

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO ENGENHARIA CIVIL
CÁSSIO REIS DA SILVA

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA CAPTAÇÃO E REUSO DE ÁGUAS
PLUVIAIS EM RESIDÊNCIAS DE FORMIGA - MG

FORMIGA – MG

2015

CÁSSIO REIS DA SILVA

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA CAPTAÇÃO E REUSO DE ÁGUAS
PLUVIAIS EM RESIDÊNCIAS DE FORMIGA - MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,
como requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi.

FORMIGA – MG

2015

S586 Silva, Cássio Reis da.
Análise técnica e econômica da captação e reuso de águas pluviais em residências de Formiga-MG / Cássio Reis da Silva. – 2015.
59 f.

Orientador: Michael Silveira Thebaldi.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga–UNIFOR-MG, Formiga, 2015.

1. Reúso da água. 2. Aproveitamento pluvial. 3. Coberturas. I. Título.

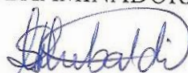
CDD 628.1

CÁSSIO REIS DA SILVA

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA CAPTAÇÃO E REUSO DE
ÁGUAS PLUVIAIS EM RESIDÊNCIAS DE FORMIGA - MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção
do título de bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



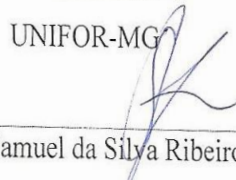
Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Orientador



Prof.^aDra. Kátia Daniela Ribeiro

UNIFOR-MG



Prof. Samuel da Silva Ribeiro

UNIFOR-MG

Formiga, 9 de novembro de 2015.

RESUMO

A água é um recurso natural necessário à vida, porém, o impasse quanto à sua conservação e preservação faz-se relevante, dada a sua decrescente disponibilidade. Neste sentido, os sistemas de aproveitamento de água pluvial são soluções sustentáveis que auxiliam no uso racional da água, conservando esses recursos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi analisar a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da água pluvial para consumo não potável em edificações na cidade de Formiga/MG, comparando as diferenças técnicas entre a captação em telhados convencionais, em madeira, e em estrutura metálica, realizando o dimensionamento hidráulico e de materiais requeridos, efetuando a composição de custos e análise econômica dos sistemas de captação da água pluvial em ambos os tipos de cobertura. Foi utilizada, como objeto de estudo, uma mesma residência, porém, com coberturas diferentes, que geraram diferentes áreas. Pela análise de dados pluviométricos históricos do município, pode-se estimar a produção média mensal de água pluvial. Além disso, foi estimada a demanda por água não potável, sendo possível, portanto, o dimensionamento do reservatório de armazenamento de água pluvial. Ao dimensionar o volume do reservatório, identificou-se que no telhado convencional de madeira, o Método de Rippl é o mais adequado, enquanto que no telhado em estrutura metálica, o modelo de cálculo mais conveniente é o Método Prático Inglês. Já a análise econômica foi feita através do Método de Payback Simples, constatando que o sistema de aproveitamento de água pluvial não é viável economicamente para a edificação estudada, sendo, entretanto, viável quando se refere à questão ambiental.

Palavras-chave: Reuso da água. Aproveitamento pluvial. Coberturas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 - Perfil do consumo doméstico de água em um apartamento popular na periferia da cidade de São Paulo	15
Gráfico 2 - Precipitação média mensal de Formiga/MG entre os anos de 1925 a 1937 e de 1976 a 2014	42
Gráfico 3 - Perfil do consumo de água pluvial da residência na cidade de Formiga/MG	44
Figura 1 - Esquema de coleta de água de pluvial	20
Figura 2 - Área de coleta telhado: comprimento x largura.....	21
Figura 3 - Área de coleta laje: comprimento x largura.....	21
Figura 4 - Área de coleta telhado e pátio: comprimento x largura	22
Figura 5 - Calhas com grades	22
Figura 6 - Filtro VF1 de água de chuva.....	23
Figura 7 - Descarte da 1ª água utilizando tonel	24
Figura 8 - Reservatório de auto limpeza com boias de nível.....	25
Figura 9 - Fachada da residência com telhado convencional em madeira.	32
Figura 10 - Fachada da residência com cobertura em estrutura metálica.....	32
Quadro 1 - Variação da qualidade da água da chuva devido à área de coleta.....	28
Quadro 2 - Diferentes qualidades de água para diferentes aplicações	28
Quadro 3 - Técnicas de tratamento da água da chuva em função da localização.....	29
Quadro 4 - Frequência de manutenção	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demanda residencial não potável.....	18
Tabela 2 - Faixa do coeficiente de escoamento superficial para cada tipo de material por diferentes autores.....	20
Tabela 3 - Parâmetros de qualidade de água para usos restritivos não potáveis	27
Tabela 4 - Área de captação pluvial	41
Tabela 5 - Parâmetros de ajuste para a cidade de Formiga/MG, utilizando o software Plúvio 2.1	42
Tabela 6 - Demanda interna, demanda externa e demanda total da residência mensal.....	43
Tabela 7 - Estimativa da produção de água pluvial mensal no telhado convencional de madeira e de estrutura metálica	44
Tabela 8 - Volume de água descartado nos diferentes tipos de cobertura.....	45
Tabela 9 - Vazão de projeto e dimensão da calha semicircular nos dois tipos de cobertura....	45
Tabela 10 - Dimensões dos condutores horizontais e verticais dos dois tipos de cobertura	46
Tabela 11 - Volume do reservatório com o Método de Rippl utilizando a demanda total e a demanda interna.....	46
Tabela 12 - Volume do reservatório com o Método Prático Brasileiro.	47
Tabela 13 - Volume do reservatório com o Método Prático Inglês	47
Tabela 14 - Estimativa da produção de água pluvial através do Método Prático Australiano no telhado convencional de madeira e no telhado em estrutura metálica	48
Tabela 15 - Volume do reservatório com o Método Prático Australiano utilizando a demanda total, demanda interna, somente a demanda externa e a confiança do sistema	49
Tabela 16 - Síntese dos volumes calculados por diferentes métodos para o estudo de caso em edifício de diferentes tipos de cobertura.....	50
Tabela 17 - Quantidade, valor total e resultado da média dos valores unitários dos materiais no telhado convencional de madeira	54
Tabela 18 - Quantidade, valor total e resultado da média dos valores unitários dos materiais no telhado em estrutura metálica	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
C	Coeficiente de escoamento
CESAN	Companhia Espírito Santense de Saneamento
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
h	Hora
hab	Habitante
i	Intensidade media
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K,a,b,c	Constantes de ajustes locais
km ²	Quilômetro quadrado
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
l	Litro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mg	Miligramas
ml	Mililitro
mm	Milímetro
Nº	Número
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
P	Precipitação
PBD	Método de Payback Descontado
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PVC	Policloreto de vinil
Q	Vazão
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

T	Período de retorno
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos
TIR	Método da Taxa Interna de Retorno
TR	Tempo de retorno
UFV	Universidade Federal de Viçosa
uH	Unidade de Hazen
uT	Unidade de turbidez
V	Volume
VF1	Filtro
VLP	Valor Presente Líquido
X	Número de horas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Geral	12
2.2 Específicos	12
4 REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1 Recursos Hídricos no Brasil	13
4.2 Reaproveitamento hídrico a nível residencial	14
4.3 Sistemas hidráulicos de reuso de águas pluviais	16
4.3.1 Critérios de projeto	17
4.3.2 Componentes	20
4.3.3 Qualidade da água	26
4.4.3 Tratamento de água	27
4.4 Análise de viabilidade econômica	30
5 MATERIAL E MÉTODOS	31
5.1 Área de estudo	31
5.2 Levantamento de dados	31
5.2.1 Objeto de estudo	31
5.2.2 Áreas de captação	33
5.2.3 Dados Pluviométricos	33
5.2.4 Demanda do consumo de água para fins não potáveis	34
5.3 Estimativa da produção de água pluvial	35
5.5 Calhas e tubulações	36
5.7 Sistema de bombeamento	39
5.8 Análise econômica	40
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1 Áreas de captação	41
6.1.1 Dados Pluviométricos	41
6.1.2 Demanda do consumo de água para fins não potáveis	42
6.2 Estimativa da produção de água pluvial	44
6.3 Descarte da água da primeira chuva	45
6.4 Calhas e tubulações	45
6.5 Reservatório de água pluvial	46

6.5.1 Método de Rippl	46
6.5.2 Método Prático Brasileiro (Método Azevedo Neto).....	47
6.5.3 Método Prático Inglês	47
6.5.3 Dimensionamento do reservatório Método Prático Australiano	47
6.5.4 Escolha do método a ser utilizado	49
6.8 Sistema de bombeamento.....	53
6.9 Análise econômica	53
7 CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A água apresenta grande importância no desenvolvimento da humanidade, além de ser um recurso vital insubstituível. É um fator de produção relevante para diversas atividades, tornando essencial para o desenvolvimento econômico e tecnológico. Logo, a sua escassez, é um grande problema para a sociedade.

O planeta é praticamente todo coberto por água e seu volume se divide em rios, mares, oceanos e águas subterrâneas. Todo esse montante de água ocupa cerca de $2/3$ da superfície terrestre, sendo a maior parte salgada, que se encontra nos mares e oceanos, e uma menor parte sendo potável para consumo, e desse montante, a maior parte se encontra em geleiras as quais é de difícil acesso.

Em termos globais, o Brasil apresenta uma situação estável quanto aos recursos hídricos. Apesar dessa aparente estabilidade, existe uma distribuição espacial desigual destes no território brasileiro. Sua maior parte está concentrada na região Amazônica; em compensação, nas regiões Sudeste e Nordeste encontra-se uma menor parcela de água. Desta forma, percebe-se a necessidade da utilização de novas técnicas para conservação da água.

O aproveitamento de água da chuva é uma alternativa que visa suprir a demanda da população em relação ao uso de água para fins não potáveis. A água pluvial pode ser utilizada em descarga de vasos sanitários, irrigações de jardins, lavagem de roupas, de calçadas e de automóveis, entre outros. Com o sistema de captação da água pluvial é possível reduzir o consumo de água potável, minimizar alagamentos, enchentes, racionamentos de água e preservar o meio ambiente, reduzindo a escassez dos recursos hídricos.

Existem no Brasil e no mundo várias pesquisas e programas relacionados à implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial, para o uso racional e conservação da água em edificações, focalizando principalmente novos conceitos de aproveitamento de água de chuva. Porém, poucos estudos relacionam-se exclusivamente à implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em diferentes tipos de cobertura.

Com isso, uma análise da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da água pluvial para consumo não potável em edificações com diferentes tipos de cobertura, possibilitaria comparar as diferenças técnicas entre a captação em telhados convencionais em madeira e em estrutura metálica, realizar o dimensionamento hidráulico e de materiais requeridos em ambos os tipos de cobertura, e realizar a composição de custos e análise econômica dos sistemas de captação da água da chuva em cobertura metálica e de madeira.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da água pluvial para consumo não potável em edificações na cidade de Formiga/MG.

2.2 Específicos

- Comparar as diferenças técnicas entre a captação em telhados convencionais em madeira e em estrutura metálica;
- Realizar o dimensionamento hidráulico e de materiais requeridos em ambos os tipos de cobertura;
- Avaliar diferentes métodos de dimensionamento do reservatório de água pluvial e sua aplicabilidade;
- Realizar a composição de custos e análise econômica dos sistemas de captação da água da chuva em cobertura metálica e de madeira.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Recursos Hídricos no Brasil

Os recursos hídricos são as águas superficiais ou subterrâneas disponíveis para uso. Atualmente, várias regiões apresentam escassez desse recurso, gerando assim problemas no abastecimento.

De acordo com a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2013), em termos globais, o Brasil apresenta uma situação estável quanto aos recursos hídricos. Entretanto, no território brasileiro, apesar desse aparente conforto, existe uma distribuição espacial desigual desse recurso. Aproximadamente 80% da disponibilidade de água está concentrada na região hidrográfica Amazônica, que apresenta o menor contingente populacional e valores reduzidos de demandas consuntivas, ou seja, retiram uma menor quantidade de água das fontes naturais.

A região do Brasil que mais sofre com a escassez de água é o Nordeste, sendo que os habitantes do semiárido são os mais afetados. Pesquisas realizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) mostram que as chances dos agricultores terem boas colheitas são menores (ANA, 2013).

Devido às irregularidades climáticas, ao crescimento populacional e à degradação dos mananciais, a falta de água potável aumenta ano a ano. Houve um aumento na retirada de água dos rios, aquíferos e outras fontes, enquanto que o consumo dobrou e a população triplicou, desde o ano 1950 até o ano 2000. Cerca de 8% da população mundial está vulnerável à falta frequente de água e aproximadamente 25% está caminhando para isso (BRASIL, 2006).

O Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água é o principal órgão brasileiro voltado para a conservação de água potável, coordenado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades. Seu principal objetivo é promover o uso racional da água de abastecimento público das cidades, beneficiando a saúde pública, saneamento ambiental e eficiência dos serviços (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2014).

