



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS DE PAU DOS FERROS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

RICARDO VICTOR PEREIRA DE SOUSA

**SISTEMA HIDRÁULICO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA
EM UMA RESIDÊNCIA PARA FINS EXTERNOS EM
ALEXANDRIA/RN.**

**PAU DOS FERROS
2015**

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Campus Pau dos Ferros (BCPDF)
Setor de Informação e Referência

S725s Sousa, Ricardo Victor Pereira de.

Sistema hidráulico para utilização de água da chuva em uma residência para fins externos em Alexandria/RN/ Ricardo Victor Pereira de Sousa -- Pau dos Ferros, 2015.

62f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Sistemas hidráulicos. 2. Recursos hídricos. 3. Águas pluviais. I. Título.

RN/UFERSA/BCPDF

CDD: 627.04

Bibliotecário: Eugênio Pacelli Ferreira da Costa
CRB-15/658

RICARDO VICTOR PEREIRA DE SOUSA

**SISTEMA HIDRÁULICO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA
EM UMA RESIDÊNCIA PARA FINS EXTERNOS EM
ALEXANDRIA/RN.**

.

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus de Pau dos Ferros, para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Profº. Dr. Wesley de Oliveira Santos – UFERSA

**PAU DOS FERROS
2015**

RICARDO VICTOR PEREIRA DE SOUSA

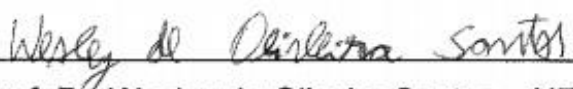
**SISTEMA HIDRÁULICO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA
EM UMA RESIDÊNCIA PARA FINS EXTERNOS EM
ALEXANDRIA/RN.**

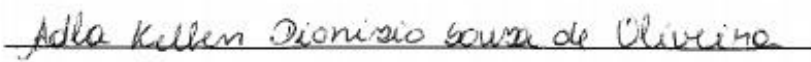
Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus de Pau dos Ferros, para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Profº. Dr. Wesley de Oliveira Santos – UFERSA

APROVADA EM: 04 / 12 / 15

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos – UFERSA
Presidente


Profª. M. Sc. Adla Kellen Dionísio Sousa de Oliveira – UFERSA
Primeiro Membro


Prof. M. Sc. Leonardo Henrique Borges de Oliveira – UFERSA
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador Wesley de Oliveira Santos, que me ajudou a enfrentar esse grande desafio. Muito obrigado pelos conselhos e cobranças que me guiaram nesse trabalho, pela confiança, e pelo grande trabalho apresentado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Aos membros da banca examinadora, Adla Kellen Dionisio Sousa de Oliveira e Leonardo Henrique Borges de Oliveira, que, além de importantes professores na minha vida acadêmica, aceitaram avaliar minha pesquisa.

A todas as pessoas que estiveram ao meu lado: amigos, namorada, e familiares, que me apoiaram emocionalmente na busca dos meus objetivos.

A todos os professores do curso de bacharelado em ciências e tecnologia da Ufersa.

A todas as pessoas que contribuíram de forma direta e indireta com esse trabalho.

“Mais fácil me foi encontrar as leis com que se movem os corpos celestes, que estão a milhões de quilômetros, do que definir as leis do movimento da água que escoam frente aos meus olhos.”

Galileu Galilei

RESUMO

Com a grande estiagem que atinge a região nordeste do Brasil nessa segunda década do século XXI, medidas que visam a preservação dos recursos hídricos, bem como combater a escassez desses recursos, são necessárias. A utilização da água da chuva em residências para fins externos e não potáveis, como para a rega de jardim, e lavagem de áreas impermeáveis externas, é uma alternativa que diminuiria os problemas decorrentes de grandes estiagens. A partir disso, o presente estudo objetiva analisar na literatura os aspectos mais relevantes para o dimensionamento de um sistema hidráulico para a utilização de águas pluviais, e determinar qual o melhor método de dimensionamento aplicado às características pluviométricas da cidade de Alexandria, no estado do Rio Grande do Norte, e às características arquitetônicas de uma residência específica. Na primeira etapa foram determinados os parâmetros pluviométricos e os valores de demanda residencial. Na segunda etapa foi feito o dimensionamento das calhas e condutores de acordo com as normas técnicas vigentes no Brasil, e na terceira etapa foi feito o dimensionamento e estimativa do desempenho do reservatório de armazenamento. Pôde-se constatar que, para as características pluviométricas e de demanda, existem métodos de dimensionamento ineficazes e inviáveis, seja no aspecto estrutural ou econômico. Porém existem métodos em que pode ser verificada a viabilidade do dimensionamento de um sistema hidráulico que utilize águas pluviais durante todo o ano e que atenda toda a demanda externa da residência sem que seja inviável economicamente.

Palavras-chave: Águas pluviais. Sistema hidráulico. Dimensionamento.

ABSTRACT

With the great drought that hits the northeast region of Brazil in this second decade of this century, measures aimed at the preservation of water resources and combat the scarcity of these resources are needed. The use of rainwater in homes for external and non-potable purposes such as for garden watering and washing of external impervious areas, is an alternative that would reduce the problems arising from major droughts. From this, the present study aims to analyze the literature the most relevant aspects for the design of a hydraulic system for the use of rainwater, and determine the best design method applied to rainfall characteristics of the city of Alexandria in Rio state Grande do Norte, and the architectural features of a particular residence. In the first step we determined the rainfall parameters and values of residential demand. In the second step was made and the dimensioning of the conductor rails in accordance with existing technical standards in Brazil and in the third stage was made the design and estimation of the storage reservoir performance. It could be observed that for rainfall and demand characteristics, there are design methods ineffective and unfeasible, either structural or economic aspect. However, there are methods which can be determined the feasibility of designing a hydraulic system that uses rainwater throughout the year and that meets all the external demand of house without being uneconomical.

Keywords: Rainwater. Hydraulic system. Scaling.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AP1MC – Associação programa 1 Milhão de Cisternas

EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte

NBR – Norma Brasileira

RN – Rio Grande do Norte

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de fluxo total.....	20
Figura 2 - Sistema auto-limpante	21
Figura 3 - Sistema com volume adicional.....	21
Figura 4 - Sistema com infiltração	22
Figura 5 - Grade localizada sobre a calha.....	24
Figura 6 - Tonel de descarte	25
Figura 7 - Sistema de auto-limpeza com torneira de boia	26
Figura 8 - Calha de beiral	26
Figura 9 - Calha de platibanda	27
Figura 10 - Calha água furtada.....	27
Figura 11 - Superfície inclinada.....	32
Figura 12 - Vista lateral do sistema hidráulico.....	42
Figura 13 - Vista frontal do sistema hidráulico.....	43
Figura 14 - Vista lateral com representação das peças hidráulicas e seus diâmetros internos	44
Figura 15 - Vista frontal com representação das peças hidráulicas e seus diâmetros internos	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de Escoamento Superficial Adotado por Hofkes (1981); Frasier (1975).....	30
Tabela 2 - Demanda Externa de Água não Potável em uma Residência.....	33
Tabela 3 - Coeficiente Multiplicativo da Vazão de Projeto	34
Tabela 4 - Coeficiente de Rugosidade para Determinados Materiais segundo a NBR 10844/89	34
Tabela 5 - Vazão Suportada de Calhas Semicirculares com Coeficiente de Rugosidade igual a 0,011 e Inclinação de 0,5%.....	35
Tabela 6 - Vazão Suportada em Condutos Horizontais de Seção Circular com Coeficiente de Rugosidade de 0,011 e Inclinação de 0,5%.	36
Tabela 7 - Percentual Mensal de Precipitação para a cidade de Alexandria (RN)	37
Tabela 8 - Estimativa da precipitação média mensal para a cidade de Alexandria (RN).....	37
Tabela 9 - Resultado do Cálculo da Demanda Externa Mensal	42
Tabela 10 - Avaliação da Demanda Mensal e do Volume Aproveitável Decorrente da Precipitação Média Mensal.	45
Tabela 11 - Estimativa do Desempenho do Reservatório A no Primeiro Ano.	47
Tabela 12 - Estimativa do Desempenho do Reservatório A a partir do Segundo Ano.	48
Tabela 13 - Estimativa do Desempenho do Reservatório C no Primeiro Ano.	49
Tabela 14 - Estimativa do Desempenho do Reservatório B no Primeiro Ano.	50
Tabela 15 - Estimativa do Desempenho do Reservatório C a partir do Segundo Ano.	51
Tabela 16 - Estimativa do Desempenho do Reservatório B a partir do Segundo Ano.	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 BREVE HISTÓRICO DA SECA NO NORDESTE	15
2.2 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DAS CHUVAS NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO	16
2.3 QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA	18
2.4 NORMAS PARA O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA	19
2.5 COMPONENTES DE UM SISTEMA HIDRÁULICO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	20
2.5.1 Área de Coleta	22
2.5.2 Tratamento da água da chuva.....	23
2.5.3 Técnicas Para Descarte da água de Limpeza do Telhado	24
2.5.3.1 Tonel de Descarte	25
2.5.3.2 Reservatório de Auto-limpeza com Torneira de Bóia	25
2.5.4 Calhas e Condutores.....	26
2.5.5 Reservatório de Armazenamento	28
2.6 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	29
3 METODOLOGIA.....	31
3.1 TIPO DE PESQUISA.....	31
3.2 ÁREA DE ESTUDO.....	31
3.3 MÉTODO PARA O CÁLCULO DA ÁREA DE CAPTAÇÃO	31
3.4 MÉTODO PARA O CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO	32
3.5 MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DO CONSUMO DE ÁGUA	32
3.6 MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA MÁXIMA DA CIDADE DE ALEXANDRIA	33
3.7 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES.....	33
3.7.1 Calhas.....	34
3.7.2 Condutores Verticais e Horizontais	35
3.8 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS	36
3.8.1 Método de Rippl	36
3.8.2 Método Prático Segundo Azevedo Neto.....	37
3.8.3 Método prático alemão	38
3.9 MÉTODO DE VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA E CONFIABILIDADE DO	

