entre o volume de chuva coletada pelo telhado e o número de meses com pouca chuva (FONTANELA *et a.l.*, 2012).

3-4 MÉTODO PRÁTICO ALEMÃO

De acordo com a NBR 15527/2007 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.

$V_{\text{adoptado}} = \text{mínimo de (volume anual precipitado aproveitável e volume anual de consumo)} \times 0,06$ (6 %)

$V_{\text{adoptado}} = \text{mín} (V; D) \times 0,06$

Onde:

V = Volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros (L);

D = Demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);

V_{adoptado} = Valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

3-5 MÉTODO PRÁTICO INGLÊS

O Método Prático Inglês é um dos mais simples pois necessita de apenas duas variáveis: a precipitação anual e a área de captação. Ele leva em consideração que o volume ideal corresponde a 5% da precipitação aproveitável.

Segundo a NBR 15527/2007 o volume da chuva é obtido pela seguinte equação 7:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

P = precipitação média anual (mm);

A = área de coleta em projeção (m²);

V = volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna (l).

3-6 MÉTODO PRÁTICO AUSTRALIANO

Conforme a NBR 15527 (ABNT, 2007) o volume da chuva é obtido pela equação 8 a seguir:

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

C = Coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P = precipitação média mensal (mm);

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

A = área de coleta (m²);

Q = volume mensal produzindo pela chuva (m³).

O cálculo do volume do reservatório (equação 9) é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório

$$V(t) = V(t-1) + Q(t) - D(t) \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

Q(t) = volume mensal produzido pela chuva no mês (m³);

V(t) = volume de água que está no tanque no fim do mês t (m³);

V(t-1) = volume de água que está no tanque no início do mês t (m³);

D(t) é a demanda mensal (m³);

Nota: para o primeiro mês consideramos o reservatório vazio.

Quando $(V(t-1) + Q(t) - D(t)) < 0$, então o $V(t) = 0$

Para calcular a Confiança considera-se a equação 10:

$$Pr = Nr / N \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

Pr = falha

Nr = número de meses em que o reservatório não atendeu a demanda, isto é, quando $V_t = 0$.

N = número de meses considerado, geralmente 12 meses.

Confiança = $(1 - Pr)$

A norma ainda recomenda que os valores de confiança estejam entre 90% e 99%.

4- ESTUDO DE CASO

Através da revisão bibliográfica podemos notar o quanto os recursos hídricos vêm se deteriorando tanto pelo desperdício e mau uso desse recurso pelo ser humano, quanto pela má distribuição populacional inchando regiões onde não tem recursos suficientes para suprir a necessidade humana por recursos. Portanto vimos que é necessário a propagação e a difusão de novas técnicas sustentáveis para podermos garantir a nossa sobrevivência em harmonia com a natureza.

Uma dessas técnicas sustentáveis defendida pelo trabalho é o aproveitamento de água pluvial, que visa diminuir a demanda de mananciais, além de economizar o usuário financeiramente em sua tarifa de água.

Dentro desses preceitos o trabalho tem por objetivo analisar e quantificar o projeto de um sistema de aproveitamento de água de chuva para residências de porte pequeno a médio, para isso o presente estudo partiu de um projeto fictício voltado para um sistema de baixo custo, afim de verificar qual a relação custo-benefício do projeto.

O estudo leva em consideração alguns componentes básicos: a área de captação, a demanda de água, a precipitação na região de Ouro Preto, os materiais utilizados e o dimensionamento do reservatório.

Vale ressaltar que na cidade de Ouro Preto não se cobra pelo tanto de água gasto, existe apenas uma tarifa única paga por residência, por isso será feita uma análise nas tarifas cobradas por concessionárias de cidades no estado de Minas Gerais afim de poder comparar a partir de qual quantidade será vantajoso o uso do sistema.

4-1 LOCAL DE ESTUDO

O município de Ouro Preto localiza-se na região central do estado de Minas Gerais, possui uma população de 70241 habitantes, área de 1.245,865 km² segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

O tratamento e distribuição de água para a população é feita pela empresa SEMAE-OP (Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto). O município de Ouro Preto conta com 6 Estações de Tratamento de Água (ETA), sendo 2 localizadas na Sede (ETA Itacolomi e ETA Jardim Botânico), 2 no distrito de Cachoeira do Campo (ETA Funil e ETA Vila Alegre), 1 no distrito de Amarantina e 1 no distrito de Antônio Pereira. Atualmente, são tratados cerca de 260 litros de água por segundos. (SEMAE-OP).