Além disso, visa também definir e implementar um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, para uma efetiva economia dos volumes de água demandados para consumo nas áreas urbanas, consolidados em publicações técnicas e cursos de capacitação.

A crise hídrica não ocorre apenas por fatores climáticos e geográficos, mas, sobretudo do uso irregular da água. As principais causas do problema são: o fato da água não ser tratada corretamente, a falta de união entre a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e as demais políticas públicas, a falta de saneamento básico e o uso incorreto da água potável (ANA, 2013).

O Brasil, para preservar os recursos hídricos e permitir o acesso a eles, deverá promover uma gestão eficiente. Para a obtenção dos marcos regulatórios principais e da capacidade de suporte de cada bacia, é essencial o domínio das necessidades dos diversos usuários e da capacidade de renovação das fontes naturais. (FREITAS, 1999).

O controle do uso dos recursos hídricos é obtido pela redução do consumo, a reutilização e a reciclagem. A redução do consumo está voltada a uma simples economia de água, eliminando vazamentos e diminuindo o gasto domiciliar, industrial e agrícola. A reutilização é o uso de água já utilizada para certa função, mesmo que seja reduzida a qualidade inicial; o reaproveitamento é feito antes que a água chegue à rede de esgoto. A reciclagem diz respeito ao reaproveitamento da água que passou pela rede de esgoto e por uma estação de tratamento (ANA, 2013).

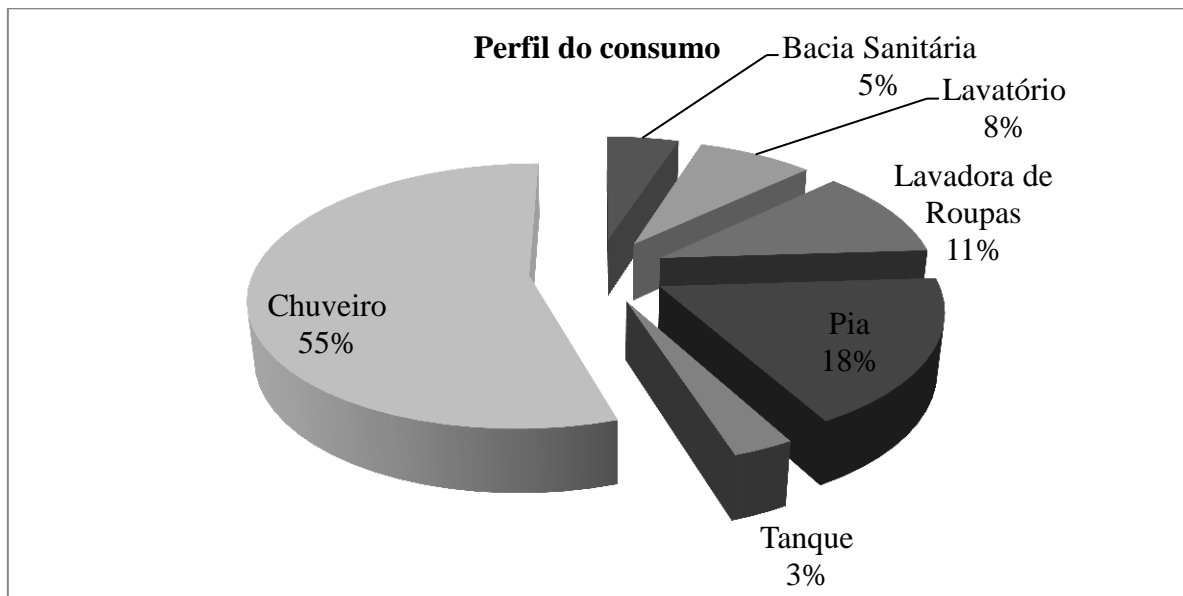
4.2 Reaproveitamento hídrico a nível residencial

O trajeto da água em uma área urbana, nas suas diversas utilidades, é somente uma etapa de um sistema muito maior representado pelo ciclo da água na natureza. A esse subsistema se atribui o nome de “ciclo urbano” da água, que abrange, na atualidade, os sistemas públicos de abastecimento de água, de esgoto sanitário e de administração de águas pluviais (GONÇALVES, 2006).

A água consumida em uma residência abrange o seu uso interno e externo. O uso interno é destinado às atividades de limpeza e higiene, enquanto que o externo compreende a irrigação de jardins, lavagem de áreas externas, lavagem de veículos, piscinas, entre outros.

O GRAF.1 abaixo, demonstra a distribuição do consumo de água em um apartamento popular na periferia de São Paulo.

Gráfico 1 - Perfil do consumo doméstico de água em um apartamento popular na periferia da cidade de São Paulo.



Fonte: (ANA, 2005).

De acordo com Gonçalves (2006), cerca de 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis. Contudo, estabelece um modelo de abastecimento de rede dupla de água, sendo uma rede de água potável e outra de aproveitamento de água de chuva ou de reuso. A conservação desse recurso hídrico, através da redução do consumo de água potável, seria garantida.

Ainda segundo o mesmo autor, junto ao desenvolvimento de pesquisas tecnológicas, encontra-se um impulso de ações conservacionistas no uso doméstico principalmente em edifícios de usos públicos, tais como *shopping centers*, aeroportos, estações rodoviárias, entre outros. Tem-se observado o reuso, a medição individualizada, o aproveitamento de água de chuva, a utilização de aparelhos sanitários economizadores, em edifícios e apartamentos.

A água é um elemento essencial que contribui para a promoção do desenvolvimento e da qualidade de vida, porém é um recurso finito e vulnerável que deve ser utilizado racionalmente. O uso de fontes alternativas e de estratégias de uso racional de água em edificações é uma forma de amenizar os problemas de disponibilidade de água potável e diminuir a sua demanda. Dentre estas estratégias pode-se citar o aproveitamento de água pluvial, o reuso de água cinza e a instalação de componentes economizadores de água (LABEEE, 2014).

Para J6 (2011), no que diz respeito ao cenário atual, a construção civil está evoluindo quanto ao conceito de sustentabilidade, principalmente em países industrializados, visando uma melhoria da qualidade de vida dos usuários e a qualidade do ambiente. Em questão da

água, medidas como estas tem como meta principal a redução do uso da água potável. Metas de etiquetagem ou selos verdes vêm sendo atribuídos a edifícios como forma de incentivo a eficiência energética, garantindo assim um diferencial importante no seguimento.

4.3 Sistemas hidráulicos de reuso de águas pluviais

Segundo Gonçalves (2006), um sistema hidráulico de reuso de águas pluviais, apresenta características únicas e atende o princípio do saneamento ecológico, não dependendo de um sistema centralizado. A utilização deste garante autossuficiência e contribui para a conservação da água.

O mesmo autor ainda salienta que armazenar águas pluviais não é apenas conservar a água, mas também energia, pois o consumo necessário para operação de uma estação de tratamento de água, o bombeamento e as operações de distribuição entre reservatórios, tem um consumo considerado de energia. Pesquisas evidenciam que o custo energético tem se apresentado num montante aproximado de 25% a 45% do valor total das operações de abastecimento de água. O aproveitamento da água da chuva também diminui a erosão local e as enchentes ocasionadas pela impermeabilização de áreas como coberturas, telhados e pátios.

O sistema de aproveitamento de águas pluviais é descentralizado e alternativo de abastecimento de água, objetivando a conservação dos recursos hídricos, diminuindo a procura e o gasto de água potável.

O aproveitamento de um sistema de coleta consiste de maneira geral, na captação da água pluvial sobre os telhados ou lajes da edificação. A água é direcionada até o local de armazenamento através de calhas, condutores horizontais e verticais, passando por equipamentos de filtragem e descarte de impurezas. É utilizado um dispositivo que desvia as águas das primeiras chuvas. A água é armazenada frequentemente em reservatório enterrado, e bombeada a um segundo reservatório, do qual as tubulações específicas de água da chuva irão distribuí-la para o consumo não potável (MARINOSKI, 2007).

Conforme Jó (2011), o crescimento dos índices de urbanização e da contaminação do ar, propicia a necessidade da implementação de métodos de segurança para se obter uma melhor da qualidade da água. Esses elementos não se destinam apenas a retirada de poeira, galhos e folhas, adicionam também formas de descarte de água da primeira chuva, filtros e sistemas de desinfecção, objetivando a garantia sanitária, obtendo águas de boas qualidades. A coleta e aproveitamento de água de chuva, feitos corretamente, propiciará uma água de

qualidade adequada aos usos previstos, preservando os recursos hídricos e energéticos do meio.

Os sistemas das águas pluviais devem ser projetados de forma sistêmica, sempre objetivando o equilíbrio sustentável do meio urbano inserido no meio ambiente. O reuso e o aproveitamento de águas pluviais podem ser utilizados para fins não potáveis nas cidades, tais como rega, limpeza e lavagem de ruas, ou mesmo em descargas de bacias sanitárias de banheiros públicos (BARRETO, 2008).

4.3.1 Critérios de projeto

O procedimento básico para um sistema de coleta, tratamento e uso de água de chuva envolve as seguintes etapas, segundo ANA, (2005).

- Identificação dos usos da água (demanda);
- Determinação da precipitação média local (mm/mês);
- Determinação da área de coleta;
- Determinação do coeficiente de escoamento;
- Caracterização da qualidade da água pluvial;
- Projeto do reservatório de descarte;
- Projeto dos sistemas complementares (grades, filtros, tubulações);
- Escolha do sistema de tratamento necessário;
- Projeto da cisterna.

A estimativa da demanda é fundamental para determinar o tamanho do reservatório. Vários fatores devem ser observados: população residente, hábitos de usos e tipos de consumo aos quais será destinada a água pluvial. Os valores mais usuais para fins não potáveis em uma residência são apontados na TAB 1.

Tabela 1- Demanda residencial não potável.

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

Fonte: (GONÇALVES, 2006).

A precipitação média anual do local deve ser estabelecida em função de dados mensais publicados em nível nacional, regional ou local. Determinar o regime de chuva local, durante o ano e a variação ano a ano serão decisivos no dimensionamento do reservatório, pois os índices pluviométricos ao longo do ano permitem determinar o volume do reservatório (COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008).

A área de coleta deve ser determinada pela quantidade de água que poderá ser captada em função da área disponível. No caso de telhados, que são normalmente inclinados em projeção horizontal, deve ser de acordo com a NBR-10844 (ABNT, 1989): Instalações prediais de águas pluviais (ANA, 2005).

O coeficiente de escoamento superficial é determinado em função do material e do acabamento da área de coleta. Conforme Tomaz (2003), o melhor valor a ser adotado como coeficiente de escoamento superficial para o Brasil é (C=0,80). A TAB 2 a seguir mostra os valores encontrados para C de acordo com o material empregado.

Tabela 2 - Faixa do coeficiente de escoamento superficial para cada tipo de material por diferentes autores.

Material	Faixa de C	Fonte
Telha Cerâmica	0,8 - 0,90	Holkes e Fraiser apud Tomaz (2003)
	0,75 - 0,90	Van den Bossche apud Vaes e Berlamont (1999)
	0,56	Khan apud May (2005)
Telha Metálica	0,70 - 0,90	Holkes e Fraiser apud Tomaz (2003)
	0,85	Khan apud May (2005)
Telha Esmaltada	0,80 - 0,90	Van den Bossche apud Vaes e Berlamont (1999)
Cobertura de PVC	0,94	Khan apud May (2005)
Betume	0,80 - 0,95	Van den Bossche apud Vaes e Berlamont (1999)
Telhados Verdes	0,27	Khan apud May (2005)

Fonte: (GONÇALVES, 2006)

A caracterização da qualidade da água pluvial, de acordo com a ANA (2005) deve ser realizada utilizando sistemas automáticos de amostragem, para posterior caracterização através das variáveis consideradas relevantes em nível local. A melhor opção é de ser feita após períodos variáveis de estiagem, tornando um requisito importante para o cálculo do reservatório de descarte.

O reservatório de descarte deve fazer retenção temporária e posterior descarte da água coletada na fase inicial da precipitação. Para determinar os volumes leva-se em conta qualidade da água durante as fases iniciais de precipitação, que ocorrem após períodos de estiagem. Recomenda-se o descarte de 1 mm de água (GONÇALVES, 2006).

O dimensionamento das calhas deve seguir os critérios da NBR 10.844 (ABNT, 1989), Instalações Prediais de Águas Pluviais, assim como os condutores verticais e horizontais que compõem o sistema de instalação pluvial.

Cohim, Garcia e Kiperstok (2008) citam que o reservatório de armazenamento destina-se à retenção das águas pluviais coletadas, sendo o item mais oneroso do sistema de captação, devendo ser dimensionado de forma bastante criteriosa. Seu custo pode representar entre 50% e 85% do valor total de um sistema de captação de água de chuva.