RESERVATÓRIO	39
4 RESULTADOS E DISCUSSões	41
4.1 DEMANDA MENSAL PARA CONSUMO EXTERNO	41
4.2 SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA	42
4.2.1 Concepção	42
4.2.2 Dimensionamento	43
4.3 ARMAZENAMENTO	44
4.4 ESTIMATIVA DO DESEMPENHO DO SISTEMA HIDRÁULICO	46
5. CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE A - Planta de situação da residência.....	59
APÊNDICE B - Planta baixa da residência.....	60
ANEXO A - Tabela Referente às séries históricas de precipitação anual na cidade de Alexandria/RN segundo EMPARN (2015, apud Santos. 2015).....	61
ANEXO B - Dados dos parâmetros de Alexandria ara o cálculo da intensidade máxima média pluviométrica.....	62

1. INTRODUÇÃO

A crise hídrica que assola o Brasil nesta década se agravou no ano de 2015, atingindo, principalmente, as regiões nordeste e sudeste do Brasil. Essa crise trouxe de volta antigos debates sobre a utilização da água potável, bem como a necessidade da busca de alternativas fontes de água, sendo a utilização da água da chuva o principal foco desses debates.

Desde o Brasil império, a legislação brasileira sempre se preocupou com a questão da água, porém nos dias atuais países desenvolvidos, como Austrália, Japão, e Estados Unidos possuem leis muito mais fortes que as brasileiras com relação a crises hídricas ou utilização de águas pluviais (VELOSO; MENDES, 2013). Culturalmente, a utilização de água da chuva em zonas urbanas sempre foi descartada, os motivos são vários, como: a inviabilidade econômica ou a inviabilidade estrutural são exemplos desses motivos. Em regiões que sofrem, inclusive historicamente, pela escassez de água, como a região semi-árida, a idéia da utilização da água da chuva é bastante difundida, sendo que as organizações que implantam políticas públicas no combate a seca são as grandes responsáveis por essa difusão. A Associação Programa 1 Milhão de Cisternas (AP1MC) é classificada pelo Ministério da Fazenda como uma organização civil de interesse público, a associação tem por objetivo possibilitar a moradores, principalmente de regiões rurais do semi-árido, o acesso à água potável por meio da construção de cisternas (ASA, 2015).

Segundo a CAERN (2015) dos 153 municípios do estado do Rio Grande do Norte em que a CAERN presta serviço, 91 estão com dificuldade no seu abastecimento, sendo que 11 já entraram em colapso.

“Esse período de seca começou em 2012. De lá pra cá a chuva não foi suficiente para recuperar o nível dos reservatórios”, explicou o meteorologista Gilmar Bistrot. Segundo ele, a média de chuva para o RN é de 700 milímetros por ano. Em 2012, choveu 300 mm – menos de 50% da média. Em 2013, choveu 600 mm. No ano seguinte, 500 mm. Em 2015, choveu em média 400 mm no interior do estado e o período chuvoso já acabou. “Em todos esses anos o índice de chuvas ficou abaixo da média. A consequência maior que se observa é a condição de reserva hídrica que se exauriu rapidamente”, disse Gilmar Bistrot (G1, 2015).

O agravamento da crise hídrica que sempre assolou a região semi-árida brasileira, e o colapso no abastecimento de água em algumas cidades, evidenciou o quão inadequada é a utilização de água potável para fins não potáveis.

A cidade de Alexandria (RN) é abastecida pelo sistema autônomo de água e esgoto, e desde que decretou estado de calamidade pública em decorrência do colapso no abastecimento de água, a população se viu vítima do mal gerenciamento dos recursos hídricos, passando a ter mais gastos econômicos com a água. Junto ao questionamento sobre qual o ano em que as precipitações, ou o inverno (como é chamado o período de chuvas na região semi-árida), irão voltar à média anual, ou o ano em que os açudes da cidade voltarão a abastecê-la, vem também o questionamento sobre como buscar fontes alternativas de água, que possam, além de proporcionar economia financeira, ajudar na conservação dos recursos hídricos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente estudo visa comparar os parâmetros essenciais para o melhor dimensionamento de um sistema hidráulico, aplicado as características pluviométricas da cidade de Alexandria (RN), que objetiva o aproveitamento da água da chuva para fins externos em residências unifamiliares.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar um sistema de calhas e condutores, aplicado a um projeto arquitetônico, que vise aproveitar a água da chuva para fins não potáveis e externos;
- Dimensionar um reservatório, por diferentes métodos, aplicado às características pluviométricas da cidade de Alexandria (RN);
- Estimar o desempenho do sistema hidráulico e definir qual o melhor método de dimensionamento para as características pluviométricas da cidade de Alexandria (RN).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BREVE HISTÓRICO DA SECA NO NORDESTE

Segundo Campos e Studart (2001) existem quatro tipos de secas: a seca climatológica, a seca edáfica, a seca social, e a seca hidrológica; sendo todas relacionadas por causas e consequências semelhantes. Também segundo Campos e Studart (2001) a seca climatológica refere-se à deficiência de chuvas, sendo causada por efeitos naturais; a seca edáfica tem como causa as irregularidades na ocorrências das precipitações, em decorrência de deficiência de umidade, causando transtornos sociais (seca social), e finalmente a seca hidrológica, causada por falhas no gerenciamento dos meios de combate a seca, tendo como efeito a insuficiência dos reservatórios.

Apesar de ser muito difícil de definir ou conceituar, a seca na região semi-árida do nordeste brasileiro sempre foi um problema que esteve em pauta na sociedade, tanto no aspecto político quanto no aspecto social. Segundo Campos e Sturdart (2001), a primeira grande seca relatada na região ocorreu no final do século XVIII, causando morte estimada de centenas de milhares de pessoas. Um século depois, em 1888, veio a severa estiagem conhecida como "seca dos três oitos", que dizimou a criação de gado e lavoura, causando grande êxodo rural, e criando a pauta sobre a transposição do rio São Francisco (FERREIRA, 2011). Apesar da diferença de um século entre as duas grandes secas, houve um fator comum entre elas, o comodismo praticado pela sociedade urbana, rural e política. A política de açudagem praticada nos séculos XVIII e XIX não acompanhava o crescimento populacional e de infra-estrutura da época. Segundo Campos e Studart (2001) esses problemas fizeram com que a população se tornasse vulnerável em meio à possibilidade de grandes estiagens, como aconteceu entre 1777-1779 e, posteriormente em 1888.

Em pleno século XXI a região semi-árida do nordeste continua refém, principalmente no aspecto econômico, da estiagem. Medidas de urgência tomadas pelo governo federal conseguem resolver os trágicos efeitos sociais das estiagens já conhecidos do século XVIII. Porém essas mesmas medidas não conseguem resolver os problemas econômicos causados por longos períodos de estiagem, como se vê na segunda década do século XXI. Como causa desses problemas se podem

observar características políticas de combate à seca muito semelhantes às adotadas nos séculos XVIII e XIX, a política da açudagem continua sendo o "cargo chefe" governamental no combate a seca, fazendo, assim, com que a sociedade continue vulnerável ao clima regional.

A cidade de Alexandria, no estado do Rio Grande do Norte, é um exemplo de como uma cidade pode se tornar vulnerável pelo mal planejamento dos recursos hídricos, em estado de calamidade pública desde janeiro de 2015, a cidade não conta mais com a distribuição de água feita pelo sistema autônomo de água e esgoto da cidade. Com os reservatórios secos, restou a população a compra de água vendida por proprietários de poços artesianos.

2.2 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DAS CHUVAS NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO

Durante as últimas décadas, vem sendo adotado por famílias moradoras de zonas rurais do semi-árido brasileiro, sistemas hidráulicos que visam a captação da água das chuvas que escorre dos telhados. Apoiados por associações não governamentais e de pesquisa, essas famílias encontraram, nesses sistemas, um suspiro para manter a vida na zona rural, e diminuir os prejuízos causados pelas grandes estiagens que assolam a região semi-árida (HAGEMANN, 2009).

Segundo Ghanayem¹ (2001, apud Anecchini, 2005) o primeiro sistema de aproveitamento de águas pluviais no Brasil foi instalado por americanos nas ilhas de Fernando de Noronha em 1943, quando o exército estadunidense a utilizava como base naval durante a segunda grande guerra. A partir de então a utilização de água de chuva passou a ser a principal fonte alternativa de utilização de água para fins potáveis e não-potáveis.

Para Morengo (2008) a região nordeste possui um alto potencial de evaporação, graças à energia solar e enormes temperaturas. As chuvas no semi-árido brasileiro apresentam variação espacial e temporal, fazendo com que os grandes períodos de estiagem surjam frequentemente, desarticulando ainda mais a vida dos produtores rurais e do poder público.

Para May (2004) a coleta da água da chuva tem se mostrado a solução mais

¹GHANAYEM, M. Environmental Considerations With Respect to Rainwater Harvesting. IN: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, 10., 2001, Manheim. Proceedings... Germany, 2001.

eficaz, já que 80% da área geográfica do sub-solo no semi-árido brasileiro apresenta formação cristalina. A captação feita pelos sistemas hidráulicos da zona rural semi-árida é feita por sistemas auto-limpante, formados pela área de coleta, como sendo o próprio telhado das casas, telas de contenção, calhas, condutores, e reservatórios.