4-2 CARACTERÍSTICAS DA RESIDÊNCIA

O local estudado é uma residência unifamiliar com sistema de captação e armazenamento de água de chuva, tendo como objetivo minimizar a utilização de água tratada vindo da concessionária para fins menos nobres. Como já foi mencionado o objeto de estudo será uma residência fictícia a fim de proporcionar um parâmetro para residências do mesmo porte.

Trata-se de uma residência unifamiliar composta por 4 pessoas. A casa possui 2 banheiros com chuveiro e bacia sanitária e máquina de lavar. A família possui um carro popular e utiliza-se de água da casa para lavagem do automóvel.

Dados da residência:

Área do lote: 250 m²;

Área da casa: 100 m²;

Material telhado: cerâmica – coeficiente *runoff* entre 0,75 e 0,9. (LISBOA, 2011);

Adotado: 0,8.

4-3 DEMANDA DE ÁGUA PLUVIAL

O nosso estudo constitui de uma residência unifamiliar composta por 4 pessoas, de classe baixa a média, portanto como já foi dito a casa possui 2 banheiros, máquina de lavar roupa, área externa, 1 veículo onde há uma lavagem periódica do mesmo.

Como já descrito na revisão bibliográfica, segundo TOMAZ (2005) na falta de um estudo detalhado na própria residência, é aconselhado usar de 40% a 55% da demanda total para uso de água de chuva.

Segundo o PROCON/SP, o consumo médio diário de uma pessoa é de 180 litros por dia, isso dá em torno de 5,4 m³ por mês, como são 4 pessoas totaliza 22 m³ de água total gasto, porém como as pessoas não ficam em casa o tempo todo usaremos 80% desse valor para uso na residência por mês resultando em 17,6 m³. Como foi visto na revisão bibliográfica, usaremos em torno 40% desse total para fins menos nobres podendo substituir por águas pluviais, temos uma demanda de água de chuva de 7 m³.

4-4 DETERMINAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO LOCAL

A quantidade de chuva que cai na área de captação é o primeiro fator a definir. O índice pluviométrico mede quantos milímetros chove por m². A precipitação considerada é a média histórica fornecida por algum órgão de meteorologia. Nesse trabalho a precipitação foi fornecida pelo site www.climatempo.com.br, pois os dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) só relacionavam as estações existentes e a mais próxima está na cidade de Belo Horizonte, portanto para fim de cálculo e exemplificação usaremos os fornecidos pelo site.

De acordo com a tabela 14, as precipitações médias mensais de Ouro Preto nos últimos 30 anos são:

Mês	Precipitação (mm)
Janeiro	296
Fevereiro	166
Março	168
Abril	68
Maio	33
Junho	13
Julho	10
Agosto	18
Setembro	57
Outubro	103
Novembro	215
Dezembro	325
Total	1492