A NBR 15527 (ABNT, 2007), que apresenta os requisitos para aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis, aprovada em setembro de 2007, contém alguns métodos para dimensionamento de reservatório para água pluvial, são eles: Método de Rippl, Métodos empíricos (Brasileiro, Alemão e Inglês) e Simulações.

Oliveira (2008) relata que o Método de Rippl foi um método desenvolvido no final do século XIX. Seu objetivo é calcular o volume do reservatório necessário para garantir uma vazão regular e constante durante épocas de estiagem. Nesse método, podem-se usar as séries

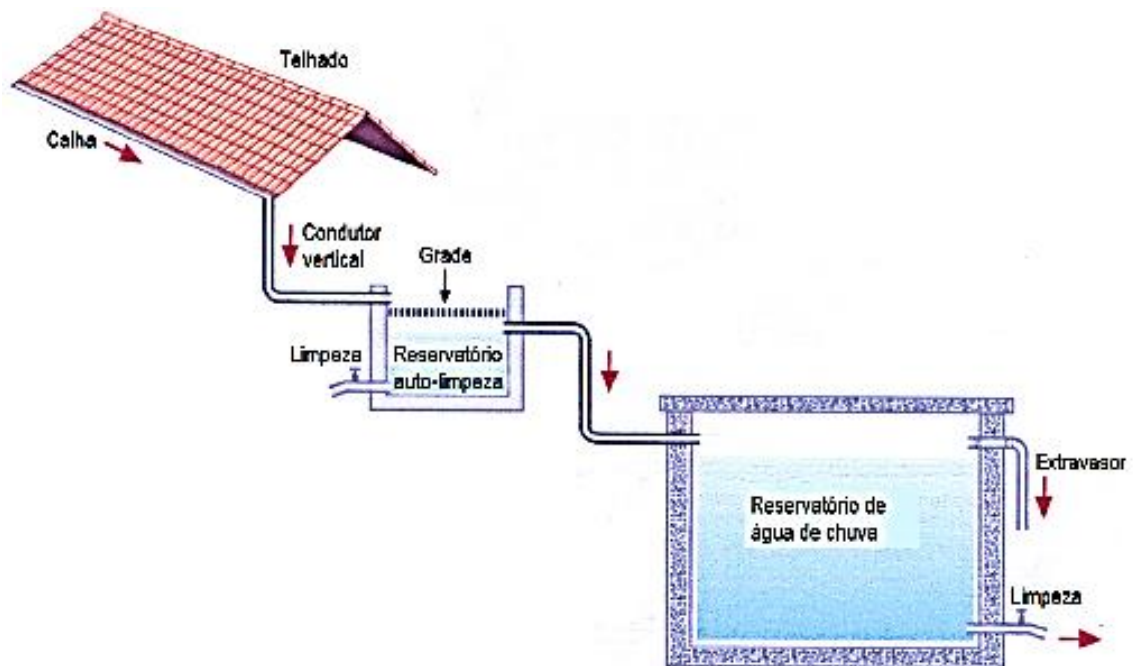
históricas mensais ou diárias; a utilização de dados mensais implicará em reservatórios maiores, assim, quando possível, recomenda-se utilizar dados diários.

No entanto, na maioria das vezes, estes métodos são inadequados devido à generalização de uma série de grandezas de elevada variabilidade como a precipitação pluviométrica, a demanda de água potável e pluvial, ocasionando um superdimensionamento de reservatórios, os quais são responsáveis por cerca de 80% do custo inicial total de um sistema de aproveitamento de água pluvial (ROCHA, 2009).

4.3.2 Componentes

Os componentes básicos necessários para captação e aproveitamento de água pluvial são área de captação, calhas, condutores, dispositivos para descarte da água de lavagem do telhado e o reservatório, conforme a FIG. 1.

Figura 1 - Esquema de coleta de água de pluvial



Fonte: May (2004).

A superfície de captação é composta de telhados, pátios e outras áreas impermeáveis. A dimensão desta está relacionada à quantidade de água de chuva possível a ser aproveitada; o material da qual é formada exerce influência na qualidade da água recolhida e nas perdas

por evaporação e absorção. Para captação os telhados são mais utilizados, pois garantem uma melhor qualidade da água (COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008), conforme a FIG. 2.

Figura 2 - Área de coleta telhado: comprimento x largura



Fonte: May (2004).

As lajes também podem ser superfícies de captação de água pluvial, de acordo com a FIG. 3.

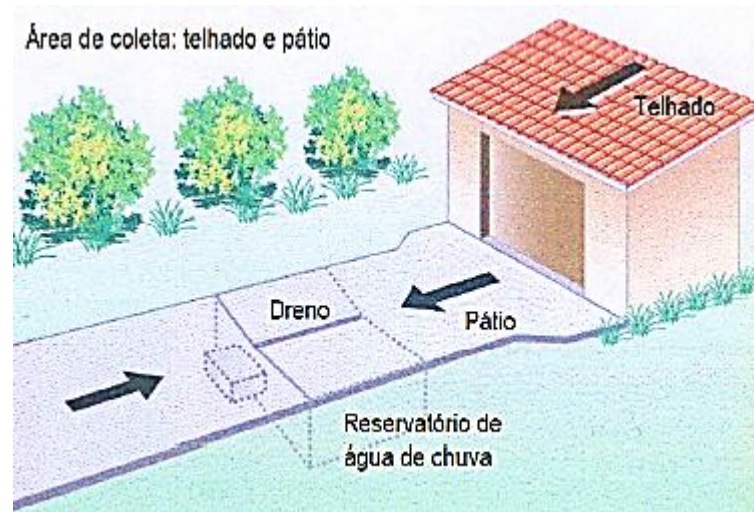
Figura 3 - Área de coleta laje: comprimento x largura



Fonte: May (2004).

Dependendo do uso final da água coletada e do tratamento a ser aplicado, a coleta de água pode ser feita através do telhado junto ao pátio, como na FIG. 4.

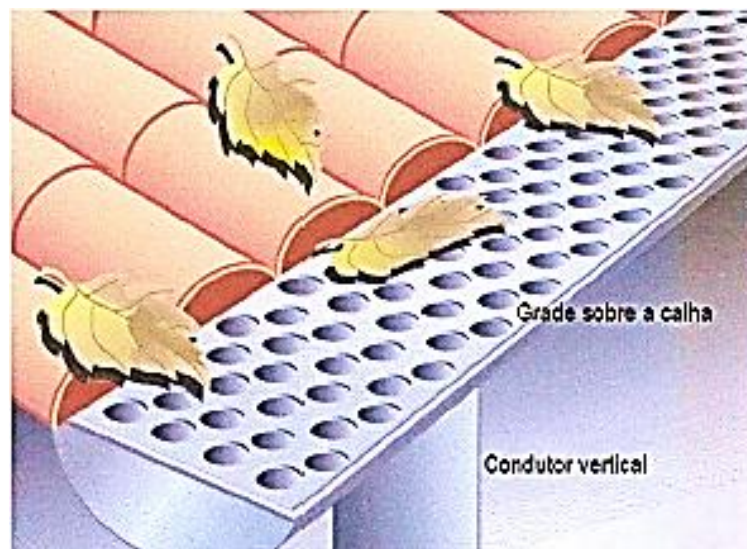
Figura 4 - Área de coleta telhado e pátio: comprimento x largura



Fonte: May (2004).

Outro componente necessário para captação são peneiras, que impedem que materiais grosseiros entrem nos condutores, entupindo-os. Para isso utilizam-se dispositivos na saída da calha, como uma grade que percorre toda a calha ou uma grade na entrada de água do reservatório (MAY, 2004), conforme a FIG. 5.

Figura 5 - Calhas com grades



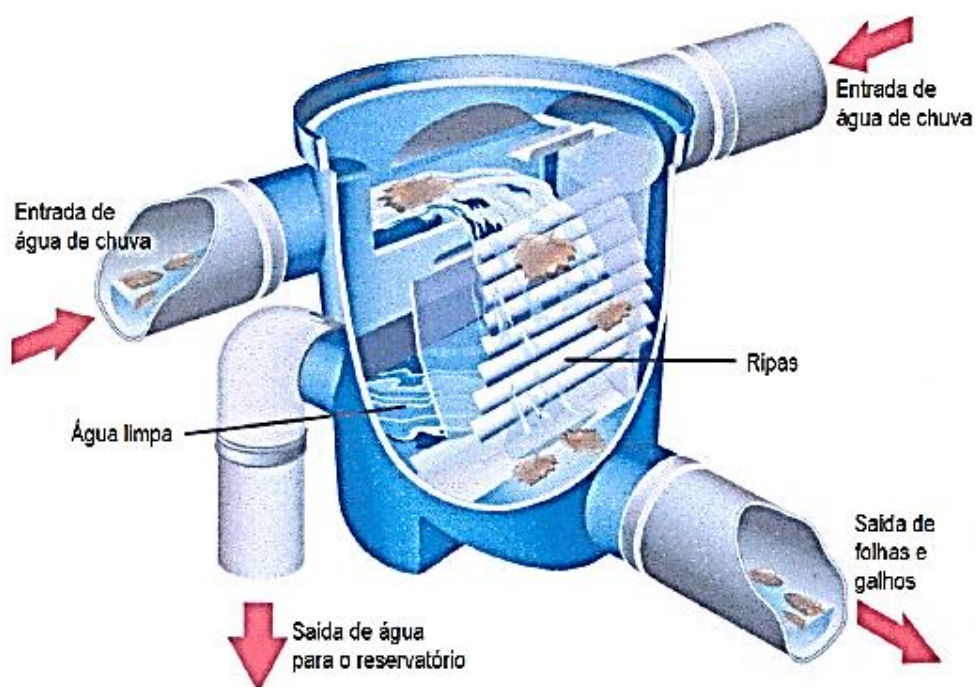
Fonte: May (2004).

Calhas e tubulações são os componentes que recolhem a água da chuva da área de captação e a transporta até o reservatório; são encontrados em diferentes materiais, sendo os mais utilizados em PVC e metálicos (alumínio e aço galvanizado). Toda a tubulação que fizer parte desse sistema deve estar evidenciada com cor diferente e avisos de que essa transporta

água de chuva, evitando conexões cruzadas com a rede de água potável (COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008).

Segundo May (2004), o filtro VF1, dispositivo de descarte de água de limpeza do telhado, é também uma alternativa, pois funciona da seguinte maneira: a água da chuva passa pelo condutor horizontal e desce pelo condutor vertical, passa pelo filtro onde ocorre a separação dos componentes como folhas e galhos. As entradas e saídas do filtro são facilmente conectadas aos tubos de PVC comuns. Na FIG. 6 pode-se observar o dispositivo

Figura 6 – Filtro VF1 de água de chuva



Fonte: May (2004).

O filtro para água pluvial VF1 foi projetado para atender a um volume maior de área de telhado (até 200 m²). O filtro suporta até duas entradas de água para filtragem sendo estas opostas, o que diminui a necessidade de arranjos hidráulicos. Graças a seu sistema duplo de limpeza (peneira grossa, depois fina) ele possui uma grande eficácia, independente da vazão. Foi desenvolvido para ser instalado diretamente sob o solo, não exigindo a construção de nenhuma proteção em alvenaria, recomendando-se apenas que seja preservado o acesso a sua tampa superior, de maneira que possa ser feita uma inspeção esporádica em seu interior (ECO CASA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, 2015).

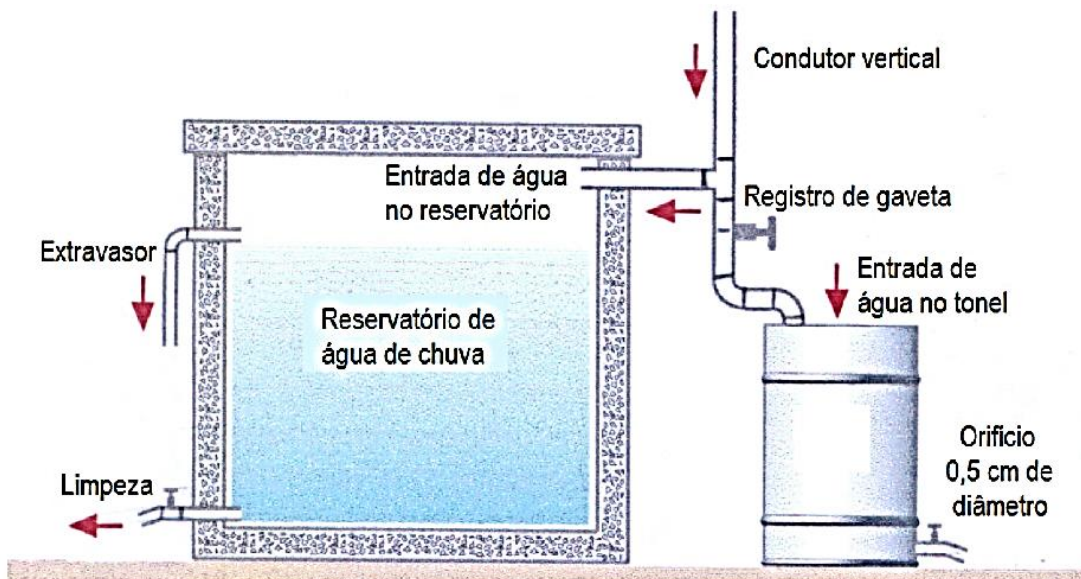
Em várias pesquisas, tem-se observado que a primeira chuva é a mais poluída, pois ela lava a atmosfera e a superfície de captação. A água da chuva inicial pode ser desviada do reservatório de forma manual ou de forma automática através de dispositivos de autolimpeza,

onde são retidas em reservatórios temporários para ser posteriormente descartadas. (GONÇALVES, 2006).