Para Jaques (2006) o reaproveitamento de água de chuva pode ser usado, de maneira não potável, para: limpeza de vasos, sistema de ar-condicionado, lavagem de veículos, e irrigação para jardins; além de favorecer a redução de consumo de água potável e melhorar o sistema de drenagem urbana. Em áreas rurais essa água reaproveitada tem papel ainda mais fundamental, sendo usada para irrigação ou criação de gado.

Apesar de trazer grandes benefícios para a população e ser economicamente viável, o sistema de reaproveitamento de águas pluviais mais convencionalmente usado na região semi-árida não é o mais simples de ser projetado e executado dentre os diversos outros sistemas possíveis. A falta de informação impossibilita a construção desses sistemas feita de forma independente pela população, necessitando, assim, da ajuda de terceiros, que é feita, principalmente por órgãos não governamentais, essa dependência reduz muito o número de pessoas que poderiam usufruir desse sistema em zonas rurais ou urbanas. Segundo Jalfim (2015) alguns tipos de cisternas difundidos por projetos governamentais, como os de lona plástica e de alvenaria, que falharam com o tempo, causaram frustração as famílias, que passaram a desvalorizar o uso desses sistemas.

Segundo Andrade Neto (2013) as ações atuais na construção de cisterna no semi-árido têm 3 grandes falhas: a primeira é o uso da mesma tecnologia de construção das cisternas; a segunda é a adoção do mesmo volume de armazenamento em todas as situações, sem considerar fatores relevantes, como o índice pluviômetro ou demanda; e a terceira é a falta de divulgação de informações sobre a proteção sanitária das cisternas.

É necessário aportar todo o conhecimento disponível sobre construção de cisternas para selecionar a(s) tecnologia(s) mais adequada(s) em face das diversas situações, mas há que ser considerados, na escolha de alternativas, os aspectos socioculturais e econômicos. Por exemplo, o sucesso da aplicação das cisternas de placas, no programa P1MC, deve-se certamente a sua compatibilidade com a participação da sociedade no processo e com o emprego de mão de obra local pouco qualificada na construção, fortalecendo a economia e fomentando o desenvolvimento de atividades locais em sintonia com os objetivos sociais. É sempre prudente uma análise ampla e abrangente antes de se propor alterações na tecnologia construtiva, mas não se pode deixar de aperfeiçoá-la. (ANDRADE NETO. 2013. pg. 77)

2.3 QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA

A utilização de água da chuva para consumo sempre foi um tema polêmico no mundo, tendo como ponto em comum em todas as discussões a viabilidade para o uso potável da água de chuva. O clima e quantidade de afluentes são fatores importantes na determinação do tipo de política de distribuição de água que serão implantadas em cada país. Porém a questão cultural é o fator determinante na forma que essa discussão é levada para a questão social ou política. Segundo Coombes² (2002; apud BERTOLO, 2006), mais de três milhões de australianos utilizam água da chuva para beber. Porém, no Brasil, principalmente na região nordeste, onde a irregularidade das chuvas aumenta a intensidade e duração das estiagens, assim como na Austrália, não se vê utilização desse processo no combate a seca em cidades de pequeno médio ou grande porte. A rejeição dos sistemas de utilização de águas pluviais se dá na forma política e cultural, tanto para o uso não potável, como, principalmente, para o uso potável. Segundo Coombes (2002; apud BERTOLO, 2006) na Austrália, apesar do risco de doenças com o consumo da água da chuva ser pequeno, em decorrência das tecnologias implantadas na utilização desses sistemas, já foram registrados pelo governo alguns casos de doenças originadas direta, ou indiretamente desse consumo. No Brasil, o risco de contaminações biológicas, ou presença de impurezas químicas ou físicas, é o grande motivo de preconceito pela sociedade na utilização de água de chuva para fins potáveis e não potáveis, mesmo que, para o fim não-potável, não ocorra contato direto com a água. Para Bertolo (2006) é necessário entender, antes de qualquer conclusão sobre a viabilidade da questão, os parâmetros qualitativos e quantitativos analisados na determinação da qualidade da água da chuva.

Para May (2004), na atmosfera existe uma grande variedade de poluentes, os poluentes primários são emitidos diretamente pelas fontes de emissão, como os compostos de enxofre, e carbono; enquanto que os secundários são formados na atmosfera, como os compostos oxidantes, e as névoas ácidas.

Segundo Hagemann (2009), os fatores que estão ligados a alteração na qualidade da água da chuva são a região geográfica, a presença de carga poluidora

² COOMBES, P. J. – **Rainwater Tanks Revisited: New Opportunities for UrbanWater Cycle Management**. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy supervised by Associate Professor George Kuczera and submitted to the University of Newcastle, N.S.W., Australia, January 2002.

ou vegetações, o material composto pelo sistema hidráulico de utilização de água de chuvas, e a estação do ano.

Para Andrade Neto (2013), o primeiro milímetro de chuva é suficiente para a limpeza das impurezas da água em decorrência da sujeira do telhado.

2.4 NORMAS PARA O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA

A norma da ABNT NBR 15527/2007, fornece os requisitos para o aproveitamento de água da chuva em coberturas de zonas urbanas para fins não potáveis.

As normas NBR 10844/1989, que trata das normas referentes às instalações prediais de águas pluviais, e NBR 5626/1998, que trata das normas referentes às instalações prediais de água fria; são válidas para todos os tipos de projetos desses tipos de instalações no Brasil, e mostram quais parâmetros devem ser aceitos pela legislação nacional.

Em São Paulo, assim como em outros estados, como Rio de Janeiro, existe uma legislação específica para a coleta de águas de chuvas que estavam em vigor antes da NBR 15527/2007. Segundo Annercchini (2005), em São Paulo, a lei Nº 13.276/02 dá a obrigatoriedade para a coleta de água de chuva em empreendimentos com mais de 500 metros quadrados de área impermeabilizada. A crise hídrica de 2015 obrigou líderes políticos da cidade de São Paulo a avaliarem, em fevereiro de 2015, proposta de leis antigas, que estavam engavetadas desde 2001, como a PL044/2014, que obriga escolas públicas a utilizar a água da chuva (DOMINGOS, 2015).

A lei Nº 12.873, sancionada em outubro de 2013, institui o programa nacional de apoio à captação de água de chuva e outras tecnologias sociais de acesso a programas de cisternas, a lei permite um menor impasse burocrático no repasse de recursos financeiros de órgãos não governamentais ou instituições de pesquisa, visando, assim, facilitar a implantação de novos sistemas de aproveitamento de água das chuvas.

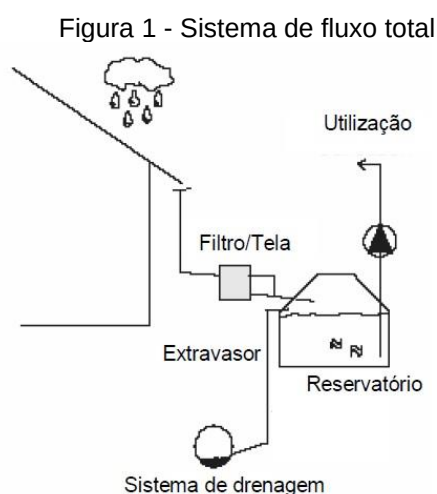
Para Veloso e Mendes (2013), a legislação brasileira esteve pouco atuante no âmbito do aproveitamento de águas pluviais, embora que nos últimos anos, em decorrência de estiagens, houve uma maior evolução legislativa.

De forma geral, a grande maioria das iniciativas legais vislumbra a utilização da água da chuva para fins não potáveis em mercados municipais, postos de lavagem de veículos postos de gasolina, em indústrias, prédios comerciais, entre outros. A efetivação em órgãos públicos, como escolas, além de dar o exemplo à sociedade, também possibilitaria uma intervenção contundente na educação ambiental e conscientização de toda comunidade escolar. (VELOSO; MENDES, 2013).

2.5 COMPONENTES DE UM SISTEMA HIDRÁULICO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Segundo Herrmann e Schmida³ (1999, apud Anecchini, 2005), existem quatro formas de construir um sistema hidráulico que vise a utilização de águas pluviais:

Sistema de fluxo total é o sistema em que a água captada pela área de coleta passa por uma tela de limpeza para a contenção de materiais grosseiros e vai direto para o reservatório de armazenamento, enquanto que o volume de chuva que extravasa do reservatório é direcionado para o sistema de drenagem, como pode ser visto na Figura 1.

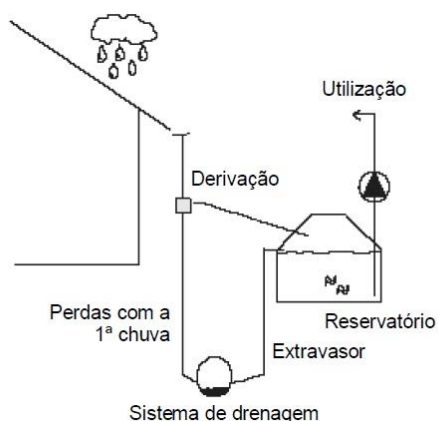


Fonte: (HERRMANN E SCHIMIDA 1999; apud ANNECCHINI, 2005).

No sistema auto-limpante, o volume captado pela área de coleta preenche, primeiramente, uma derivação, que serve para armazenar, e, posteriormente, descartar, um volume primário de chuva chamado de primeira chuva em que a quantidade de impurezas é significativa, como pode ser visto na Figura 2.

³ HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **UrbanWater**. V. 1, n. 4, p. 307-316, 1999.

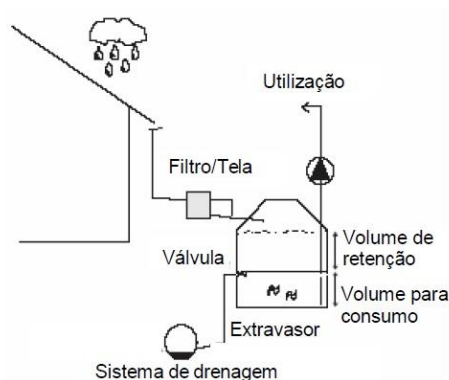
Figura 2 - Sistema auto-limpante



Fonte: (HERRMANN E SCHIMIDA 1999; apud ANNECCHINI, 2005, p.37).

O sistema de retenção é composto por um reservatório maior, capaz de acumular um volume de chuva adicional, como pode ser visto na Figura 3.

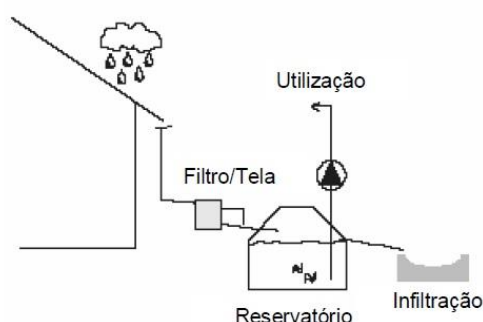
Figura 3 - Sistema com volume adicional



Fonte: (HERRMANN E SCHIMIDA 1999; apud ANNECCHINI, 2005, p.37).

No sistema de infiltração do solo, na Figura 4, a água também vai direto para o reservatório de armazenamento, passando por uma tela, porém, com o diferencial de que o volume de chuva que extravasa o armazenamento é direcionado para um sistema de infiltração de água no solo.

Figura 4 - Sistema com infiltração



Fonte: (HERRMANN E SCHIMIDA 1999; apud ANNECCHINI, 2005, p.37).

2.5.1 Área de Coleta

Qualquer superfície impermeável pode ser considerada como uma área de coleta de água, espaços abertos com piso de concreto, ou qualquer outro piso impermeável, assim como coberturas e telhados podem servir como área de captação para água da chuva.

A maior presença de poluentes físicos, químicos e biológicos, na área de captação de superfícies sobre o solo, em decorrência de diversos fatores, como veículos, pessoas, ou animais, torna os telhados ou coberturas uma melhor opção para diminuir esses poluentes (HAGEMANN, 2009). Outro grande fator que influi na preferência do uso dos telhados e coberturas na captação e utilização da água de chuva é a dificuldade no transporte da água de superfícies sobre o solo, que, na maioria dos casos, impossibilita o transporte da água por gravidade e exige outra forma de transporte, que pode se tornar inviável na maioria dos casos.

O atrito entre a água e o telhado em decorrência do transporte do mesmo, feito pela gravidade, até as calhas está intimamente relacionado ao coeficiente de escoamento superficial, que define o aproveitamento da água precipitada no telhado em relação ao tempo de precipitação da chuva. Para Hagermann (2009), o coeficiente de escoamento superficial está relacionado ao tipo de material do telhado, sendo que materiais mais lisos permitem um melhor escoamento da água no telhado, conseqüentemente, permitindo um melhor aproveitamento do volume de água da chuva. Para o Texas Water Development Board⁴ (2005; apud HAGEMANN,

⁴ TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. **The Texas Manual on Rainwater Harvesting**. 3ed. Austin, 2005.

2009) materiais metálicos como zinco e alumínio melhoram o desempenho no aproveitamento volumétrico de água coletado, em decorrência de uma menor porosidade do material, enquanto que materiais cerâmicos diminuem essa eficiência.

A área de coleta é responsável por promover o primeiro contato entre a água da chuva e poluentes físicos, químicos ou biológicos, dependendo do material de que o telhado é feito, ou de materiais utilizados no telhado, esses poluentes podem vir do próprio telhado ou de agentes naturais. Mesmo com a utilização de dispositivos de primeira lavagem, Bertolo (2006) recomenda que árvores que estejam sobre a superfície do telhado devem ser podadas, para impedir que animais ou folhas poluam a superfície, além disso, é importante a lavagem do telhado no fim de épocas secas, afim de diminuir a quantidade de poluentes.

2.5.2 Tratamento da água da chuva

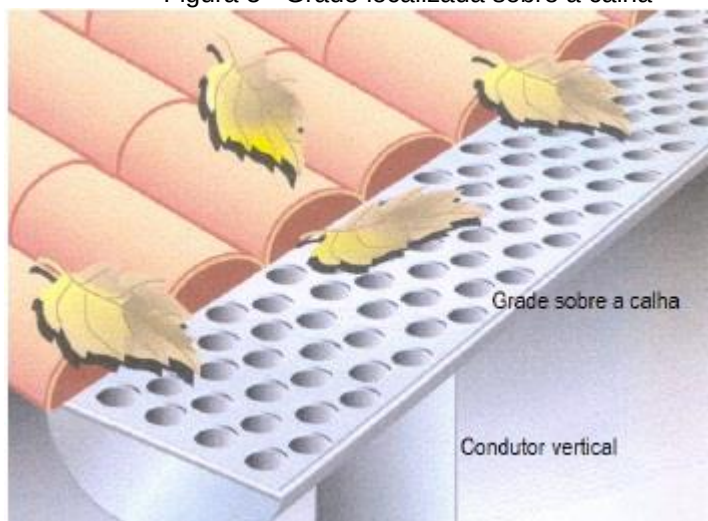
Segundo o Cunliffe⁵ (1998, apud Bertolo, 2006) antes de cair no telhado, a água da chuva é limpa, e livre de contaminações, porém, no caminho do sistema de captação, ela tem um grande potencial de adquirir contaminação química, física, ou biológica. No contato com a área de coleta, a água pode entrar em contato com compostos orgânicos vindo de plantas ou animais, ou até mesmo com protozoários e bactérias.

Jaques (2006) diz que, apesar de desestimulada pelo baixo preço da água potável nas cidades, o uso de água da chuva de forma potável seria possível, com a inclusão de equipamentos de filtração e cloração no sistema hidráulico, como ocorre, em alguns casos, no uso de cisternas em zonas rurais do semi-árido.

Outras medidas são importantes independentemente da utilização da água captada, como a utilização de grades nas calhas, dispositivos de descarte, e reservatórios bem adaptados. Para Hagemann (2009) o tratamento adequado da água depende de dispositivos que cuidem da retenção de materiais grosseiros, e de um reservatório que não somente evite a entrada de luz e de insetos, como também permita uma limpeza regular. A utilização de grades, como indicado na Figura 5, é, segundo May (2004) um dos métodos a serem utilizados para a contenção de materiais grosseiros, como folhas.

⁵ CUNLIFFE, D.A. – **Guidance on the use of Rainwater tanks**. National Environmental health Forum Monographs. Water Series 3. South Australian Health Commission. South Australia, 1998.

Figura 5 - Grade localizada sobre a calha



Fonte: (WATERFALL 2002; apud MAY, 2004).

Bertolo (2006) diz que a sedimentação de material dentro do reservatório irá melhorar a qualidade da água, desde que o fluxo de água não agite esses segmentos. O sistema de aproveitamento também deve incluir: um telhado impermeável, um filtro grosseiro, ou um pequeno reservatório de descarte de primeira chuva (BERTOLO, 2006).

Para May (2004), estudos comparativos entre a água aproveitada de precipitações coletadas já no reservatório de armazenamento e coletadas ainda na superfície de captação mostraram uma melhor qualidade da água contida no reservatório, comprovando, assim, a eficácia do sistema de tratamento. Porém ainda existia na água coletada do reservatório de armazenamento uma alta quantidade de impurezas biológicas.

2.5.3 Técnicas Para Descarte da água de Limpeza do Telhado

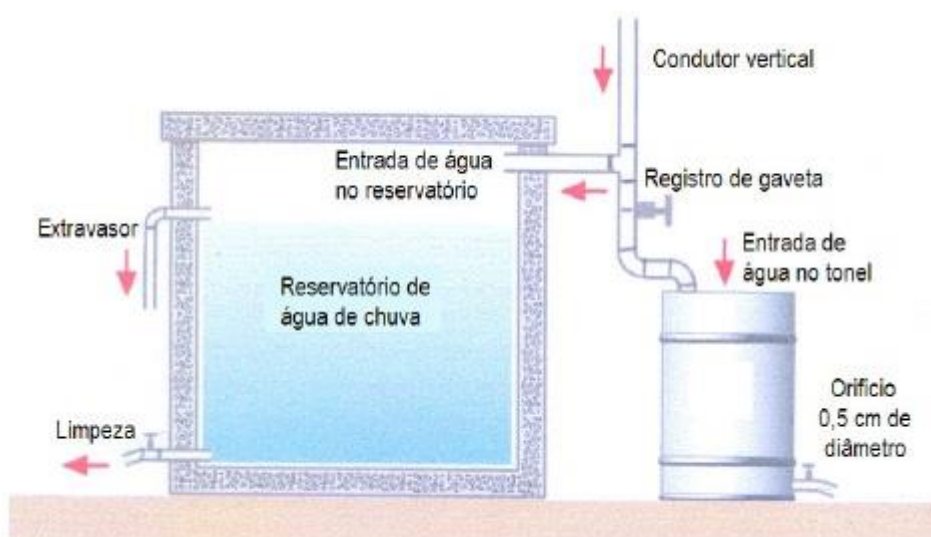
Em qualquer residência de zona urbana ou rural, o telhado da casa está sujeito a passagem de ratos, gatos, ou pássaros, que deixam sujeira, assim como outros poluentes orgânicos trazidos pelos ventos. Portanto, no sistema hidráulico de aproveitamento de água pluvial auto-limpante, usado na maioria dos casos, é necessária a implantação de um dispositivo que descarte os primeiros milímetros de

chuva, responsável, assim, pela limpeza do telhado.