Tabela 14- Precipitação Mensal Ouro Preto – MG

Fonte: www.climatempo.com.br

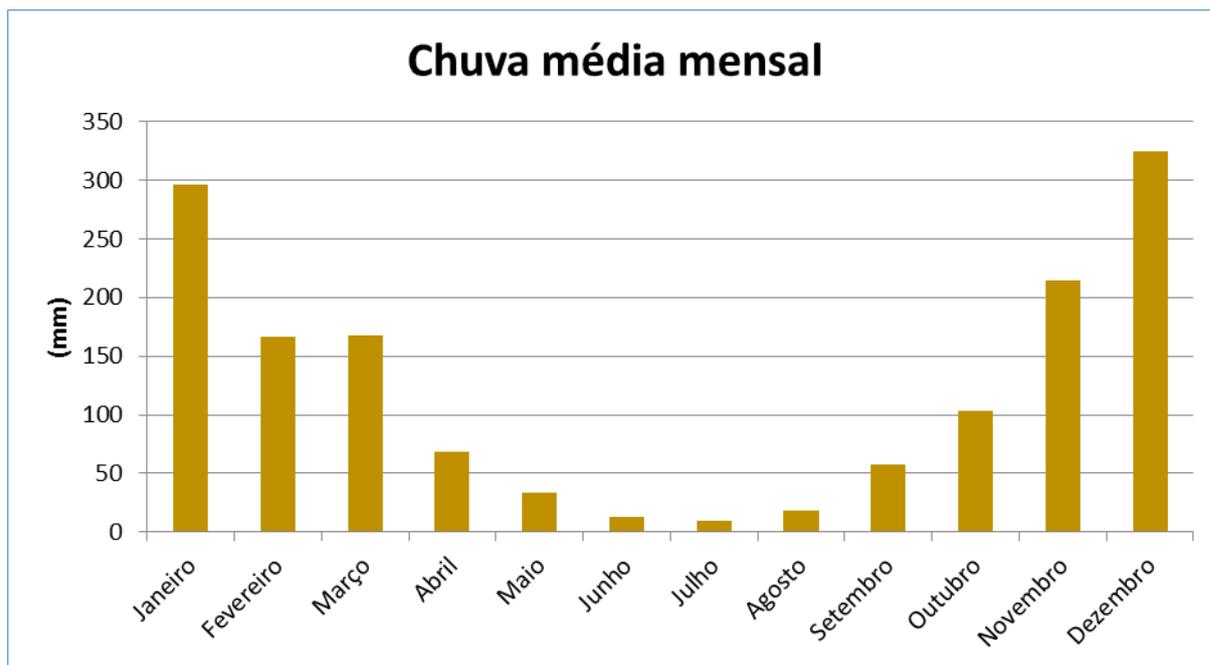


Gráfico 14.1: Precipitação em Ouro Preto

Fonte: www.climatempo.com.br

4-5 POTENCIAL DE CAPTAÇÃO

Para se calcular o potencial de captação foi calculado o potencial de volume de água de chuva captada através de quatro variáveis básicas: média histórica de precipitação, área de captação utilizada para o estudo, coeficiente *Runoff* e o rendimento do sistema, através da equação 11:

$$V = P \times A \times C \times \eta \text{ first flush} \quad (\text{equação 11})$$

A precipitação é de acordo com a tabela 14 do item 4.4, o coeficiente runoff é de 0,8 de acordo com o item 2-3-1, a área de captação foi considerada para o estudo de 100 m² e o coeficiente de rendimento normalmente usado pelos autores é de 0,85.

Então, de acordo com os parâmetros pré-definidos calculamos o potencial de captação para cada mês de acordo com a tabela 15:

Mês	Precipitação (mm)	Volume captável (m³)
Janeiro	296	20,2
Fevereiro	166	11,3
Março	168	11,4
Abril	68	4,6
Maio	33	2,2
Junho	13	0,9
Julho	10	0,7
Agosto	18	1,2
Setembro	57	3,9
Outubro	103	7,0
Novembro	215	14,7
Dezembro	325	22,1
Total	1492	100,2

Tabela 15: Potencial de captação

4-6 DIMENSIONAMENTO DE CALHAS E CONDUTORES

Como já visto na revisão bibliográfica, a coleta da água de chuva é feita pelas calhas e condutores, e seu dimensionamento é de grande importância para o melhor desempenho do sistema. Como mencionado TOMAZ (2005) dita a sequência de dimensionamento a seguir:

- 1) Primeiramente iremos calcular a vazão para determinado período de retorno com a seguinte equação:

$$Q = I \times A / 60 \quad (\text{equação 12})$$

Onde:

Q = vazão de projeto (L/min)

I = intensidade pluviométrica (mm/h)

A= área de contribuição (m²)

A NBR 10844/89 orienta usar o período de retorno de 1, 5 ou 25 anos para cálculo da intensidade pluviométrica. Usaremos para Ouro Preto o período de retorno de 5 anos. Consta no Anexo A da norma que para o período de retorno de 5 anos para Ouro preto a intensidade vale 211 mm.

A área de contribuição será de 50 m² (a norma prevê um cálculo para cada tipo de telhado, mas como é uma residência fictícia será considerado o valor final da área de contribuição como 100m²/2 pois será um telhado de duas águas), então:

$$Q = 50 \times 211 / 60 = 175,8 \text{ litros/min}$$

- 2) A partir da vazão de projeto, de acordo com a NBR 10844/89 dimensiona-se as calhas a partir da fórmula de Manning, ou equivalente:

$$Q = 60.000 \times (A/n) \times R_H^{2/3} \times S^{1/2} \quad (\text{equação 13})$$

Onde:

Q = vazão de projeto (L/min)

A = área de seção molhada (m²)

P = perímetro molhado (m)

$R_H = A/P$ = raio hidráulico

n = coeficiente de rugosidade de Manning (ver tabela 11)

S = declividade (m/m)

A declividade será a mínima estabelecida que é de 0,5% e coeficiente de Manning de 0,11 considerando calha de metal. (NBR 10844/89). Adotando-se a largura da calha com 12 cm e altura de 9 cm, e considerando a altura da lâmina d'água como 2/3 da altura tem se como resultado uma vazão $Q = 440$ l/min atendendo a vazão de projeto calculada.