O dimensionamento de um sistema de descarte utiliza uma regra simples segundo Tomaz (2003), como por exemplo, na Flórida (EUA), para cada 100 m² de área de telhado, descarta-se 40 litros, ou seja, 0,4 l/m², contudo, no Brasil, mais especificamente na região de Guarulhos, usa-se 1,0 l/m² ou 1 mm de chuva por metro quadrado, como coeficiente de descarte.

Diversas técnicas são empregadas para o descarte da primeira água. Dentre as mais usadas está um sistema simples que utiliza tonéis com sistema de registro de gaveta até o uso de reservatório de autolimpeza com torneira de boia de fechamento. A FIG.7 demonstra o sistema simples que utiliza tonéis.

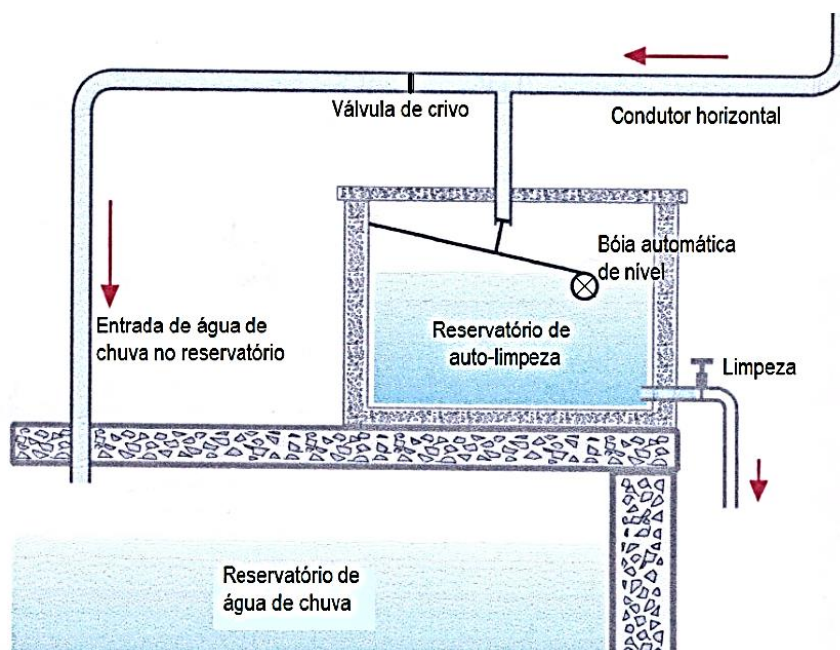
Figura 7 – Descarte da 1ª água utilizando tonel



Fonte: J6 (2011).

O reservatório de autolimpeza com torneira de boia de fechamento conforme a FIG. 8 recebe a água da chuva até atingir a posição limite implicando no fechamento automático da torneira boia.

Figura 8 - Reservatório de autolimpeza com boias de nível



Fonte: Jó (2011).

Segundo Cohim, Garcia e Kiperstok (2008), as bombas e sistemas pressurizados são dispositivos usados quando os pontos de utilização estão em cotas superiores à do nível de água no reservatório principal. Mas, vale ressaltar que durante a instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial, deve-se buscar a utilização de reservatórios elevados e o encaminhamento da água coletada diretamente para este, evitando assim um possível bombeamento e aumentando à eficiência energética do sistema.

O reservatório é o local onde será armazenada a água; é considerado como o principal elemento do projeto. Um reservatório adequado ao armazenamento de água pluvial, por longos períodos, necessita apresentar pouca variação de temperatura interna, bloqueio de entrada de luz solar para evitar a proliferação de algas, sustentação estrutural quando permanecerem vazias durante períodos de estiagem, impermeabilidade e resistência a vazamentos (ECO CASA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, 2015).

Diversos materiais podem ser utilizados na fabricação dos reservatórios, sendo necessário avaliar em cada caso aspectos como: capacidade, estrutura necessária, viabilidade técnica, custo, disponibilidade local. Os tipos mais comuns são a cisterna em polietileno, metálica, alvenaria e de placas semienterradas (COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008).

Quando necessário o bombeamento, este deve atender à NBR 12214 (ABNT, 1992). Devem ser constatadas as recomendações das tubulações de sucção e recalque, velocidades mínimas de sucção e seleção do conjunto motor-bomba. Pode ser colocado, junto à bomba centrífuga, o dosador automático.

As bombas são as máquinas encarregadas pelo andamento da água de um local ao outro quando não se existe a força de gravidade para este fim. As bombas adquirem energia mecânica e a transforma para energia de pressão e/ou energia cinética. Existem três conceitos de funcionamento de bomba: centrífuga, rotativas e alternativas. As centrífugas são as mais utilizadas devido ao preço reduzido, à simplicidade e facilidade do sistema operacional. (BACK, 2006).

O realimentador automático de água da rua na ausência das chuvas é essencial para que o sistema não gere desabastecimento, deste modo, basta que seja instalado um realimentador automático, que dever ser regulado para assegurar o suprimento mínimo de água da rua, até que a chuva retorne e garanta o abastecimento total do sistema. (ECO CASA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, 2015)

4.3.3 Qualidade da água

Jó (2011) descreve que a qualidade da água da chuva deve ser considerada nos três momentos distintos de um sistema de aproveitamento de água de pluvial: a chuva atmosférica, a chuva após passagem pela área de captação e no reservatório de armazenamento. Em cada momento, a qualidade estará associada a fatores ambientais como a localização geográfica (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), a presença de vegetação, as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos), a estação do ano e a presença de carga poluidora, o tipo e condição da área de captação, material do reservatório e condições de manutenção.

Um dos fatores que influencia é a qualidade do ar, pois a interação desse com a chuva gera o fenômeno das chuvas ácidas que causa efeitos danosos. O principal causador desse fenômeno são as atividades industriais e outros processos que liberam gases poluentes. A chuva atua na dispersão desses poluentes e funciona também como agente agregador.

Segundo Oliveira (2008), a própria superfície para a coleta de água também altera as características naturais da mesma, pois a área de captação pode estar contaminada por poeira, fezes de pássaros e de pequenos animais e, dependendo dos materiais usados nas superfícies, pode ocorrer contaminação por alguns produtos químicos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a NBR N° 15.527/2007 (ABNT, 2007), que fornece meios para o aproveitamento de água pluvial em construções urbanas para fins não potáveis, utilizada em descarga de bacias sanitárias, irrigação de

gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios e usos industriais.

Para Cardoso (2009) em questão à qualidade da água, a NBR citada aconselha que essa deverá ser definida pelo projetista de acordo com a utilização prevista. Portanto, alguns parâmetros de qualidade que devem ser cumpridos para usos restritivos não potáveis, que estão apresentados na TAB 3.

Tabela 3 - Parâmetros de qualidade de água para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Período de análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT, <5,0 uT para usos menos restritivos
Cor aparente	Mensal	< 15 uH
pH	Mensal	pH entre 6,0 e 8,0, no caso de tubulações de aço carbono ou galvanizado

Fonte: adaptado de, ABNT, 2007.

A água da chuva que será utilizada como fonte alternativa, apresenta qualidade admissível para fins não potáveis, podendo ser utilizada na lavagem de carros, pisos e calçadas, irrigação dos jardins e descargas dos vasos sanitários, gerando assim um método sustentável (GONÇALVES, 2006).

4.4.3 Tratamento de água

Seguido da eliminação da primeira chuva, alguns componentes ainda continuam na água, fazendo-se necessário a utilização de equipamentos para o seu descarte. Nos usos não potáveis são aplicados métodos de tratamento formados por unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção com cloro ou com radiação ultravioleta. Para níveis potáveis devem ser utilizados métodos mais complexos que proporcionem maior qualidade (GONÇALVES, 2006).

Conforme o QUADRO 1 a seguir, nota-se que o local onde é feita a coleta influencia na qualidade da água.

Quadro 1 - Variação da qualidade da água da chuva devido à área de coleta

Grau de purificação	Área de coleta de chuva	Observações
A	Telhados (lugares não ocupados por pessoas e animais)	Se a água for purificada pode ser consumida
B	Telhados (lugares frequentados por pessoas e animais)	Usos não potáveis
C	Terraços e terrenos impermeabilizados, áreas de estacionamento	Mesmo para usos não potáveis, necessita tratamento
D	Estradas	Mesmo para usos não potáveis, necessita tratamento

Fonte: Gonçalves (2006).

Segundo Gonçalves (2006), deve-se levar em conta estes requisitos de qualidade dependendo das aplicações que se fizer como observado no QUADRO 2.

Quadro 2 - Diferentes qualidades de água para diferentes aplicações.

Uso requerido pela água	Tratamento necessário
Irrigação de jardins	Nenhum tratamento
Prevenção de incêndio, condicionamento de ar	Cuidados para manter o equipamento de estocagem e distribuição em condições de uso
Fontes e lagoas, descargas de banheiros, lavação de roupas e lavação de carros	Tratamento higiênico, devido o possível contato do corpo humano com a água
Piscina/banho, consumo humano e no preparo de alimentos	Desinfecção, para a água ser consumida direta ou indiretamente

Fonte: Gonçalves (2006).

O QUADRO 3 a seguir apresenta técnicas de tratamento da água da chuva em função da localização.

Quadro 3 - Técnicas de tratamento da água da chuva em função da localização.

Técnicas de tratamento		
Método	Local	Resultado
Telas e grades	Calhas e tubo de queda	Previne entrada de folhas e galhos no sistema
Sedimentação	No reservatório	Sedimenta matéria particulada
Filtração		
Na linha de água	Após bombeamento	Filtra sedimentos
Carvão ativado	Na torneira	Remove cloro
Osmose reversa	Na torneira	Remove contaminantes
Camadas mistas	Tanque separado	Captura material particulado
Filtro lento	Tanque separado	Captura material particulado
Desinfecção		
Fervura/ destilação	Antes do uso	Elimina microorganismos
Tratamento químico (cloro ou iodo)	No reservatório ou no bombeamento (líquido, tablete/pastilha ou granulado)	Elimina microorganismos
Radiação ultravioleta	Sistemas de luz ultravioleta devem estar localizados após passagem por filtro	Elimina microorganismos
Ozonização	Antes da torneira	Elimina microorganismos

Fonte: Gonçalves (2006).

Para se obter conservação deve-se realizar manutenção em todo o sistema de aproveitamento de água de chuva de acordo com o QUADRO 4.

Quadro 4 – Frequência de manutenção.

Componente	Frequência de manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal, limpeza trimestral
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Fonte: Adaptado de, ABNT, 2007.

4.4 Análise de viabilidade econômica

A reutilização da água pluvial não somente conserva água, mas também energia. Isso ocorre, pois na operação de uma estação de tratamento de água, o bombeamento e as operações correlatas de distribuição entre reservatórios, há um gasto considerável de energia.

Conforme Gonçalves (2006), a análise da viabilidade econômica tem como objetivo determinar o período de retorno dos gastos com a implantação do sistema de captação de água pluvial. Com isso, é preciso contabilizar os custos de implantação, incluindo material e mão de obra, e custos com despesas de operação e manutenção do sistema, o custo de energia elétrica para o bombeamento de água.

Muito se discute quanto à viabilidade econômica do aproveitamento de água pluvial. Alguns acreditam que pelo fato das chuvas serem concentradas em determinadas épocas do ano, a implantação desse método não é viável. Portanto, várias pesquisas foram e estão sendo realizadas sobre o tema.

A título de ilustração realizou-se a análise de viabilidade econômica do sistema dimensionado pela UFES, proposto para uma residência unifamiliar com demanda de água não potável calculada de 4,9 m³/mês. Para o cálculo do valor da economia de água proporcionada pelo sistema de água de chuva, utilizou-se a tarifa de água cobrada pela CESAN para residência padrão, com consumo acima de 30 m³/mês, que é de R\$ 3,38 (três reais e trinta e oito centavos) por m³ de água. Além disso, a companhia cobra a taxa de esgoto em função do volume de água consumido, cobrando para o mesmo tipo de residência um valor de R\$ 2,71/m³. Portanto, o custo total por m³ de água economizada é de R\$ 6,09 (seis reais e nove centavos). (GONÇALVES, 2006, p.131).