2.5.3.1 Tonel de Descarte

Segundo Dacach⁶ (1990, apud May, 2004), esse sistema é composto por um tonel provido de um orifício na parte inferior de 0,5 centímetros, o tonel tem volume relativo à área de captação, mas que preferencialmente deverá ter 50 litros de capacidade, instalado após a saída do condutor vertical, como pode ser visto na Figura 6. O reservatório de captação é conectado horizontalmente junto à conexão do tonel com a saída do condutor vertical, sendo a vazão do orifício menor que a vazão do condutor vertical, o tonel irá encher, e assim, passando a escoar água para o reservatório.

Figura 6 - Tonel de descarte



Fonte: (DACACH, 1990).

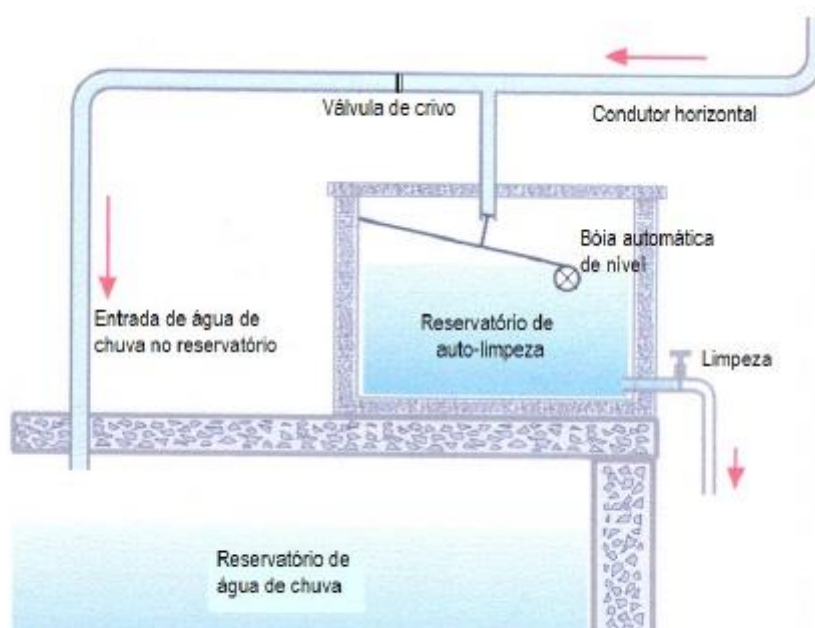
Esse método torna-se ineficiente para chuvas de baixa intensidade, pois poderia não permitir o acúmulo de água no tonel. Porém, para chuvas de alta intensidade, esse sistema poderia ser eficiente. No aspecto econômico o tonel torna-se mais eficiente, pois utiliza menos dispositivos que outros sistemas de descarte.

2.5.3.2 Reservatório de Auto-limpeza com Torneira de Bóia

⁶ DACACH, N. G.. **Saneamento básico**. 3ed. Rio de Janeiro: Didática e Científica, 1990.

Segundo May (2004) esse sistema é formado por um pequeno reservatório instalado, preferencialmente, em cima do reservatório principal; esse reservatório menor receberá os primeiros milímetros de chuva até atingir o limite de sua capacidade, a torneira de boia impedirá o fluxo de água, permitindo o escoamento para o reservatório principal, como mostra a Figura 7. Uma abertura com registro na parte inferior do reservatório menor é necessária para esvaziá-lo.

Figura 7 - Sistema de auto-limpeza com torneira de boia

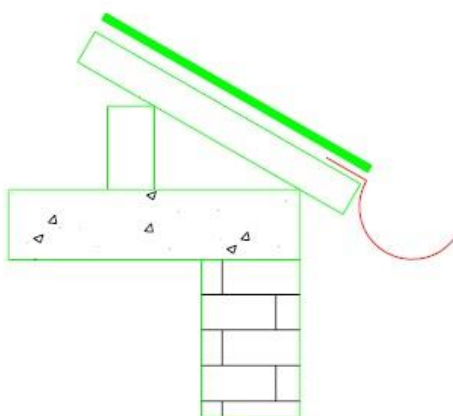


Fonte: (DACACH, 1990).

2.5.4 Calhas e Condutores

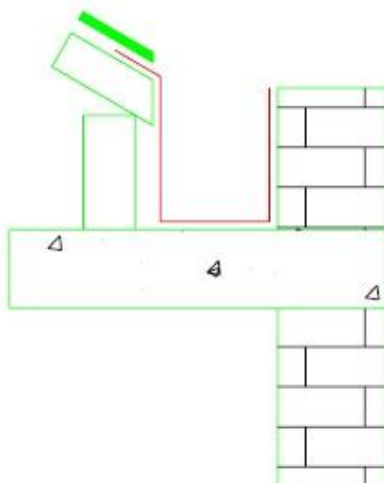
As calhas e os condutores (verticais e horizontais) são, no sistema hidráulico, o elo entre a área de captação e o reservatório de limpeza. Segundo a NBR 10844/89, As calhas semicirculares podem ser do tipo beiral, água furtada, ou platibanda, como indicam as Figuras 8, 9, e 10, respectivamente.

Figura 8 - Calha de beiral



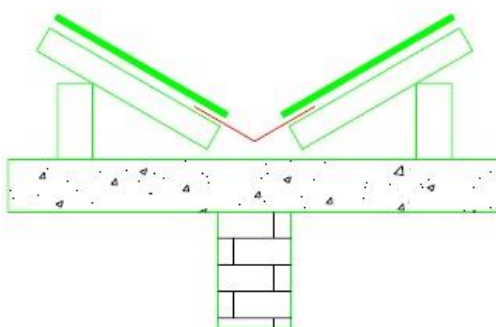
Fonte: (GHISI; GURGEL, 2005, p.4).

Figura 9 - Calha de platibanda



Fonte: (GHISI; GURGEL, 2005, p.4).

Figura 10 - Calha água furçada



Fonte: (GHISI; GURGEL, 2005, p.4).

Os materiais de fabricação das calhas podem ser: aço galvanizado, PVC,

chapa de cobre, alumínio, fibra de vidro, entre outros; além de necessitarem de um cuidado especial com relação a limpeza, pois toda a sujeira do telhado é levada até as calhas, causando, assim, uma maior contaminação ou entupimento das mesmas.

Duncan e Wigth⁷ (1991, apud Bertolo, 2006) descobriram que calhas que não eram limpas há mais de 2 anos tinham qualidade da água muito parecidas com as de calhas que eram limpas frequentemente, mesmo assim, é recomendado limpezas regulares afim de evitar entupimentos ou contaminações.

Segundo Bertolo (2006), nos Estados Unidos, o material mais comum utilizado em calhas e tubulações é o alumínio e o aço galvanizado. Já no Brasil, segundo Hagemann (2009) o material mais utilizado é o policloreto de vinila (PVC).

A NBR 15527/07 recomenda que as calhas e condutores devem atender as normas da NBR 10844/89, e também a instalação de grades para a remoção de materiais grosseiros.

2.5.5 Reservatório de Armazenamento

Após ser captada pela área de coleta, passar pelos condutores, e por fim, pelo sistema de limpeza, a água chega ao reservatório de Armazenamento. Situado em qualquer local do terreno, o reservatório pode está enterrado, semi-enterrado, apoiado ou elevado. Eles podem ser pré-moldados, ou construídos *in loco*. Para Anecchini (2005), os reservatórios de armazenamento podem ser feitos de diversos materiais diferentes, como polietileno, fibra de vidro, concreto armado, ou alvenaria; e devem ser locados verificando as características do terreno, a fim de aproveitar suas declividades. Bertolo (2006) ressalta a importância do equilíbrio entre o aspecto econômico e a preservação da qualidade da água, para a localização do reservatório se deve levar em consideração não somente a menor distância entre os pontos de captação, mas também um ponto que sofre a menor incidência possível de raios solares.

Segundo o Texas Water Development Board (2005, apud Hagemann, 2009), o equilíbrio entre qualidade da água e economia financeira está na escolha dos materiais do reservatório; os reservatórios de concreto, por exemplo, diminuem a acidez da água devido à presença de cálcio, porém para o uso potável da água

⁷ DUNCAN, H. P.; WIGHT, D. J. – **Rainwater tanks for domestic water supply in the Melbourne área.** Board of Works Water Supply Division. Australia, 1991.

reaproveitada, a necessidade do revestimento interior de materiais de alta qualidade aumenta o custo do reservatório. Os reservatório de ferro-cimento têm um custo reduzido e é o mais utilizado, porém possui uma menor duração.

Segundo o manual da ANA/FIESP & Sinduscon-SP⁸ (2005, apud Hagemann, 2009), características importantes do projeto do reservatório, tais como, evitar a entrada de luz, manter a tampa de inspeção fechada, realização de limpeza anual, e assegurar que a água seja utilizada apenas para fins não-potáveis; devem ser consideradas.