A norma traz também uma tabela da capacidade de condutores horizontais se seção circular com os diâmetros usuais para cada declividade e coeficiente de Manning.

Para a vazão calculada de 175,8 l/min, declividade de 0,5% e $n = 0,11$ a melhor solução é de diâmetro de 100 mm.

Para o condutor vertical a Norma estabelece um valor mínimo de 70 mm de diâmetro para seções circulares. Ela também fornece um ábaco conforme a figura 7 que permite encontrar o melhor diâmetro a partir da vazão de projeto, altura de água da lâmina d'água na calha e comprimento do condutor. A vazão de projeto é considerada pequena no ábaco, portanto será adotado o valor mínimo do diâmetro de 70 mm.

4-7 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

Como mencionado na revisão bibliográfica será feito o dimensionamento do reservatório através de 3 métodos, para que se possa comparar e mensurar qual melhor método usado. Lembrando que não existe um método perfeito, cabe ao projetista usar de experiência e bom senso para analisar a confiabilidade do resultado proposto.

MÉTODO DE RIPPL

No método de Rippl usa-se uma série sintética de precipitações mensais, o mais longo possível para se aplicar o método e as precipitações se transformam em vazões que se dirigem ao reservatório.

É utilizada a tabela 16 (Excel) para auxiliar no cálculo, a sequência de construção da planilha já foi apresentada na revisão bibliográfica no item 3.1, sendo apresentado aqui apenas os valores.

Com já calculado a demanda por águas menos nobres podendo ser substituída por águas pluviais foi calculada no item 4.3 sendo encontrado o valor de 7 m³, a área de captação já definida em 100m², o coeficiente *runoff* de 0,8, e as precipitações médias mensais foram definidas no item 4.4.

Meses	Chuva média mensal (mm)	Demanda mensal (m ³)	Área de captação (m ²)	Volume de chuva mensal (m ³)	Diferença vol Demanda e vol de chuva (m ³)	Diferença Acumulada da Coluna 6 dos Valores Positivos (m ³)	OBS.
Janeiro	296	7	100	23,7	-16,7	-	E
Fevereiro	166	7	100	13,3	-6,3	-	E
Março	168	7	100	13,4	-6,4	-	E
Abril	68	7	100	5,5	1,5	1,5	
Maio	33	7	100	2,7	4,3	5,8	
Junho	13	7	100	1,0	6,0	11,8	
Julho	10	7	100	0,8	6,2	17,8	
Agosto	18	7	100	1,4	5,6	23,4	
Setembro	57	7	100	4,6	2,4	25,4	
Outubro	103	7	100	8,2	-1,2	-	E
Novembro	215	7	100	17,2	-10,2	-	E
Dezembro	325	7	100	28,2	-21,2	-	E
Total	1472			120			

Tabela 16: Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl

A partir do método de Rippl observamos que o volume ideal para essa situação é de 25,4 m³, sendo um reservatório grande para uma casa unifamiliar

MÉTODO DA SIMULAÇÃO

De acordo com a revisão bibliográfica, foi explicado no item 3.2, que o Método da Análise de Simulação realiza várias verificações para diferentes volumes com suas respectivas eficiências, para que se chegue à eficiência desejada para o sistema. Assim sendo, foi testado o valor comercial de 12 m³ no método, tendo-se utilizado a Tabela 17 apresentada a seguir para auxiliar no cálculo, seguindo-se as orientações contidas no item.

Utilizando os mesmos parâmetros do método de Rippl, ou seja, área de 100 m², coeficiente *runoff* de 0,8, demanda de águas pluviais de 7m³, teremos o seguinte resultado:

Mês	Chuva média mensal (mm)	Demanda mensal (m ³)	Área de captação (m ²)	Volume de chuva (m ³)	Volume do reservatório fixado (m ³)	Volume reservatório tempo t-1 (m ³)	Volume reservatório tempo t-1 (m ³)	Overflow (m ³)	Suprimento de água externo
Jan	296	7	100	23,7	12	0	12	5	0
Fev	166	7	100	13,3	12	12	12	6	0
Mar	168	7	100	13,4	12	12	12	6	0
Abr	68	7	100	5,5	12	12	10	0	0
Mai	33	7	100	2,7	12	10	6	0	0
Jun	13	7	100	1,0	12	6	0	0	0
Jul	10	7	100	0,8	12	0	-6	0	6
Ago	18	7	100	1,4	12	0	-6	0	6
Set	57	7	100	4,6	12	0	-2	0	2
Out	103	7	100	8,2	12	0	1	0	0
Nov	215	7	100	17,2	12	1	11	0	0
Dez	325	7	100	26,0	12	11	12	18	0
Tot al	1472			117				35	14