Outro exemplo que mostra a viabilidade econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva é proposto por Campos et al. (2003), onde implantaram um sistema em uma residência na cidade de Ribeirão Preto (SP), cuja área de captação era de 350 m². O reservatório foi dimensionado de modo a suprir as demandas de descarga de vasos sanitários, rega de jardim e lavagem de carros e pisos. O sistema apresentou um valor total de R\$ 4.518,86. O tempo de retorno estimado para esse sistema foi de 6 anos e 9 meses, levando em consideração a economia com a água potável e incluindo o valor da tarifa de esgoto. Se o sistema fosse implantado na capital do estado de São Paulo, onde as tarifas são mais elevadas, o período de retorno do investimento passaria para 5 anos e 9 meses. As referências mostram que o período de retorno médio desses sistemas é cerca de 10 anos.

Mesmo que esse período possa parecer longo e economicamente inviável, a escolha pela implantação de um sistema de aproveitamento em residências, com pequena superfície de captação, não terá o objetivo de economizar dinheiro, mas sim promover o futuro da

sustentabilidade, garantindo a conservação da água e proporcionando um melhor controle de enchentes.

Contudo, para o cálculo do período de retorno do investimento dentre os diversos métodos de avaliação existentes, sugere-se principalmente os seguintes métodos: Método do Payback Descontado (pelos procedimentos de Valor Presente e de Saldo do Projeto) – PBD e Método da Taxa Interna de Retorno - TIR.

O Método do Payback Descontado calcula o tempo gasto para recuperar o investimento remunerado. Seu objetivo é incluir o custo de oportunidade do capital, ou seja, o valor da melhor alternativa abandonada em favor da alternativa escolhida. Neste caso, o valor da melhor alternativa abandonada é calculada pela taxa mínima requerida de juros ou custo de capital (LAPPONI, 1996).

Ainda segundo o mesmo autor, o Método da Taxa Interna de Retorno consiste em atribuir valores de TIR até conseguir que o valor presente líquido (VPL), seja igual a zero. Não é possível colocar em evidência a variável TIR em função das restantes variáveis da fórmula, o único procedimento possível é a aplicação do método de tentativa e erro ou método de aproximações sucessivas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Formiga/MG, que possui uma área de 1501,9015 km² e aproximadamente 65.128 habitantes, segundo o último censo IBGE (2010). A densidade demográfica é de 43,3 habitantes/ km².

Está localizada a 832 metros de altitude, com as coordenadas geográficas do município sendo Latitude: 20° 27' 42" Sul e Longitude: 45° 25' 58" Oeste.

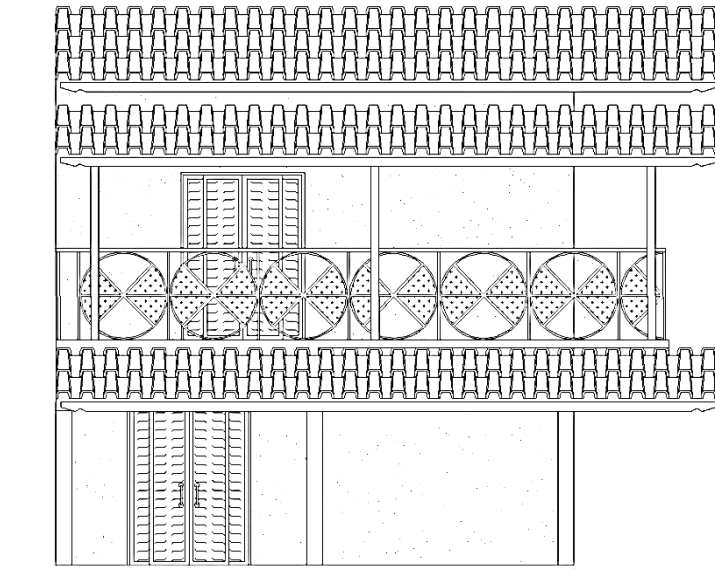
5.2 Levantamento de dados

5.2.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo é uma residência, na qual foi feita a avaliação da mesma com dois tipos de cobertura: uma, com telhado convencional em madeira, e outra, em estrutura

metálica. A fachada da edificação a ser avaliada com o telhado convencional em madeira é apresentada na FIG. 9.

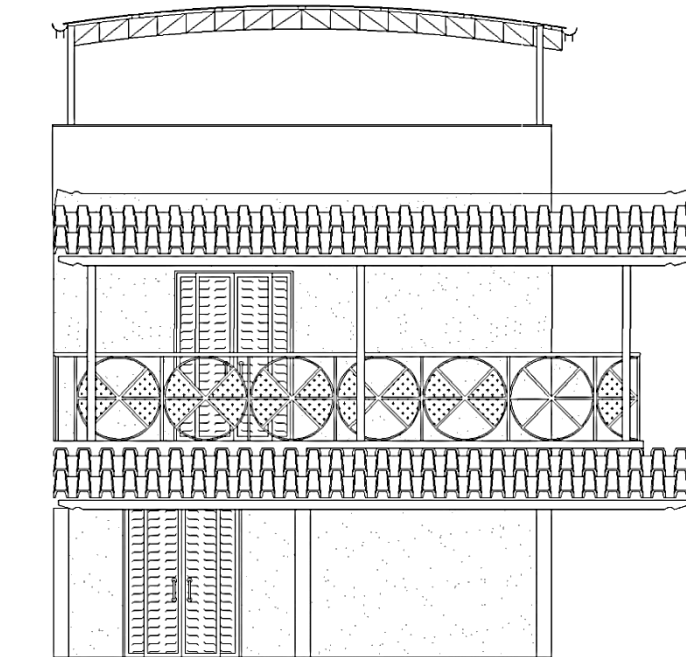
Figura 9 - Fachada da residência com telhado convencional em madeira.



Fonte: O autor (2015)

A residência com cobertura em estrutura metálica apresenta uma fachada conforme a FIG. 10.

Figura 10 - Fachada da residência com cobertura em estrutura metálica.



Fonte: O autor (2015)

5.2.2 Áreas de captação

O cálculo da área de captação de água das coberturas foi realizado de acordo com o preconizado pela NBR 10844 (ABNT, 1989), verificando a planta de cobertura da edificação e inclinação dos telhados.

5.2.3 Dados Pluviométricos

Os dados pluviométricos foram obtidos através da página eletrônica HidroWeb (Sistema de Informações Hidrológicas), principal banco de dados com informações sobre os recursos hídricos, coordenado pela Agência Nacional de Água (ANA); a Rede Hidrometeorológica Nacional, é composta por 4.633 estações pluviométricas, onde são medidas as chuvas. Obtiveram-se os dados referentes às séries históricas de chuva no município de Formiga/MG. Com isso, através de uma planilha eletrônica, pode-se determinar a precipitação mensal.

Para calcular a quantidade de água da chuva que pode ser captada para a utilização de recursos não potáveis foi utilizado o modelo de chuvas intensas equação 1.

$$i = \frac{K \times T^a}{(t + b)^c} \quad (1)$$

Em que:

i - Intensidade média da precipitação intensa, mm h⁻¹;

t - Duração da precipitação, minutos;

T - Período de retorno, anos;

K, a, b, c - Constantes de ajuste locais.

De acordo com a ABNT (1989), o tempo de duração das chuvas deve ser fixado em 5 minutos. Além disso, o tempo de retorno (TR) irá depender das características da área de captação. Como a captação da água da chuva foi feita em coberturas de residências, o TR será de 5 anos.

Para determinar os parâmetros de ajuste, foi utilizado o *software* Plúvio 2.1, elaborado pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2014).

5.2.4 Demanda do consumo de água para fins não potáveis.

A estimativa das demandas não potáveis da residência foi calculada através da soma do consumo total diário, tanto para uso interno como externo, considerando o número de moradores ou usuários. Os valores mais usuais podem ser obtidos na TAB. 1.

Com o objetivo de se calcular as demandas internas, a utilização de água nos equipamentos localizados dentro da residência poderá substituir a água potável pela água de chuva, como por exemplo, o vaso sanitário e a máquina de lavar roupas. O volume de água a ser considerado para cada equipamento varia de acordo com as especificações do fabricante e a frequência de uso dos habitantes. Os valores mais usuais podem ser obtidos no TAB. 1 e a demanda interna é obtida através da equação 2 a seguir.

$$Q_{INT} = Q_{VS} + Q_{ML} \quad (2)$$

Em que:

Q_{INT} - Somatório das demandas internas ($L \text{ dia}^{-1}$);

Q_{VS} - $N \times \text{vol. de água do vaso sanitário} \times \text{n}^{\circ} \text{ de descargas}$ ($L \text{ dia}^{-1}$);

Q_{ML} - $N \times \text{volume de água máquina} \times \text{frequência de lavagem} \times \text{coeficiente de carga}$ ($L \text{ dia}^{-1}$);

N - Número de habitantes da edificação.

Como demanda interna considerou-se somente o vaso sanitário, considerando 6 habitantes na residência, 6 litros por descarga e 5 descargas por habitante. Não foi considerado nesse trabalho a lavagem de roupas.

Nas demandas externas, a água de chuva é utilizada para a rega de jardim, na lavagem de áreas impermeabilizadas, lavagem de carros e na manutenção da piscina. O cálculo dessa demanda deve considerar, além da área e do volume de água, a frequência que os moradores costumam realizar as atividades. O somatório dos volumes de cada uso fornece o valor da demanda externa conforme a equação 3 abaixo.

$$Q_{EXT} = Q_{JD} + Q_{AL} + Q_{PISC} + Q_{LC} \quad (3)$$

Onde:

Q_{EXT} - Somatório das demandas externas ($L \text{ dia}^{-1}$);

Q_{JD} - Área do jardim x volume de água x frequência de uso ($L \text{ dia}^{-1}$);

Q_{AL} - Área impermeável x volume de água x frequência de uso ($L \text{ dia}^{-1}$);

Q_{PISC} - Área da piscina x volume de água x frequência de uso ($L \text{ dia}^{-1}$);

Q_{LC} - Volume de água x nº. de vagas de garagem ocupadas x frequência de lavagem ($L \text{ dia}^{-1}$).

Como demanda externa considerou-se apenas a rega de jardim e a lavagem da área impermeável. O cálculo das demandas para a utilização de água pluviais para fins não potáveis, foi feito através da equação 4.

$$Q_{NP} = Q_{INT} + Q_{EXT} \quad (4)$$

Em que:

Q_{NP} - Somatório das demandas não potáveis (L/dia^{-1}).

Q_{INT} - Somatório das demandas internas de uma residência (vaso sanitário, maquina de lavar roupa), ($L \text{ dia}^{-1}$).

Q_{EXT} - Somatório das demandas externas de uma residência (rega de jardins, lavagem de carros, piso, calçadas), (L/dia^{-1}).

5.3 Estimativa da produção de água pluvial

Após a coleta de dados, foi necessária a estimativa da quantidade de água de chuva a ser captada, a partir da área do telhado, do coeficiente de escoamento superficial e os índices pluviométricos da região. Para essa estimativa, aplicou-se a equação 5.

$$Q_{AC} = \frac{A \times P \times C}{1000} \quad (5)$$

Em que:

Q_{AC} - Volume anual, mensal ou diário de água de pluvial a ser captada (m^3);

A - Área do telhado (m^2);

P - Precipitação anual, mensal ou diária na região (mm);

C - Coeficiente de escoamento.

Para a estimativa da produção de água pluvial adotou-se em ambos os tipos de telhados 0,80 como o coeficiente de escoamento, valor condizente com a TAB. 2.

5.4 Descarte da água da primeira chuva

Apesar do sistema de filtração conseguir reter as partículas sólidas de maior tamanho, a água da chuva ainda traz consigo sujeira bem fina que consegue passar pela tela. Quanto mais tempo sem chuva, mais sujo será o primeiro volume de água, prejudicando toda a água armazenada. Portanto, é muito importante descartar a água da primeira chuva.

Em geral, recomenda-se descartar o primeiro um milímetro de chuva. Porém, em grandes cidades, a quantidade de poluentes e poeira no ar é maior, aumentando também o volume de água a ser descartada. Por isso, recomenda-se o descarte de 2 mm de chuva.

Para calcular o volume de água a descartar, foi utilizado a seguinte Equação 6. Adotando-se um descarte de 2 mm de chuva.

$$V_{DES} = \frac{A \times D_{ES}}{1000} \quad (6)$$

Onde:

V_{DES} - Volume de água a descartar, (m³),

A - Área da superfície (m²),

D_{ES} - Descarte de chuva por metro quadrado de telhado, ficando a critério a escolha da quantidade de descarte (mm).

5.5 Calhas e tubulações

O dimensionamento das calhas seguiu os critérios da NBR 10844/89 (ABNT, 1989), Instalações Prediais de Águas Pluviais, assim como os condutores verticais e horizontais que compõem o sistema de instalação pluvial.