A NBR 15527/07 afirma que os reservatórios devem atender as exigências da NBR 12217/94, além disso, a norma recomenda a limpeza dos reservatórios no mínimo uma vez por ano, de acordo com a ABNT NBR 5626, e a não utilização de conexão cruzada caso o reservatório seja abastecido, também, por água potável.

2.6 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para a estimativa do volume de água que pode ser aproveitado pelo reservatório, ou mesmo para o dimensionamento do mesmo, é necessário, primeiramente, estimar o percentual de perda da água precipitada decorrente de vazamentos, limpeza ou evaporação. O coeficiente de escoamento superficial é um parâmetro adimensional, também chamado de coeficiente de Runoff, resultante da relação entre o volume de água que escoar sobre uma superfície e o volume de água precipitado sobre essa superfície (HAGEMANN, 2009).

Segundo May (2004), são vários os fatores importantes na determinação do coeficiente de escoamento superficial: a qualidade da água da chuva aliado ao tipo e material e inclinação do telhado determinam a porcentagem da água precipitada que é absorvida, evaporada, ou destinada a limpeza do telhado, indicando assim o coeficiente de escoamento superficial. Para Hofkes⁹; Frasier¹⁰ (1981;1975; apud May, 2004) os coeficientes de runoff para telhas cerâmicas e corrugadas de metal devem ser adotados de acordo com a Tabela 1.

⁸ ANA, FIESP & SINCUSCON-SP. **Conservação e reuso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005. 152 p.

⁹ HOFKES, E. H.. **Rainwater harvesting for drinking water supply and sanitation**. Londres: International reference Center for communing water supply. 1981.

¹⁰ FRASIER, G. W.. **Proceedings of water harvesting symposium**. Berkeley: USDA 9United states agricultural research service). 1975.

Tabela 1 - Coeficiente de Escoamento Superficial Adotado por Hofkes (1981); Frasier (1975).

MATERIAL	COEFICIENTE DE RUNOFF
TELHAS CERÂMICAS	0,8 A 0,9
TELHAS CORRUGADAS DE METAL	0,7 A 0,9

Fonte: Hofkes (1981);Frasier(1975) apud May (2004).

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

O presente trabalho foi desenvolvido através de uma pesquisa bibliográfica e descritiva, na qual se busca informações em livros, artigos, e dissertações, que tratam do contexto de instalações hidráulicas, a fim de juntar informações e formular hipóteses a respeito da instalação de um sistema hidráulico de águas pluviais que busque a utilização da água da chuva para fins externos.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi um projeto arquitetônico fictício de uma residência unifamiliar, situada na cidade de Alexandria no estado do Rio Grande do Norte. Uma residência de um pavimento com 90,36 m² de área, dois quartos, uma sala, um banheiro, uma cozinha, uma garagem, e uma área de serviço, como mostra o Apêndice B.

No projeto, a residência tem sua entrada principal direcionada para o sul, e possui uma cobertura de duas águas, sendo uma caindo para a lateral norte e outra para a lateral sul. A cumeeira, de 2,49 metros de altura, está localizada exatamente no centro da residência, a uma distância horizontal de 8,61 metros de cada parede. O terreno possui uma área de 250 m², sendo cada recuo verificado no Apêndice A.

Partiu-se da hipótese que uma família de 5 pessoas habite a residência e que a mesma deseja instalar um sistema hidráulico que utilize apenas água da chuva e que funcione durante todo o ano para 3 fins externos: a rega do jardim, que possui 27,84 metros quadrados; A lavagem da área externa impermeável da calçada, que possuem no total 42 metros quadrados; e lavagem do carro da família.

3.3 MÉTODO PARA O CÁLCULO DA ÁREA DE CAPTAÇÃO

Segundo a NBR 10844/89 no cálculo da área de captação deverá ser considerado a inclinação do telhado e a presença de paredes. Neste trabalho não foi considerada a angulação do vento, que alteraria os valores da área de captação. Para a consideração da angulação do vento, são necessários dados precisos com

relação a esses fatores.

Para cobertura sem paredes, o cálculo foi feito, segundo a NBR 10844/89, com os parâmetros indicados na figura 11, pela Equação 1.

$$A = \left(a + \frac{h}{2}\right).b \quad (1)$$

Onde: A é a área em m^2 ; a , b , e h são os parâmetros indicados na figura 11.

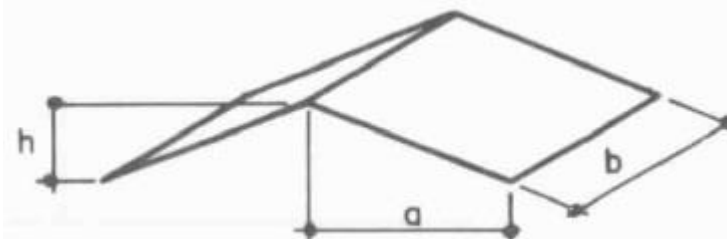


Figura 11 - Superfície inclinada

Fonte: NBR 10844/89.

3.4 MÉTODO PARA O CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO

A vazão de projeto foi calculada com o intuito de determinar o melhor dimensionamento possível dos condutores, a fim de aproveitar ao máximo todo o volume captado pela cobertura, a vazão de projeto diz o volume de água, em litros, que é conduzido para as calhas por uma determinada área de captação. Segundo a NBR 10844/89, a vazão de projeto deve ser calculada pela Equação 2.

$$Q = \frac{C.I.A}{60} \quad (3)$$

Em que: Q é a vazão de projeto dada em l/m ; C é o coeficiente de escoamento superficial, que segundo a NBR 10844/89 é igual a 1; A é a área de cobertura dada em m^2 ; e I é a intensidade pluviométrica máxima média dada em mm/h .

3.5 MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DO CONSUMO DE ÁGUA

Na análise da eficiência do reservatório e do sistema hidráulico, é necessário avaliar a demanda em um certo período de tempo para o caso estudado. Para uma residência unifamiliar de até 5 habitantes, Annecchini (2005) recomenda a utilização

dos dados da Tabela 2.

Tabela 2 - Demanda Externa de Água não Potável em uma Residência.

PARÂMETROS		VALORES UTILIZADOS
Gramado ou jardim	Área	5 m ²
	Volume	2 L/dia/m ²
	Frequência de rega	8 regas/mês
Área impermeável	Área	5 m ²
	Volume	3 L/dia/mês
	Frequência de rega	8 lavagens/mês
Lavagem de 1 carro	Volume	100 L/lavagem/carro
	Frequência de lavagem	2 lavagens/mês

Fonte: Adaptado de Anecchini (2005).

3.6 MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA MÁXIMA DA CIDADE DE ALEXANDRIA

A intensidade máxima média de precipitação, segundo a NBR 10844/89, estima a ocorrência extrema de precipitação para uma determinada duração e um determinado tempo de retorno. Para essa estimativa, segundo Bernard (1930, apud Santos, 2015), poderá ser utilizada a Equação 3.

$$I_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad (2)$$

Em que: I_m é a intensidade máxima média, dada em mm/h; T é o tempo de retorno em anos; t é a duração da precipitação, em minutos; K , a , b e c são parâmetros de ajuste para cada localidade, que, para a cidade de Alexandria (RN, são indicados, segundo Santos (2015), no anexo B.

Segundo a NBR 10844/89 a duração da precipitação t deverá ser fixado em cinco minutos, e o período de retorno T deverá ser fixado de acordo com as características da área a ser drenada, sendo de um ano para áreas pavimentadas, onde empoçamentos possam ser tolerados; cinco anos para coberturas ou terraços; ou vinte e cinco anos para áreas em que empoçamentos não possam ser tolerados.

3.7 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

3.7.1 Calhas

Segundo a NBR 10844/89, antes do cálculo das dimensões das calhas, será necessária uma verificação do projeto hidráulico da área de captação. Nessa verificação deverá ser avaliada a localização e distribuição das calhas na cobertura, e o material de confecção das calhas. Dependendo da distribuição, um novo parâmetro é inserido nos métodos de dimensionamento: segundo a NBR 10844/89, em calhas de beiral ou platibanda, quando a saída (curva que liga a calha a uma tubulação vertical) estiver a menos de 4 metros de uma mudança de direção, o coeficiente multiplicativo de vazão de projeto deverá ser inserido nos parâmetros da equação de dimensionamento, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficiente Multiplicativo da Vazão de Projeto

TIPO DE CURVA	CURVA A MENOS DE 2 METROS	CURVA ENTRE 2 E 4 METROS
Canto Reto	1,2	1,1
Canto arredondado	1,1	1,05

Fonte: NBR 10844/1989.

A verificação do tipo de material das calhas será de essencial importância em seu dimensionamento, pois o coeficiente de rugosidade, utilizado nas fórmulas de dimensionamento, é relativo ao tipo de material. A Tabela 4 mostra o coeficiente de rugosidade adotado para os principais materiais utilizados nas calhas.

Tabela 4 - Coeficiente de Rugosidade para Determinados Materiais segundo a NBR 10844/89

MATERIAL	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE
Plástico, aço, metais.	0,011
Ferro fundido, concreto alisado.	0,012
Cerâmica, concreto não-alisado.	0,013
Alvenaria de tijolos.	0,015

Fonte: NBR 10844/1989

Para a NBR 10844/89 o dimensionamento das calhas foi feito através da fórmula de Manning-Stricker (Equação 4).

$$Q = K \cdot \frac{S}{n} R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Em que: Q é a vazão de projeto, dada em l/min; K é um parâmetro de correção de unidade equivalente a 60000; S é a área de seção molhada da calha em m^2 ; n é o coeficiente de rugosidade; R é o raio hidráulico em metros; e i é a declividade da calha, dada em m/m.