Tabela 17: Dimensionamento do reservatório pelo método da simulação

O volume para esse método é arbitrado e depois verificado se houve excesso de água que saiu pelo extravasor (*overflow*), ou se houve falta de água de chuva, necessitando, neste último caso completar o reservatório com água tratada. Portanto, usando a tabela 17 no Excel foram analisados vários valores do volume do reservatório a partir do encontrado no método de Rippl que foi de 25,4 m³ até chegar a um valor menor de 12 m³. Verificou-se que para o volume definido de 12 m³ nos meses de julho, agosto e setembro precisará de recorrer ao abastecimento público para suprir a demanda total de água.

MÉTODO DE AZEVEDO NETO

A partir da equação 6, calculou-se o volume de reservação para o método de Azevedo Neto, com área de captação de 100 m², precipitação média anual de 1370 mm, e número de meses de seca igual a 3.

$$V = 0,042 \times 1472 \times 100 \times 4 = 24700 \text{ litros ou } 14,7 \text{ m}^3$$

4-8 CÁLCULO DA TARIFA DE ÁGUA

Como já mencionado, na cidade de Ouro Preto não se cobra pelo tanto gasto em cada residência e sim uma tarifa única por residência. O órgão responsável pela cobrança é o Semae-OP. A tarifa atualmente está custando R\$12,45 por residência.

Embora o estudo seja feito para a localidade de Ouro Preto – MG, será feita uma análise de outras tarifas cobradas na região, principalmente pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) por se tratar da empresa que atua na maioria das cidades mineiras.

Vale ressaltar que a análise levando em consideração as tarifas da COPASA se deve ao fato de ser mais realista pois a cobrança é feita realmente sobre o que se consome, podendo assim concluir a partir de qual valor de consumo compensará a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva. E devido ao alto consumo e desperdício em Ouro Preto acredita-se que em breve será implantado o sistema de hidrômetros na cidade.

A agência reguladora fornece uma planilha de preenchimento para simular o gasto de determinada residência baseado nas tarifas em vigor apresentada adiante, nota-se que não é uma progressão proporcional, tendo para cada faixa de consumo uma tarifa diferente. Por exemplo a seguir (tabela 18) será apresentado o consumo e o total gasto para diferentes valores, levando em consideração apenas a tarifa de água:

Consumo (m³)	Valor (R\$)
5	9,56
10	18,07
20	70,86
30	125,73
40	180,60

Tabela 18: Exemplos de valores cobrados para cada consumo
Fonte: ARSAE-MG

Nota-se que o valor cobrado não segue uma proporção, valorizando quem consome menos e ‘punindo’ os que consomem mais. Ou seja, quanto mais se consome maior será o custo benefício da implantação do sistema de aproveitamento pluvial.

A COPASA fornece a tabela de tarifas cobradas pelo consumo de água, ela é dividida em residencial, comercial, industrial e pública. A residencial é dividida em residencial social e residencial, no qual cada uma é subdividida em 2 partes: para consumo abaixo de 10 m³, no qual a tarifa é menor, e para consumo acima de 10 m³, no qual a tarifa é maior. Nota-se que quanto maior a faixa de consumo maior será o valor cobrado.

A seguir segue a tabela 19 que demonstra o valor da tarifa de água praticada pela COPASA