5.6 Reservatório da água pluvial

O reservatório de acumulação da água pluvial é um dos componentes mais importantes de um sistema de aproveitamento de água pluvial, o qual deve ser dimensionado,

principalmente considerando os seguintes fatores: demanda de água pluvial, áreas de captação, precipitação pluviométrica e custos totais de implantação.

Para estimar o volume ideal do reservatório de água pluvial para o presente estudo, fundamentou-se nas áreas de cobertura da edificação, no consumo diário de água per capita, na precipitação da região, no coeficiente de perdas e no percentual de água potável usada para fins não potáveis, que poderia ser substituída por água pluvial.

O volume dos reservatórios foi estimado utilizando os seguintes Métodos: Rippl, Método Prático Brasileiro (Azevedo Neto), Prático Inglês e Prático Australiano. Para posterior verificação de qual método foi mais eficiente.

Foram realizados três dimensionamentos distintos para cada tipo de cobertura, utilizando somente a demanda interna (os vasos sanitários), somente a demanda externa (rega de jardim e limpeza da área impermeabilizada) e utilizando a demanda total.

O Método de Rippl, pode-se utilizar as séries históricas mensais ou diárias. de acordo com a equação 7.

$$S_t = Q_{NP} - Q_{AC} \quad (7)$$

Onde:

S_t - Volume de água no reservatório no tempo (L);

Q_{NP} - Somatório das demandas não potáveis mensal (L);

Q_{AC} - Volume de água de pluvial a ser captada mensal (L).

No Método de Rippl calculou-se a diferença entre as demandas e os volumes de precipitação. Em seguida, foi realizado o somatório dessa mesma diferença, porém somando somente os valores negativos, encontrando assim o volume do reservatório sugerido pelo método.

No Método Prático Brasileiro (Método Azevedo Neto) é desconsiderada a influência da demanda, considerando apenas o volume captado e o período de estiagem. O volume do reservatório foi calculado conforme a equação 8.

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

Onde:

P - Precipitação média anual, (mm);

T - Número de meses de pouca chuva ou seca;

A - Área de captação, (m²);

V - Volume do reservatório, (L).

No Método Prático Inglês, a demanda também não é considerada no cálculo, apenas é considerada a precipitação média anual e a área de captação. O volume do reservatório foi calculado pela equação 9.

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

Onde:

P - Precipitação média anual, (mm).

A - Área de captação, em (m²).

V - Volume do reservatório, (L).

O Método Prático Australiano apresenta sua própria equação para o cálculo do volume mensal de chuva, pois ele considera a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm, conforme a equação 10.

$$Q_t = A \times C \times (P - I) \quad (10)$$

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_t - Volume mensal produzido pela chuva (L).

O cálculo do volume do reservatório foi realizado por tentativas, até que se encontrasse um valor otimizado de confiança. O volume do reservatório foi calculado conforme a equação 11 a seguir.

$$V = V_t + Q_t - D_t \quad (11)$$

Onde:

Q_t - Volume mensal produzido pela chuva no mês t , (L);

V_t - Volume de água que está no tanque no fim do mês t , (L);

V - Volume de água que está no tanque no início do mês t (L);

D_t - Demanda mensal, (L).

Para determinar a confiança do reservatório, utilizou-se a equação 12.

$$C = 1 - \frac{N_r}{N} \quad (12)$$

Onde:

C - Confiança. Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90 % e 99 %;

N_r - 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.

5.7 Sistema de bombeamento

A instalação elevatória foi dimensionada de acordo com a vazão de projeto (consumo diário), que baseia no bombeamento de água de um reservatório inferior para um reservatório superior ou para um reservatório hidropneumático.

Foi aplicada a Equação de Forchheimer (equação 13), para a definição do diâmetro do encanamento de recalque. Após a escolha do encanamento de recalque determinou-se o de sucção que é o comercial superior ao selecionado para o recalque.

$$D_r = K \times \left(\sqrt[4]{\frac{X}{24}} \right) \times \sqrt{Q} \quad (13)$$

Onde:

D_r - Diâmetro de recalque (m);

K - Constante;

X - Número de horas funcionando (horas);

Q - Vazão (m^3/s).

A constante K , segundo Porto (2006) depende dos custos dos materiais, transporte, mão-de-obra, energia elétrica, operação e manutenção do sistema, dentre outras coisas. Portanto, a constante pode não ser fixa, variando de local para local e no tempo, principalmente em regimes econômicos inflacionários. No meio técnico tem-se assumido que o valor do K varia de 0,7 a 1,3. Normalmente no Brasil adota-se K igual a 1,3.

Para definir a bomba a ser utilizada, foi apurada a altura manométrica, que se refere à altura geométrica de elevação, mais as perdas de cargas nominais e localizadas na sucção e no recalque.

Depois de determinar os valores, selecionou-se a bomba mais apropriada de acordo com os catálogos dos fabricantes, no qual os mesmos efetuam testes em laboratórios com suas bombas, estruturam tabelas e traçam curvas que evidenciam a variação de uma grandeza em função de outra, conservando uma terceira grandeza fixa.

5.8 Análise econômica

Considerando a importância ambiental da instalação de um sistema de aproveitamento de água da chuva em uma edificação, é necessário avaliar a relação custo/benefício para a consolidação da possibilidade de instalação desse sistema.

Depois de verificar o potencial de economia da água potável, verificou-se os custos para a implantação e operação do sistema de aproveitamento de água pluvial, e também foi analisado sua viabilidade econômica, seguindo o Método do Payback Simples, de acordo com a equação 14.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Fluxo de caixa}} \quad (14)$$

O Payback é o tempo que o investidor precisa esperar até que os fluxos de caixas acumulados dos projetos igualem ou superem seu investimento inicial. Ou seja, quanto tempo demora para o investidor recuperar o que investiu.

Os custos de implantação e operação do sistema de aproveitamento de água pluvial resumiram-se basicamente em custos com materiais e equipamentos e custos com mão-de-obra. Deste modo, fez-se uma estimativa dos valores de materiais e equipamentos necessários, através de uma pesquisa de preço em pelo menos três lojas de materiais selecionadas aleatoriamente, e para compor o custo e foi feita uma média.

O custo da mão de obra foi obtido segundo as Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO, 2013) em conjunto com o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 2015).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Áreas de captação

A TAB. 3 apresenta o levantamento da área nos dois tipos de cobertura, realizado considerando a planta de cobertura da edificação e inclinação dos telhados.

Tabela 3 - Área de captação pluvial

Tipo de cobertura	Área (m ²)
Telhado convencional em madeira	103,8
Telhado em estrutura metálica	66,5

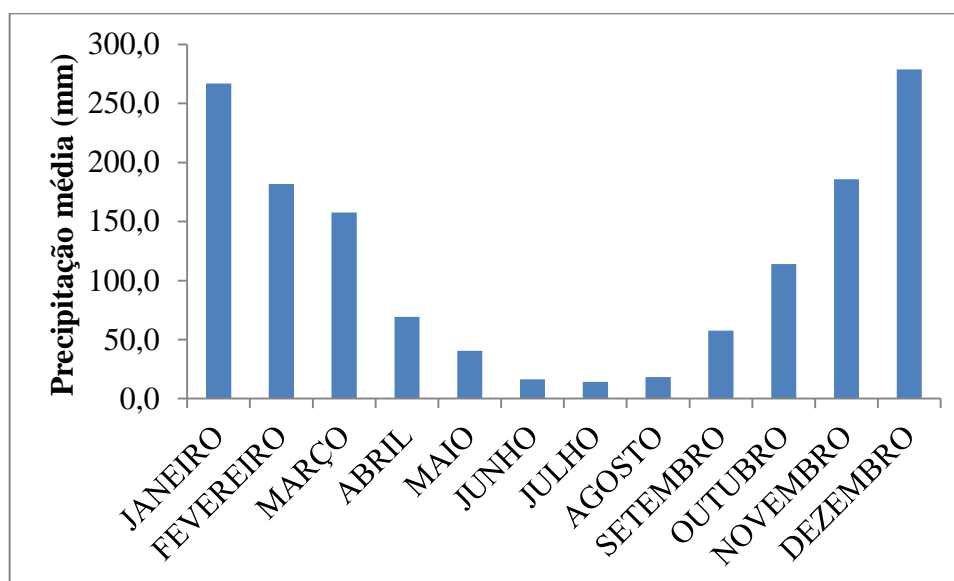
Fonte: O autor (2015).

Considerou-se como área de captação apenas o telhado superior, por serem áreas mais limpas. Caso a água da chuva fosse coletada em outros locais, além do telhado, necessitaria de tratamento, mesmo sendo utilizada para fins não potáveis, em função de conter maior quantidade de poeira, folhas, insetos, além de outros resíduos.

6.1.1 Dados Pluviométricos

O GRAF. 2 apresenta os valores de precipitação média mensal para o município de Formiga – MG, sendo os anos de análise de 1925 a 1937 e 1976 a 2014.

Gráfico 2 - Precipitação média mensal de Formiga/MG entre os anos 1925 a 1937 e 1976 a 2014.



Fonte: O autor (2015).

Para determinar a intensidade de chuva da cidade utilizou-se a equação 1, a partir dos parâmetros de ajuste apresentados na TAB 4. Com isso, obteve-se uma intensidade média máxima de precipitação para Formiga/MG, considerando chuva com tempo de duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 anos, de 161,34 mm/h.

Tabela 4 - Parâmetros de ajuste para a cidade de Formiga/MG, utilizando o software Pluvio2.1.

Constantes de ajuste locais	Valor
K	1320,945
a	0,191
b	1474
c	0,808

Fonte: Pluvio 2.1 (UFV, 2015).

6.1.2 Demanda do consumo de água para fins não potáveis.

Na demanda interna obteve-se um valor de 180 litros de água gastos por dia. Já a demanda externa considerou a limpeza da área impermeabilizada do edifício e a rega de jardins, que apresentou um consumo de 21,76 litros de água por dia. A área impermeabilizada

apresenta 6,1 m²; considerando-se 4 litros de água para cada metro quadrado, e com uma frequência de uso de 12 vezes ao mês, chegando-se a um gasto diário 9,76 litros. O jardim apresenta área de 10 m², sendo utilizado na sua rega, 3 litros de água por metro quadrado, com uma frequência de 12 vezes ao mês, chegando-se a um gasto diário de 12 litros.

A demanda total da edificação é a soma da demanda interna e demanda externa. Os valores estão representados na TAB. 5.

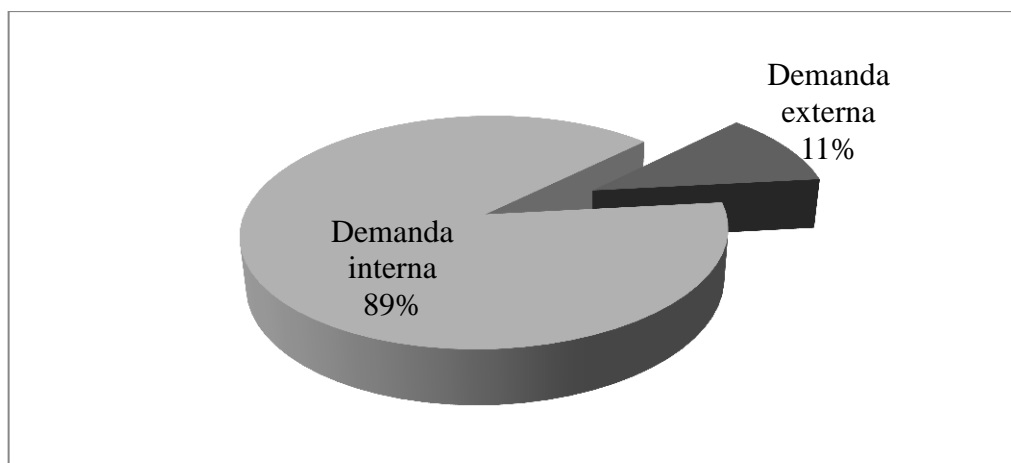
Tabela 5 - Demanda interna, demanda externa e demanda total da residência mensal

Mês	Demanda interna (Litros)	Demanda externa (Litros)	Demanda total (Litros)
Janeiro	5580	674,6	6254,6
Fevereiro	5220	631,0	5851
Março	5580	674,6	6254,6
Abril	5400	652,8	6052,8
Maió	5580	674,6	6254,6
Junho	5400	652,8	6052,8
Julho	5580	674,6	6254,6
Agosto	5580	674,6	6254,6
Setembro	5400	652,8	6052,8
Outubro	5580	674,6	6254,6
Novembro	5400	652,8	6052,8
Dezembro	5580	674,6	6254,6
Total	65880	7964,2	73844,2

Fonte: O autor (2015)

Depois de estimado o consumo total mensal, verificou-se o percentual de consumo entre a demanda externa e a demanda interna. O perfil de consumo da residência é mostrado no GRÁF. 3.