Uma maior facilidade e praticidade no dimensionamento das calhas foi alcançada fixando algumas variáveis na fórmula de Manning-Stricker, como raio hidráulico, área molhada (considerando sempre para calhas semicirculares a lâmina de água igual a metade do diâmetro interno), e coeficiente de rugosidade; e alterando o valor da declividade. A Tabela 5 fornece valores de vazões suportadas para determinado diâmetro interno e declividade de 0,5%.

Tabela 5 - Vazão Suportada de Calhas Semicirculares com Coeficiente de Rugosidade igual a 0,011 e Inclinação de 0,5%.

DIÂMETRO INTERNO (mm)	VAZÃO (l/minuto)
100	130
125	236
150	384
200	829

Fonte: NBR 10844/1989.

Neste trabalho, para casos em que o valor da vazão não coincida exatamente com os valores da Tabela 5, foram adotados os valores de diâmetro interno da vazão mais próxima superior à calculada pela equação 4.

3.7.2 Condutores Verticais e Horizontais

Segundo a NBR 10844/89, para vazões de projeto pequenas (abaixo de 200 l/min), deverá ser adotado o diâmetro mínimo dos condutores verticais (70 mm).

Os condutores horizontais foram dimensionados considerando uma declividade uniforme de 0,5%. Portanto, considerando, em um condutor circular com coeficiente de rugosidade para materiais como PVC (0,011), uma altura de lâmina de água igual a 2/3 do diâmetro interno, e a vazão de projeto, o diâmetro interno do condutor vertical foi obtido através da Tabela 6.

Tabela 6 - Vazão Suportada em Condutores Horizontais de Seção Circular com Coeficiente de Rugosidade de 0,011 e Inclinação de 0,5%.

DIÂMETRO INTERNO (mm)	VAZÃO (l/minuto)
50	32
75	95
100	204
125	370
150	602
200	1300
250	2350

Fonte: NBR 10844/1989.

3.8 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS

3.8.1 Método de Rippl

O método de Rippl considera séries históricas, sendo médias ou não, de precipitação, que pode ser de meses ou dias.

No método de Rippl para séries históricas diárias, são considerados os dias em que a demanda de água é maior do que a precipitação aproveitável de chuva, a soma desses volumes determina o valor do volume do reservatório.

Para séries históricas médias mensais, que será adotado nessa metodologia, são tomados os meses no ano em que a precipitação aproveitável é menor do que a demanda mensal. A soma desses volumes determina o volume do reservatório, como se vê nas Equações 5 e 6.

$$S_{(t)} = D_{(t)} - (A.C.P_{(t)}) \quad (5)$$

$$V = \sum S_{(t)} \quad (6)$$

Onde: $S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório em m^3 no tempo t ; C é o coeficiente de *Runoff*; A é a área de captação em m^2 ; V é o volume do reservatório para os valores de $S_{(t)}$ maiores que zero; $D(t)$ é a demanda em m^3 no tempo t ; e $P(t)$ é a precipitação em mm no tempo t .

O volume determinado pelo método de Rippl é, em teoria, o volume mínimo do reservatório necessário para atender a demanda, diária ou mensal, durante o tempo estudado no dimensionamento. A precisão do dimensionamento aumenta

quanto menor for o intervalo de tempo de análise.

Considerando o percentual de precipitação mensal, sugerido por Climate Date (2015), disponível na Tabela 7. A partir disso, aplicando esses dados a uma série histórica anual de precipitação segundo EMPARN (2015, apud Santos. 2015), disponível no Anexo A. Têm-se uma estimativa de precipitação média mensal, de acordo com a Tabela 8.

Tabela 7 - Percentual Mensal de Precipitação para a cidade de Alexandria (RN)

MÊS	PERCENTUAL DE PRECIPITAÇÃO
Janeiro	8,78%
Fevereiro	16,6%
Março	26,3%
Abril	22,8%
Maio	11,9%
Junho	4,7%
Julho	2,7%
Agosto	0,58%
Setembro	0,47%
Outubro	0,82%
Novembro	0,94%
Dezembro	3,33%

Fonte: adaptado de Climate Date (2015).

Tabela 8 - Estimativa da precipitação média mensal para a cidade de Alexandria (RN)

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (mm)
JANEIRO	71,9
FEVEREIRO	136,2
MARÇO	215,8
ABRIL	187,0
MAIO	97,8
JUNHO	38,4
JULHO	22,1
AGOSTO	4,8
SETEMBRO	3,8
OUTUBRO	6,7
NOVEMBRO	7,7
DEZEMBRO	26,8

Fonte: Autoria própria.

3.8.2 Método Prático Segundo Azevedo Neto

O método prático segundo Azevedo Neto não considera a demanda de água, nem o coeficiente de escoamento superficial. O grande diferencial do método é a

introdução, como parâmetro da equação, do número de meses em que não ocorre chuva na região, servindo como uma compensação por estimar o volume do reservatório com dados anuais (o que poderia diminuir a precisão do dimensionamento), isso pode trazer um dimensionamento mais preciso para regiões com tempo de estiagem considerável, como a região semi-árida. O volume pôde ser obtido, segundo a NBR 15527/07, através da Equação 7.

$$V = 0,042.P.A.T \quad (7)$$

Onde: P é a precipitação anual média, dada em mm; A é o valor da área de captação em m²; T é o valor numérico de meses em que há pouca precipitação; e V é o volume do reservatório em m³.

A NBR 15527/07 não especifica os parâmetros determinantes na identificação dos meses com pouca precipitação, neste trabalho foram considerados meses com pouca precipitação aqueles com média mensal menor que 20 mm de chuva.

3.8.3 Método prático alemão

É um método empírico que busca o menor valor possível para o volume do reservatório, assim, o método é ideal para a busca da melhor viabilidade econômica possível, porem poderá ter sua eficiência e confiabilidade mais baixa em relação a outros métodos.

O método prático alemão considera a demanda e o coeficiente de escoamento superficial na determinação do volume do reservatório. O método consiste em fazer uma análise de dados anuais referentes à demanda e a precipitação aproveitável. Adotando-se o termo de menor valor numérico, o volume do reservatório será 6% desse valor, como mostra a equação 8.

$$V = \min(Q; D).0,06 \quad (8)$$

Em que: V é o volume do reservatório em m³; D é a demanda anual em m³; e Q é o valor numérico do volume de água precipitada aproveitável.

3.9 MÉTODO DE VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA E CONFIABILIDADE DO RESERVATÓRIO

Com a determinação do volume do reservatório é possível verificar todo o aspecto econômico e comportamental do sistema hidráulico, neste trabalho foi abordado o aspecto comportamental do sistema, estimando sua eficiência e confiabilidade. Segundo May (2004) a verificação do reservatório pode ser feita através de planilha eletrônica a fim de facilitar os cálculos. Na planilha é possível fazer um estudo mensal do comportamento do reservatório, determinando, para cada mês, o volume de armazenamento no início do mês, volume de armazenamento no final do mês, *overflow* (volume de água que extravasa do reservatório no mês), e suprimento (volume de água adicionado externamente ao reservatório necessário para suprir a demanda mensal).

Neste trabalho foram estimados o desempenho de 3 sistemas hidráulicos, formados, cada um, por um reservatório dimensionado por um método diferente. Com as características específicas dos 3 métodos foi possível fazer uma comparação dos resultados e avaliar qual dos 3 métodos é mais eficiente no dimensionamento. O reservatório A, dimensionado pelo método de Ripp, o reservatório B pelo método prático Azevedo Neto, e o reservatório C pelo método prático alemão. Na estimativa de desempenho foram avaliadas duas situações: na primeira situação foi considerado que o sistema hidráulico será instalado no dia 1º de janeiro e o reservatório iniciará vazio; na segunda situação foi considerado o desempenho do reservatório a partir do segundo ano, em que, no mês de janeiro, o reservatório iniciará com o volume do final do mês de dezembro. As duas situações foram avaliadas a fim de considerar o desempenho dos sistemas hidráulicos não apenas no primeiro ano de uso, mas também nos demais.

O volume final foi o volume, em m³, disponível para o reservatório armazenar no final do mês, esse volume foi relacionado com a demanda mensal, precipitação mensal, e o volume armazenado no início do mês, como mostra a Equação 9.

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

Onde: $V_{(t-1)}$ equivale ao volume no início do mês, em m³; D é a demanda

mensal em m^3 ; V é o volume final, em m^3 , que poderá ser armazenado no reservatório no final do mês; e Q é o volume utilizável decorrente da precipitação mensal, em m^3 .

Caso o volume final seja maior que o volume do reservatório, então o reservatório, naquele mês, não aproveitará toda a água disponível pelas precipitações. Esse volume de água que extravasa do reservatório é chamado de *overflow* e pode ser determinado pela Equação 10.

$$O = V - V_r \quad (10)$$

Onde: O é o *overflow*, em m^3 ; V_r é o volume do reservatório, em m^3 ; e V é o volume final, em m^3 .

Caso o volume final seja maior que zero, e menor ou igual ao volume do reservatório, o volume de água no reservatório no final do mês será igual ao volume final, assim o *overflow* será 0, e todo o volume precipitado foi aproveitado pelo sistema hidráulico e pela demanda.

O suprimento é o volume de água, em metros cúbicos, que necessita ser adicionado, por meios externos, ao reservatório para que toda a demanda mensal seja atendida, isso ocorre quando o valor do volume final V da equação 9 é menor que zero. Para os meses que o volume final seja maior que zero, significa que o valor do suprimento é 0.