TABELA TARIFÁRIA COPASA						
Vigência 05/2015 a 04/2016						
Classe de Consumo	Código Tarifário	Intervalo de Consumo m ³	Tarifas de Aplicação			
			05/2015 a 04/2016			
			ÁGUA	EDC	EDT	
			1	2	3	
Residencial Tarifa Social até 10 m ³	ResTS até 10 m ³	0 - 6	9,56	4,79	8,63	R\$/mês
		> 6 - 10	2,128	1,064	1,915	R\$/m ³
Residencial Tarifa Social maior que 10 m ³	ResTS > 10m ³	0 - 6	10,08	5,05	9,06	R\$/mês
		> 6 - 10	2,241	1,122	2,017	R\$/m ³
		> 10 - 15	4,903	2,451	4,412	R\$/m ³
		> 15 - 20	5,461	2,731	4,916	R\$/m ³
		> 20 - 40	5,487	2,744	4,939	R\$/m ³
		> 40	10,066	5,035	9,060	R\$/m ³
Residencial até 10 m ³	Res até 10 m ³	0 - 6	15,94	7,97	14,38	R\$/mês
		> 6 - 10	2,661	1,330	2,394	R\$/m ³
Residencial maior que 10 m ³	Res > 10m ³	0 - 6	16,80	8,40	15,10	R\$/mês
		> 6 - 10	2,801	1,401	2,520	R\$/m ³
		> 10 - 15	5,447	2,724	4,903	R\$/m ³
		> 15 - 20	5,461	2,731	4,916	R\$/m ³
		> 20 - 40	5,487	2,744	4,939	R\$/m ³
		> 40	10,066	5,035	9,060	R\$/m ³
Comercial	Com	0 - 6	25,79	12,90	23,23	R\$/mês
		> 6 - 10	4,299	2,150	3,871	R\$/m ³
		> 10 - 40	8,221	4,111	7,398	R\$/m ³
		> 40 - 100	8,288	4,142	7,459	R\$/m ³
		> 100	8,329	4,164	7,496	R\$/m ³
Industrial	Ind	0 - 6	27,37	13,69	24,64	R\$/mês
		> 6 - 10	4,562	2,281	4,107	R\$/m ³
		> 10 - 20	7,992	3,996	7,193	R\$/m ³
		> 20 - 40	8,017	4,009	7,215	R\$/m ³
		> 40 - 100	8,095	4,049	7,285	R\$/m ³
		> 100 - 600	8,316	4,157	7,484	R\$/m ³
Pública	Pub	> 600	8,405	4,202	7,564	R\$/m ³
		0 - 6	24,28	12,14	21,87	R\$/mês
		> 6 - 10	4,049	2,025	3,642	R\$/m ³
		> 10 - 20	6,982	3,490	6,283	R\$/m ³
		> 20 - 40	8,439	4,218	7,595	R\$/m ³
		> 40 - 100	8,546	4,274	7,693	R\$/m ³
		> 100 - 300	8,571	4,285	7,713	R\$/m ³
> 300	8,644	4,323	7,780	R\$/m ³		

Tabela 19 - Tarifas cobradas pela COPASA

Fonte: ARSAE

5 – ANÁLISE E RESULTADOS

A partir de todo o desenvolvimento do trabalho através de sua revisão bibliográfica no qual apresentou fundamentos teóricos para o projeto de um sistema de aproveitamento de água pluvial, conseqüentemente com o estudo de caso de uma residência unifamiliar, serão analisados os resultados obtidos para tal estudo,

buscando obter o que foi feito de certo e errado a fim de propor soluções para cada tipo de situação. Além disso serão analisados quais métodos foram mais eficazes e procurar adaptar-se a situações diversas.

5 -1 ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO

Como se pode ver, os valores encontrados pelo método de Rippl e Azevedo Neto são bem próximos, em torno de 26 m³. Esse seria um reservatório de 2m x 2m x 7m por exemplo, sendo um reservatório muito grande para uma residência, ficando inviável sua construção/implantação. Já no método da simulação, simulamos um reservatório menor, com 12 m³, porém acorreria de precisar da água do abastecimento da concessionária para completar a demanda nos meses mais secos.

No caso, poderia então aproveitar essa época de seca para fazer as manutenções previstas para o reservatório tendo em vista que estaria vazio. Ainda assim um reservatório de 12 m³ é considerado grande em determinadas residências. Um dos fatos que superdimensiona o reservatório é que a região de Ouro Preto tem um regime de chuva muito mal distribuído durante o ano, isso ocasiona a falta de contribuição de águas pluviais ao reservatório durante alguns meses, fazendo com que ele tenha que ser maior para armazenar mais água do período chuvoso.

5 - 2 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica tem por objetivo verificar custo-benefício da implantação do sistema e dar diretrizes sobre quais parâmetros podem ou não sofrer alterações e suas consequências para redução de custos. O foco dessa análise é fazer um levantamento de materiais, custos, mão de obra, no qual será possível estimar o valor total do sistema.

Considerando um consumo da residência próximo a 20 m³ de água, como foi calculado no dimensionamento, a conta a ser paga com as tarifas vigentes seria de R\$ 71,00. Como a economia de água seria 7m³ utilizando águas pluviais, o total a

ser pago por 13 m³ seria de R\$ 33,75, gerando então uma economia de R\$ 37,25 por mês.