Gráfico 3 - Percentual de consumo entre a demanda externa e a demanda interna.



Fonte: O autor (2015).

6.2 Estimativa da produção de água pluvial

A TAB.6 apresenta os valores do volume mensal de água pluvial a ser captada pelo telhado convencional de madeira e de estrutura metálica.

Tabela 6 - Estimativa da produção de água pluvial mensal no telhado convencional de madeira e de estrutura metálica

Mês	Produção de água (Litros)	
	Telhado convencional de madeira	Telhado de estrutura metálica
Janeiro	22175	14201
Fevereiro	15105	9673
Março	13091	8384
Abril	5765	3692
Mai	3370	2158
Junho	1364	874
Julho	1186	759
Agosto	1528	979
Setembro	4780	3061
Outubro	9473	6067
Novembro	15442	9889
Dezembro	23173	14840
Total	116453	74576

Fonte: O autor (2015).

6.3 Descarte da água da primeira chuva

Os volumes de água a serem descartados da primeira chuva, nos diferentes tipos de coberturas, são apresentados na TAB. 7.

Tabela 7 - Volume de água descartado nos diferentes tipos de cobertura

Tipo de cobertura	Volume (Litros)
Telhado convencional em madeira	207,6
Telhado em estrutura metálica	133,0

Fonte: O autor (2015).

Cada tipo de cobertura gera volumes diferentes de descarte, pois possuem áreas de captação diferentes. Em função dos volumes de água pluvial a serem descartadas, optou-se pelo descarte através do filtro VF1, que é uma ótima opção para o descarte da primeira chuva, além de filtrar a água e de atender às diretrizes da NBR 15527 (ABNT, 2007). Para o aproveitamento de água de chuva, o filtro VF1 garante ao sistema a qualidade da água coletada e armazenada na cisterna, por longos períodos de tempo.

6.4 Calhas e tubulações

A TAB. 8 apresenta a vazão de projeto e a dimensão da calha semicircular nos dois tipos de cobertura.

Tabela 8 - Vazão de projeto e dimensão da calha semicircular nos dois tipos de cobertura

Tipo de cobertura	Vazão de projeto (L/min ⁻¹)	Dimensão calha	
		Diâmetro (mm)	Declividade (%)
Telhado convencional em madeira	139,6	100	1
Telhado em estrutura metálica	89,4	100	0,5

Fonte: O autor (2015).

Já na TAB.9 encontram-se as dimensões dos condutores horizontais e verticais dos dois tipos de cobertura

Tabela 9 - Dimensões dos condutores horizontais e verticais dos dois tipos de cobertura

Tipo de cobertura	Condutores verticais		Condutores horizontais	
	Diâmetro (mm)	Diâmetro (mm)	Declividade (%)	
Telhado convencional em madeira	100	100	0,5	
Telhado em estrutura metálica	75	75	0,5	

Fonte: O autor (2015).

6.5 Reservatório de água pluvial

6.5.1 Método de Rippl

A aplicação do Método de Rippl neste estudo de caso deu-se com a utilização de dados mensais. O volume do reservatório obtido, utilizando a demanda total e demanda interna é apresentado na TAB. 10.

Tabela - 10 Volume do reservatório com Método de Rippl utilizando demanda total e demanda interna

Tipo de cobertura	Volume reservatório (litros)	
	Demanda total	Demanda interna
Telhado convencional em madeira	19000	15500
Telhado em estrutura metálica	25600	21500

Fonte: O autor (2015).

Utilizando somente a demanda externa, não é possível determinar o volume do reservatório com o Método de Rippl para nenhum dos dois tipos de cobertura, pois a demanda mensal externa é inferior a de captação de água pluvial. Com isso, constata-se que este

método é inválido para dimensionar o volume do reservatório, caso fosse utilizado apenas à demanda externa, pois o Método de Rippl trabalha apenas com os valores em que a captação de chuva não será suficiente para suprir a demanda necessária.

6.5.2 Método Prático Brasileiro (Método Azevedo Neto).

O Método Prático Brasileiro (Método Azevedo Neto) desconsidera a influência da demanda, considerando apenas a precipitação anual e o período de estiagem que, no caso de Formiga/MG, é de em média, 1401,8 mm/ano e 4 meses. O volume do reservatório obtido por este método é apresentado na TAB. 11.

Tabela - 11 Volume do reservatório com Método de Prático Brasileiro

Tipo de cobertura	Volume reservatório (litros)
Telhado convencional em madeira	24455
Telhado em estrutura metálica	15661

Fonte: O autor (2015)

6.5.3 Método Prático Inglês

O Método Prático Inglês desconsidera-se a influência da demanda, considerando apenas a área da superfície de captação e precipitação anual que, no caso de Formiga/MG, é de em média 1401,8 mm/ano. O volume do reservatório calculado por este método é apresentado na TAB. 12.

Tabela - 12 Volume do reservatório com Método de Prático Inglês

Tipo de cobertura	Volume reservatório (litros)
Telhado convencional em madeira	7278
Telhado em estrutura metálica	4661

Fonte: O autor (2015).

6.5.3 Dimensionamento do reservatório Método Prático Australiano

Para a estimativa da produção de água pluvial através do Método Prático Australiano, utilizou-se a equação 10 em ambos os tipos de telhados, adotando 0,80 como o coeficiente de

escoamento e 2 mm de interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação. A TAB. 13 apresenta os valores do volume mensal de água pluvial a ser captada para telhado convencional de madeira e em estrutura metálica.

Tabela 13 - Estimativa da produção de água pluvial mensal através do Método Prático Australiano no telhado convencional de madeira e no telhado em estrutura metálica

Mês	Produção de água (Litros)	
	Telhado convencional de madeira	Telhado em estrutura metálica
Janeiro	22009	14094
Fevereiro	14939	9567
Março	12925	8277
Abril	5599	3586
Maió	3204	2052
Junho	1197	767
Julho	1019	653
Agosto	1362	872
Setembro	4614	2955
Outubro	9307	5960
Novembro	15276	9783
Dezembro	23006	14733
Total	114457	73299

Fonte: O autor (2015).

O cálculo do volume do reservatório foi realizado por tentativas, até que se encontrasse um valor otimizado de confiança e o volume do reservatório.

Foram realizados os três dimensionamentos distintos, para cada tipo de cobertura, utilizando a demanda total, somente a demanda interna e somente a demanda externa. Com o dimensionamento utilizando a demanda total ou somente a demanda interna, pode-se analisar que o reservatório em estrutura convencional de madeira atenderá satisfatoriamente a demanda. Já o telhado em estrutura metálica não atenderá a demanda total e nem a demanda interna, caso fosse adotado apenas esta demanda, pois a produção de água de pluvial em alguns meses do ano é insuficiente para suprir essas demandas, mesmo utilizando um reservatório com um volume maior.

Na TAB. 14 encontram-se os valores do volume do reservatório utilizando a demanda total, somente a demanda interna e a confiança do sistema.

Tabela - 14 Volume do reservatório com Método Prático Australiano utilizando demanda total, somente a demanda interna e a confiança do sistema.

Tipo de cobertura	Volume reservatório (litros)	Confiança (%)
Demanda total		
Telhado convencional em madeira	20000	100
Telhado em estrutura metálica	20000	50,00
Demanda interna		
Telhado convencional em madeira	16500	100
Telhado em estrutura metálica	16500	66,67

Fonte: O autor (2015).

Utilizando somente a demanda externa, não foi possível determinar o volume do reservatório para ambos os tipos de cobertura, pois com o Método Prático Australiano apenas é possível dimensionar o reservatório quando, em algum período, a demanda de água da chuva superar o volume mensal de água pluvial. Como a demanda externa é inferior à produção de água pluvial, esse método não é válido para dimensionar o volume do reservatório, caso fosse utilizado apenas a demanda externa.

6.5.4 Escolha do método a ser utilizado

Para melhor visualização, a TAB. 15 apresenta uma síntese dos volumes do reservatório com os diferentes métodos e com os distintos tipos de demandas.

Tabela 15 - Síntese dos volumes calculados por diferentes métodos para o estudo de caso em edifício de diferentes tipos de cobertura

Método de calculo	Volume do reservatório por método de calculo utilizado (L)	
	Telhado convencional em madeira	Telhado em estrutura metálica
	Demanda Total	
Rippl	19000	25600
Azevedo Neto	24455	15661
Prático Inglês	7278	4661
Pratico Australiano	20000	20000
	Somente demanda interna	
Rippl	15500	21500
Azevedo Neto	24455	15661
Prático Inglês	7278	4661
Pratico Australiano	16500	16500
	Somente demanda externa	
Rippl	-	-
Azevedo Neto	24455	15661
Prático Inglês	7278	4661
Pratico Australiano	-	-

Fonte: O autor (2015).

O dimensionamento do reservatório utilizando demanda total ou somente demanda interna, e/ou somente demanda externa, foi necessária uma vez que, quanto maior o consumo de água pluvial, maior deve ser o volume do reservatório de acordo com o Método de Rippl e o Método Prático Australiano. O volume do reservatório pode ser calculado com diferentes tipos de demanda e obter diferentes volumes, pois para o cálculo deles, é necessário estimar a demanda a ser utilizada, garantindo assim que as demandas sejam atendidas.

Já nos Método Prático Brasileiro e Prático Inglês não é necessário estimar a demanda, tornando assim o volume do reservatório igual, mesmo havendo variação na demanda. Esses métodos podem ultrapassar o volume necessário gerando reservatórios relativamente grandes e com custos maiores sem necessidade. Podem também serem gerados reservatórios menores que não são capazes de atender à demanda, tornando necessária a utilização de um realimentador automático de água da rua na falta das chuvas.

A escolha do método de dimensionamento a ser utilizado foi feita de acordo com viabilidade técnica de cada tipo de telhado. Para o telhado convencional em madeira optou-se pela escolha do Método de Rippl. Já para o telhado em estrutura metálica, optou-se pelo método Prático Inglês.

O Método de Rippl foi o escolhido para telhado convencional em madeira, pois este utiliza valores mensais, que apresentam resultados satisfatórios para atender à demanda. Como no telhado de madeira não é possível instalar o reservatório sob o telhado, este deve ser subterrâneo ou colocado sob o solo, necessitando de um sistema elevatório com uso de bombeamento e com isso, poderá apresentar um volume maior, sendo o Método de Rippl o ideal para dimensionar o reservatório deste tipo de telhado.

No telhado em estrutura metálica, optou-se pelo Método Prático Inglês, pois este apresentou menor volume requerido de reservatório e com isso, pode-se colocá-lo na laje sem necessidade de uma implantação de um sistema elevatório com uso de bombeamento. Caso fosse adotado outro método de dimensionamento, não seria possível instalar o reservatório sobre a laje, pois com os seus cálculos, o volume do reservatório é elevado, tornando-os inviáveis para serem colocados em uma casa convencional e ainda seria necessário um reforço na estrutura do prédio, caso ela não tenha.

Como visto na TAB 15, o volume do reservatório calculado utilizando o Método Prático Inglês não sofre alteração com a variação da demanda. Com isso, se o reservatório for utilizado com o objetivo de atender à demanda total ou somente a demanda interna, será necessário um realimentador automático de água da rua na falta das chuvas, pois o reservatório apresenta um volume de 4661 litros para atender às demandas mensais totais ou somente demandas internas, conforme a TAB. 15. Utilizando o método somente para uso das demandas externas, como se observa na TAB.15, o volume do reservatório conseguirá suprir essa demanda, até mesmo nos meses secos, pois a produção de água será maior que a quantidade utilizada.

Portanto, mesmo que exista grande diferença entre os valores obtidos para o reservatório de armazenamento de água pluvial para os métodos analisados neste trabalho, a escolha do mais adequado deve ocorrer de acordo com os interesses finais de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial e também em função da região de implantação. Em regiões com altos índices pluviométricos, deve-se escolher métodos mais conservadores, que levam a volumes inferiores para o reservatório, enquanto em regiões com baixos índices, o ideal é utilizar métodos que superdimensionem o reservatório, para que a água coletada nos períodos de chuva possa suprir a demanda nos períodos secos.

Alguns autores discutem sobre o dimensionamento dos reservatórios pluviais, como Amorim e Pereira (2008), que relatam que os métodos práticos, por serem menos complexos e de fácil aplicação, são mais indicados em residências unifamiliares ou em pequenos estabelecimentos, enquanto os métodos mais complexos, como o Método de Rippl, são mais adequados para projetos maiores, como indústrias. No entanto, não existe nenhuma restrição na aplicação de qualquer método a diferentes tipologias de edificações.

Já para Sacadura (2011), os métodos práticos, apesar de fácil aplicação, não mostram a realidade de consumo para as diversas situações, podendo, contudo, aproximar-se da eficiência ótima em algumas situações, em que, não vale a pena aumentar a capacidade do reservatório se esta não traz maior eficiência, mas sim maiores custos.

Fendrich (2009) afirma que os Métodos de Rippl, da Simulação, de Azevedo Netto, Prático Alemão e Prático Australiano, não são aplicáveis no dimensionamento dos reservatórios de aproveitamento das águas de chuvas, e que o Anexo A da NBR 15.527 (ABNT, 2007) deveria ser reformulado, exceto pelo Método Prático Inglês, com a ressalva de que sua construção seria antieconômica, e não incentiva os usuários a utilizarem tal sistema.

O mesmo autor ainda salienta que o Método de Rippl é utilizado na regularização de vazões de estiagem, para dimensionamento de reservatórios de acumulação, em captações para abastecimento público, em hidroelétricas, açudes, lagos paisagístico e nunca sendo utilizado para dimensionamento de reservatórios de águas pluviais. Os reservatórios de aproveitamento das águas de chuva para fins não potáveis, baseados na demanda diária, mensal ou anual, assim, não são aplicáveis, sugerindo a utilização de seu próprio método, ou seja, o Método de Fendrich.

Segundo Sperancetta, Alves e Krüger (2004), o método de Fendrich foi desenvolvido para diminuir as enchentes provocadas pela impermeabilização do solo, fazendo com que cada logradouro reserve a água pluvial e, em seguida, utilize-a para a redução do consumo de água potável. Portanto, o reservatório deve estar sempre vazio para que possa receber a água da chuva, e então utilizá-la.

Ainda Giacchini (2010) ressalta que o Método de Fendrich não objetiva dimensionar o reservatório para o uso da água da chuva e, contudo, tal uso aconteceria em decorrência da detenção temporária da água pluvial. Dessa forma, a aplicação local do método condiciona-se às variações atmosféricas, não contemplando a continuidade do uso em períodos mais prolongados de armazenamento, tendo em vista a necessidade de manutenção do reservatório no estado vazio para novos eventos de precipitação pluviométrica.

Quando comparados os volumes de reservatório dimensionados em cada método com o melhor volume em termos do potencial de economia de água potável, Rupp, Munarim e Ghisi (2011) averiguaram que os métodos de Rippl, e Azevedo Neto resultam em reservatórios maiores do que o ideal. Os volumes de reservatório obtidos pelo método Prático Inglês são superdimensionados nos casos em que a precipitação é alta, e subdimensionados quando a precipitação é baixa. Nos casos em que é possível utilizar o método Prático Australiano, os reservatórios também são subdimensionados.

Ainda para os mesmos autores, o método de Rippl possibilita dimensionar os reservatórios de água de chuva somente quando há diferença positiva entre o volume e a demanda de água pluvial, ou seja, quando em algum momento do período analisado a demanda supera o volume. Pelo método Prático Australiano somente é possível dimensionar os reservatórios quando, em algum período, a demanda de água pluvial supera o volume mensal de água pluvial. Os dimensionamentos pelos métodos Azevedo Neto e Prático Inglês resultam em tamanhos de reservatório constantes para cada região, independentemente da demanda de água pluvial. Portanto, quanto mais alta for a precipitação da região, maior será o volume do reservatório.

6.8 Sistema de bombeamento

O sistema de bombeamento foi previsto apenas para o caso de cobertura convencional em madeira uma vez que para o telhado em estrutura metálica não será necessária a elevação da água pluvial.

Os diâmetros encontrados no dimensionamento do sistema utilizando, a equação 13, foram de 20 mm para o encanamento de recalque e 25 mm para o de sucção. O modelo de bomba escolhida foi a Bomba Schneider BCR – 2000 ¼ cv, com rotor de 106 mm.

6.9 Análise econômica

A TAB. 16 apresenta a quantidade, o valor total e os resultados da média dos valores unitários dos materiais no telhado convencional de madeira.

Tabela 16 - Quantidade, valor total e resultados da média dos valores unitários dos materiais no telhado convencional de madeira.

Material	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Tanque de Polietileno com tampa (20.000 Litros)	1 unidade	10300,00	10300,00
Caixa d'Água de Polietileno com tampa (500 litros)	1 unidade	149,60	149,60
Calha Aquapluv Beiral 125mmx3m Branco	6 unidades	74,32	445,92
Tubo PVC esgoto 100 mm	38 metros	8,70	330,6
Tubo de PVC solda 25 mm	1 metro	2,52	2,52
Tubo de PVC solda 20 mm	13 metros	1,82	23,66
Filtro VF1 (Acquasave/3P Technik)	1 unidade	1950,00	1950,00
Motobomba Schneider BCR - 2000 1/4 cv.rotor de 106 mm	1 unidade	418,00	418,00
Peça e acessórios	-	1459,63	1459,63
Mão de obra	-	4176,5	4176,5
Total		18541,09	19256,43

Fonte: O autor (2015)

Já a Tabela 17 apresenta a quantidade, o valor total e os resultados da média dos valores unitários dos materiais no telhado em estrutura metálica.

Tabela 15 - Quantidade, valor total e resultados da média dos valores unitários dos materiais no telhado em estrutura metálica.

Material	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Caixa d'Água de Polietileno com tampa (3000 litros)	1 unidade	1171,00	1171,00
Caixa d'Água de Polietileno com tampa (2000 litros)	1 unidade	638,05	638,05
Calha Aquapluv Beiral 125mmx3m Branco	7 unidades	74,32	520,24
Tubo PVC esgoto 75 mm	13 metros	7,72	100,36
Filtro VF1 (Acquasave/3P Technik)	1 unidade	1950,00	1950,00
Peça e acessórios	-	714,33	714,33
Mão de obra	-	944	944
Total		5499,42	6037,98

Fonte: O autor (2015).

Conforme a TAB. 5 são consumidos $73,84 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ de água que pode ser substituída por água pluvial. O custo ao consumidor do metro cúbico de água em Formiga/MG é de R\$1,07 desde que não exceda o gasto de $12 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$, conforme o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Formiga/MG. Portanto, há uma economia de R\$79,01 por ano tanto no telhado convencional de madeira, quanto no de estrutura metálica.

O investimento no telhado convencional de madeira é de R\$19256,43 obtendo o retorno em 244 anos. Já no telhado em estrutura metálica, o investimento é de R\$6037,98 com o retorno em 74 anos e 4 meses.

Não foi viável calcular o retorno do investimento pelo Payback Descontado, pois é a maneira que se avalia o tempo de retorno com base não no seu fluxo de caixa gerado, mas sim no valor deste fluxo descontado a uma taxa mínima de atratividade.

Nota-se que esse tipo de projeto é economicamente inviável, visto que o valor de custo da água é relativamente barato, tanto no município de Formiga/MG quanto em outras localidades. Para indústrias que possuem demandas altas no consumo de água ou locais onde o seu m^3 é mais caro, o aproveitamento da água pluvial pode ser economicamente viável.

7 CONCLUSÕES

Analisando a viabilidade técnica do aproveitamento da água pluvial para consumo não potável em edificações na cidade de Formiga/MG, constatou-se que com a implementação de sistemas para captação e reaproveitamento de águas pluviais em coberturas, é possível dar uma destinação mais adequada à água.

Nos telhados convencionais em madeira não é tecnicamente viável a instalação de um reservatório sob o telhado, este deve ser subterrâneo, necessitando de um sistema de bombeamento para a parte superior, gerando gastos com energia elétrica. Entretanto, esse reservatório poderá apresentar um volume maior e com isso, suprir a demanda de água não potável mesmo nos períodos secos.

Já no telhado em estrutura metálica, o reservatório pode ser colocado sob a cobertura, desde que este não apresente um volume exacerbado. Porém, sendo ele um reservatório menor, em períodos de estiagem será necessário um realimentador com a água da rua para que não falte água, suprindo assim, a demanda total.

Em ambos os tipos de telhado, o sistema de aproveitamento de água pluvial não é economicamente viável, pois o metro cúbico da água no município analisado é relativamente barato e a implantação do sistema requer um grande investimento financeiro, com um retorno em longo prazo.

Porém, ao se analisar a viabilidade ambiental do investimento, o sistema de aproveitamento de água pluvial diminuiria os problemas de drenagem urbana, retendo boa parte da água que escoaria pelas ruas e galerias, e diminuiria também a quantidade de água tratada utilizada para fins não potáveis.

REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileiras de Normas Técnicas) NBR 15.527/2007 **Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007. 8p.
- ABNT (Associação Brasileiras de Normas Técnicas) NBR 5626/1998 **Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro, 1998. 41p.
- ABNT (Associação Brasileiras de Normas Técnicas) NBR 10.844/1989 **Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro, 1989. 13p.
- ABNT (Associação Brasileiras de Normas Técnicas) NBR 12214/1992 **Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1992. 15p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. Brasília, 2013, 432p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA) – Ministério do Meio Ambiente. **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo, 2005. 150p.
- AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.
- BARRETO, D. **Perfil do consumo residencial e usos finais da água. 2008**. Dissertação (Mestrado em Habitação) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas o Estado de São Paulo, São Paulo, 2008.
- BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Saneamento para todos - Gestão de águas pluviais urbanas. 4º volume**. Brasília, 2006. 197 p.
- CAMPOS, A. S.*et al.* **Análise de custo da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para uma residência unifamiliar na cidade de Ribeirão Preto**. In IV Simpósio Brasileiro e Manejo de Água de chuva. Petrolina: ABCMAC, 2003. Disponível em: <http://www.abcmac.org.br/files/simpósio/4simp_marcus_analisedecustodeaproveitamentodeagua.pdf>. Acesso em 14 abr. 2015.
- CARDOSO, M.P. **Viabilidade do aproveitamento de água de chuva em zonas urbana: Estudo de caso no município de Belo Horizonte – MG. 2009**. 171p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.
- COHIM; GARCIA; KIPERSTOK. **Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios**, (2008). Disponível em: <http://teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art74>. Acesso em 14 abr. 2015.
- ECO CASA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS. Serviços. **Aproveitamento de águas pluviais: cisternas**. Disponível em: <<http://www.ecocasa.com.br/cisternas.asp>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

FENDRICH, R. Detenção Distribuída e Utilização das Águas Pluviais. In: XI SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS – SISPREDF UFPR, 2009, Curitiba, **Apresentação...** Curitiba: UFPR, 2009. Disponível em: <http://www.cesec.ufpr.br/sispred/palestras/XI_SISPREDF_Fendrich.pdf> Acesso em 02 out. 2015

FREITAS, Marco Aurélio Vasconcelos de & SANTOS, Afonso Henriques Moreira. **Importância da Água e da Informação Hidrológica.** In: O Estado das Águas no Brasil. Brasília: ANEEL e ANA, 1999.

GIACCHINI, M. **Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos.** 144f. 2010. Dissertação (Mestrado) – Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/dissertacao_margolaine_giacchini.versaofinal.pdf>. Acesso em 10 out. 2015.

GONÇALVES, R.F. (Coord). **Consumo de água:** Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 352 p.

GONÇALVES, R.F. (Org.). **Uso racional de água e energia:** Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 354p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. **Formiga.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 03 abr. 2015.

JÓ, A. C. **Balço hídrico e energético de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP: [s.n.], 2011.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICAS EM EFICAÇÕES (LABEEE) .Pesquisa. **Uso racional e fontes alternativas de água.** 2014. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/uso-racional-e-fontes-alternativas-de-agua>>. Acesso em: 29 abr.2015.

LAPPONI, J. C. **Avaliação de projetos de investimento:** modelos em Excel, São Paulo; Lapponi Treinamento e Editora, 1996. 264p.

MARINOSKI. A. K. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: Estudo de caso em Florianópolis-SC.**2007. 107p. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.** 2004. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Saneamento. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água.** 2014. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/index.php/programas/264-pcdna>>. Acesso em 01 abr. 2015.

OLIVEIRA, N. N. **Aproveitamento de água de chuva de cobertura para fins não potáveis, de próprios da educação da rede municipal de Guarulhos.** 2008. 80p. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Guarulhos, São Paulo, 2008.

PORTO, R.M. **Hidráulica básica.** São Carlos, 4ª edição, Editora EESC – USP, 2006.

ROCHA, V. L. **Validação do algoritmo do programa Netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações.** 166f. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009.

RUPP, R.F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. **Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial.** Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 2011. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212011000400005&script=sci_arttext> . Acesso em 10 out. 2015.

SACADURA, O.M. **Análise de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Ciências Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. 2011.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAAE. Tarifas e valores. Formiga, MG. 2015. Disponível em: <<http://www.saaeformiga.com.br/servicos/tarifas-e-valores>> . Acesso em 01 out. 2015.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. SINAPI. Insumos. **Manutenção de Insumos Caixa.** Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx#categoria_738>. Acesso em 01 out. 2015.

SPERANCETTA, D.; ALVES, J. V.; KRÜGER, C. M. **Captação de águas pluviais para abastecimento residencial.** Curitiba, v. 1 , n. 1, p. 29-42, 2004.

TCPO. **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos.** - 13. ed. - São Paulo: Pini, 2013.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva.** São Paulo: Navegar Editora, 2003.