Para o volume adotado de 12 m³ o valor de reservatório mais barato encontrado está em torno de 3 mil reais, mais o valor da bomba em torno de R\$ 166,00, mais o valor do reservatório superior, mais o valor de mão de obra, tubulações, teremos o seguinte custo representado na tabela 20:

MATERIAL	PREÇO
RESERVATÓRIO	R\$ 3000,00
RESERVATÓRIO SUPERIOR	R\$ 299,90
BOMBA	R\$ 166,00
MÃO DE OBRA	R\$ 300,00
OUTROS COMPONENTES	R\$ 400,00
TOTAL	R\$ 4165,90

Tabela 20: Custo Estimado do sistema

Com um custo total do sistema em torno de 4 mil reais, e considerando uma economia de R\$ 37,25 por mês verificamos que demoraria 107 meses para recuperar o investimento, ou seja quase 9 anos, considerado um longo tempo baseado no dimensionamento feito através dos métodos propostos pela literatura.

Se considerarmos o estudo feito no trabalho vemos que para esse porte de residência ainda não se torna um investimento atrativo financeiramente. Hoje em dia já se sabe que esse tipo de sistema é bem mais aceito em prédios públicos como escolas e prefeituras por apresentarem um consumo diferente de consumo e uma área captável maior, porém existem meios de baratear esse processo para residências diminuindo também a eficiência do sistema.

Porém sabe-se que devido a políticas públicas pouco efetivas de conservação de nascentes, mananciais e recuperação de rios e lagos, além dos regimes de chuvas abaixo da média nos últimos anos, a expectativa é que o valor da tarifa de água se torne cada vez mais cara. Diante disso, fazendo uma projeção de aumento

da tarifa ao longo dos anos, é provável que o tempo de retorno do investimento seja menor.

Além disto, a implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial pode trazer uma série de vantagens para a comunidade. A implantação deste sistema reduz a quantidade de água potável demandada, o que permitiria um aumento do número de pessoas abastecidas por um único manancial. A utilização de água pluvial reduz a quantidade de água lançada na rede de drenagem, diminuindo a possibilidade de enchentes. Por estes motivos acredita-se que deveria ser revista a posição do poder público, permitindo incentivos para implantação de sistemas como estes, o que diminuiria o custo total.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O século XXI já apresenta graves problemas de abastecimento de água pelo mundo. A escassez já é uma realidade em vários países e o Brasil já começa a sentir esses efeitos, principalmente pela má gestão dos recursos hídricos. Diante disso é urgente a necessidade de novas técnicas e meios sustentáveis para garantir o abastecimento de qualidade a toda população.

Dentre as ações tecnológicas a serem difundidas, o aproveitamento de água de chuva se torna interessante do ponto de vista sustentável e econômico, possibilitando uma redução da demanda por mananciais e gerando uma economia financeira para quem o implementa.

Porém, alguns paradigmas ainda atuam sobre o uso de água pluvial em atividades residenciais. Isso ocorre muitas vezes devido à falta de conhecimento do sistema. Nota-se a simplicidade dos elementos constituintes, ou seja, o dimensionamento destes é feito através de métodos conhecidos, sem complicações, restando apenas a divulgação dos conhecimentos no meio técnico e na sociedade.

No desenvolvimento desse trabalho analisou-se todo o procedimento acerca da implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva em uma residência unifamiliar na cidade de Ouro Preto – MG. Foram analisados os principais aspectos teóricos e construtivos propostos por autores renomados na área de recursos hídricos.

Diante de todo o processo de dimensionamento e construção notou-se que para residências pequenas (até 100 m²), a implantação do sistema ainda não é tão vantajosa quando se leva em conta o custo-benefício, porém, independentemente do tempo de retorno do investimento, já é válido o esforço da sociedade em implementar o reuso de água de chuva tendo em vista seu grande impacto positivo no meio ambiente.

Levando em consideração um custo elevado para implementação do sistema de aproveitamento pluvial, deve-se considerar a possibilidade de construção de sistemas mais simples que ajudam a suprir parte da demanda, conforme exemplo das figuras 13 e 14 a seguir:

MINICISTERNA Para Residência Urbana

A água da chuva
pode ser usada para:

- lavar pisos, carros
- irrigar plantas
- descargas no vaso sanitário



Figura 13: Mini cisterna econômica
Fonte: www.sempresustentavel.com.br



Figura 14: Filtro de água de baixo custo

Fonte: www.sempresustentavel.com.br

Tomaz (2005) através de várias análises afirma que com as técnicas existentes espera-se ter um bom custo benefício em situações como: Áreas industriais, postos de gasolina, supermercado e shoppings por ter grandes áreas de coleta e uma alta taxa de uso de água não potável; Áreas residenciais acima de 250 m² de área de captação, pois a partir daí já se tem um grande volume captado.

Devemos ter a responsabilidade como indivíduos inseridos em uma sociedade de garantir que as futuras gerações possam usufruir de recursos naturais de boa qualidade, além disso temos o dever de conviver em harmonia com os outros seres que habitam nosso planeta

7 - 1 CONCLUSÃO

A fim de alcançarmos uma qualidade de vida tanto para as atuais como para as futuras gerações é necessário que se pesquise e se inove para que novas técnicas sejam adotadas em prol da sustentabilidade. Diante disso a proposta do trabalho foi estabelecer um rito da construção de um projeto de aproveitamento de águas pluviais, levando em consideração os principais fatores envolvendo o tema.

A partir dos diversos referenciais teóricos encontrados na literatura, além dos diversos materiais disponíveis atualmente no mercado percebeu-se que se trata de um projeto sem complexidade que pode ser implementado em qualquer residência, tendo uma grande de possibilidades de ajustes e adaptações para que se chegue a um sistema eficiente e com grande custo benefício.

Percebeu-se que para residências populares o sistema ainda fica oneroso, levando em consideração o tempo de retorno, porém com alguns ajustes e redução da eficácia pode-se ter um projeto que alcance os objetivos propostos.

Verificou-se que para construção do projeto depende-se de alguns parâmetros que variam para cada região como: quantidade e distribuição anual da precipitação; valor pago na tarifa de água; disponibilidade de materiais construtivos entre outros. Portanto pode ficar mais barato ou caro dependendo da situação.

Diante de tudo que foi proposto no trabalho, constata-se a necessidade de implementação de novos conceitos na sociedade. A partir de pesquisas e soluções práticas que atinjam a todos afim da busca pela sustentabilidade, engenheiros, técnicos e gestores devem proporcionar o acesso e a simplificação de técnicas para o bem-estar de todos.

7-2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A primeira proposta por esse trabalho pode motivar novas pesquisas nas áreas de instalações sustentáveis e aproveitamento de água de chuva. Este é um universo amplo a ser explorado e há uma necessidade urgente por novas ideias e conceitos. A partir deste trabalho pode se presumir que ainda há ramificações a serem aprofundadas como:

- Ao nível do elemento de estudo seria interessante produzir o próprio estudo de caso baseado em um ambiente real, visando uma comparação de resultados reais e suas complicações;
- Estudar e comparar maiores possibilidades de utilização de materiais recicláveis e de baixo custo para um maior acesso à população e melhoria do custo benefício;
- Expandir a área de aplicação do trabalho para outras instalações sustentáveis em conjunto com o proposto pelo trabalho, como exemplo a utilização de placas fotovoltaicas para geração de energia para bomba utilizada no sistema de água de chuva. Outro exemplo é a reutilização de águas cinzas como a água do chuveiro ser utilizada na bacia sanitária;
- Estudar e propor novas soluções para que a instalação do sistema seja mais acessível e barata, a fim de proporcionar uma maior difusão dessa prática na sociedade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

Bertolo, E. Aproveitamento da Água da Chuva em Edificações. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2006.

CASA EFICIENTE. Uso racional da água – Sistema de aproveitamento de água pluvial. Disponível em: <http://www.casaeficiente.com.br>. Acessado em janeiro de 2016.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.copasa.com.br>. Acessado em 12 fevereiro de 2016.

ECOCASA - Soluções residenciais individuais e coletivas. Sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva. Disponível em: <http://www.ecocasa.com.br/>. Acessado em 16 de janeiro de 2016.

Gomes, Heber Pimentel. Sistema de Abastecimento de água: Dimensionamento Econômico e Operação de redes e Elevatórias. Ed. Universitária da UFPB. João Pessoa- PB 2009, 3^o ed.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 de novembro de 2015.

[Http:// www.climatempo.com.br/climatologia/170/ouropreto-mg](http://www.climatempo.com.br/climatologia/170/ouropreto-mg). Acesso em 13 de janeiro de 2016.

[Http://sempresustentavel.com.br/](http://sempresustentavel.com.br/). Acesso em 07 de março de 2016.

LIBÂNIO, Marcelo. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. Ed. Átomo, Campinas, SP, 2010, 3º ed, 494p.

TOMAZ, Plínio. *Previsão de consumo de água*. Ed. Navegar, São Paulo, 2000

TOMAZ, Plínio. *Aproveitamento de Água de Chuva para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis*. Ed. Navegar, São Paulo, 2005, 2ª ed., 180 p.

UNIÁGUA. Universidade da água. Água no Planeta. Disponível em: <http://www.uniagua.org.br>. Acessado em 10 de maio de 2008.