O suprimento pode ser calculado, para os casos em que o volume final seja menor que zero, pela Equação 11.

$$S = D - (V_{(t-1)} + Q) \quad (11)$$

Onde: S é o suprimento, em metros cúbicos; $V_{(t-1)}$ é o volume no início do mês, dado em m^3 ; D é a demanda mensal em m^3 ; e Q é o volume utilizável, em decorrência da precipitação mensal, em m^3 .

Avaliando os dados para os 12 meses do ano, foi possível determinar, através do *overflow* total e dos dados mensais de suprimento, a eficiência do sistema hidráulico, que é definido por McMahon e Mein¹¹ (1978, apud Tomaz, 2012) como

¹¹ MACMAHON, T. A.; MEIN, R. G. **Reservoir capacity and yield**. Editora Elsevier, 1978. NY 215 p.

sendo a porcentagem do volume máximo aproveitável que é, realmente, aproveitado para o consumo, pela Equação 12.

$$Ef = \frac{Q_t - \sum O}{Q_t} \quad (12)$$

Em que: $\sum O$ é o *overflow* total, em m³; Q_t é a volume total que pode ser aproveitado pelo sistema, em m³; e Ef é a eficiência do sistema em porcentagem.

A confiabilidade do sistema, segundo McMahon e Mein (1978, apud Tomaz, 2012), mede a porcentagem de meses em que a demanda é totalmente atendida pelo sistema, ela pode ser calculada pela Equação 13.

$$Rf = 1 - \frac{N_r}{N} \quad (13)$$

Onde: Rf é a confiabilidade do sistema; N_r é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda; e N é o número meses de estudo.

O valor da confiabilidade do sistema não será influenciado por variações de demanda, pois será considerada, neste trabalho, uma demanda mensal fixa, que não será influenciada por nenhum tipo de fator externo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DEMANDA MENSAL PARA CONSUMO EXTERNO

O resultado do cálculo da demanda total externa da residência é mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultado do Cálculo da Demansa Externa Mensal

PARÂMETRO	DEMANDA (m³/mês)
Jardim ou gramado	0,445
Área externa impermeável	1,008
Lavagem de carro	0,2
Total	1,653

Fonte: Autoria própria.

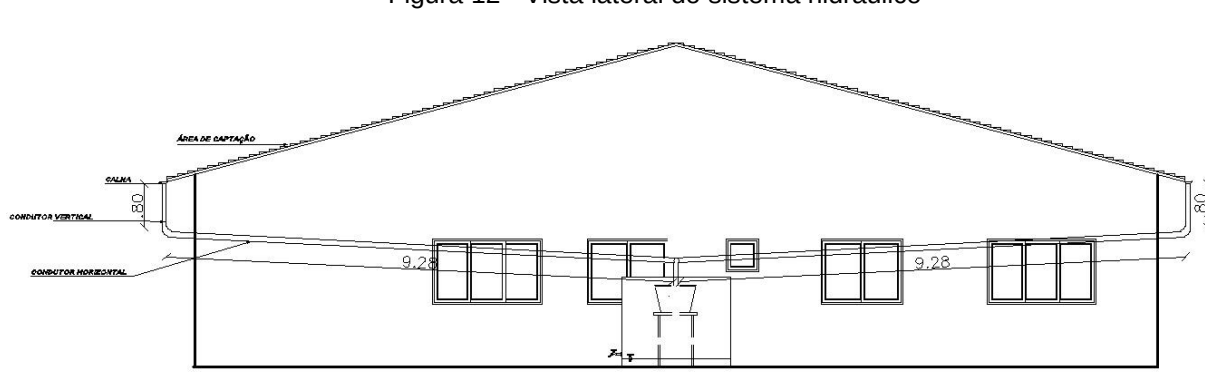
Percebe-se pela tabela que, para fins externos, a demanda mensal de água em residências dificilmente ultrapassará valores acima de 2 metros cúbicos, isso significa que métodos de dimensionamento de reservatórios que não consideram a demanda mensal ou anual podem apresentar resultados muito distintos dos métodos que utilizam a demanda.

4.2 SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA

4.2.1 Concepção

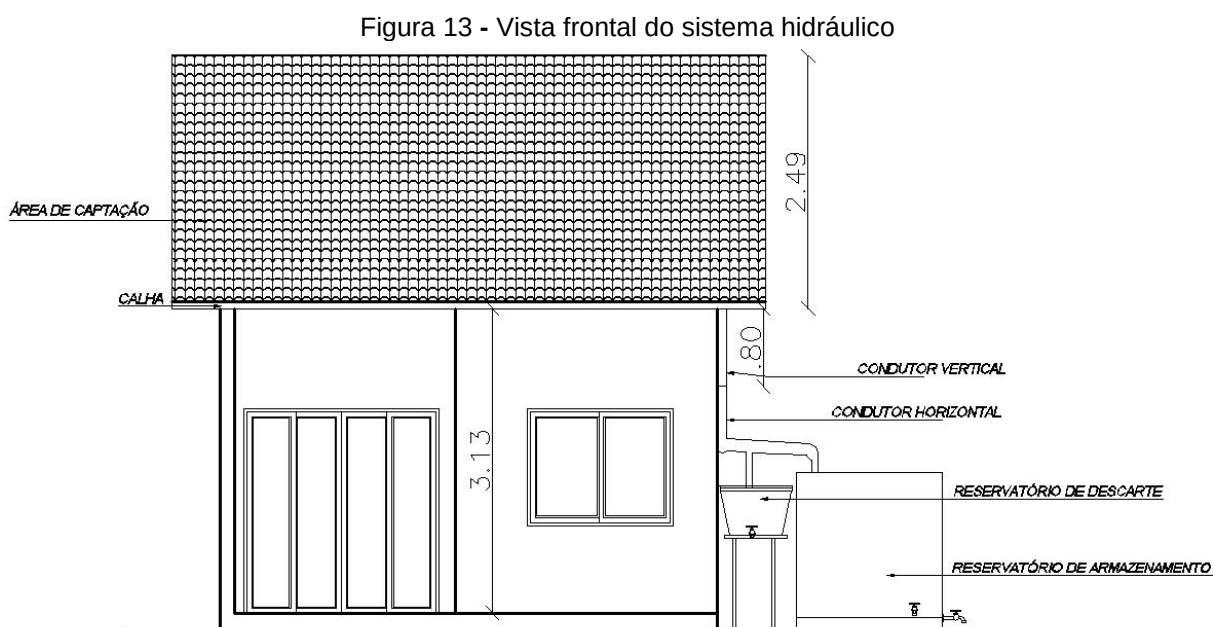
As calhas serão do tipo beiral semicirculares de PVC, irão ser instaladas nas duas águas a fim de captar a água que escoará das mesmas, e terão inclinação de 0,5%. Como o reservatório será instalado no lado leste da residência, a ligação entre as calhas e os condutores será também no lado leste (Figura 12), a fim de diminuir a distância, e conseqüentemente diminuindo custos e aumentando a eficiência.

Figura 12 - Vista lateral do sistema hidráulico



Fonte: Autoria própria.

As calhas terão saída de aresta viva, e serão conectadas a tubos verticais, também de PVC, com 80 cm de comprimento, até serem conectados a tubos horizontais por uma curva de 90°. Os dois horizontais terão 9,28 metros de comprimento e serão conectados com outro tubo horizontal por uma curva de 90°, como pode ser visto na Figura 13. A junção das duas vazões será feita por um tê, que levará um condutor horizontal até o encontro de outro tê, que terá uma saída responsável por escoar água para o reservatório de descarte, e outra responsável por escoar água até um joelho de 90° que levará água até o reservatório principal, como mostra a Figura 13.



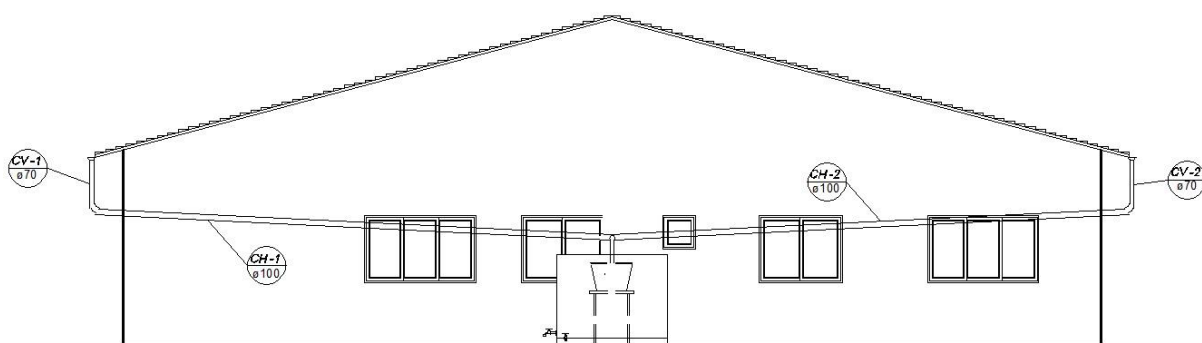
Fonte: Autoria própria.

4.2.2 Dimensionamento

Utilizando a Equação 1, pode-se determinar a área de cobertura como sendo de 129,32 m², sendo essa área dividida igualmente pelas duas águas. Com os dados de área de cobertura do projeto e intensidade pluviométrica média máxima da cidade (131,59 mm/h, para um tempo de retorno de 5 anos), obteve-se uma vazão de projeto total, de acordo com a Equação 3, de 283,62 l/min, sendo 141,81 l/min para cada calha. O diâmetro interno das calhas (CA-1) foi obtido através da Tabela 5, utilizando uma vazão de 141,81 l/min, o diâmetro interno nominal escolhido foi de 125 mm.

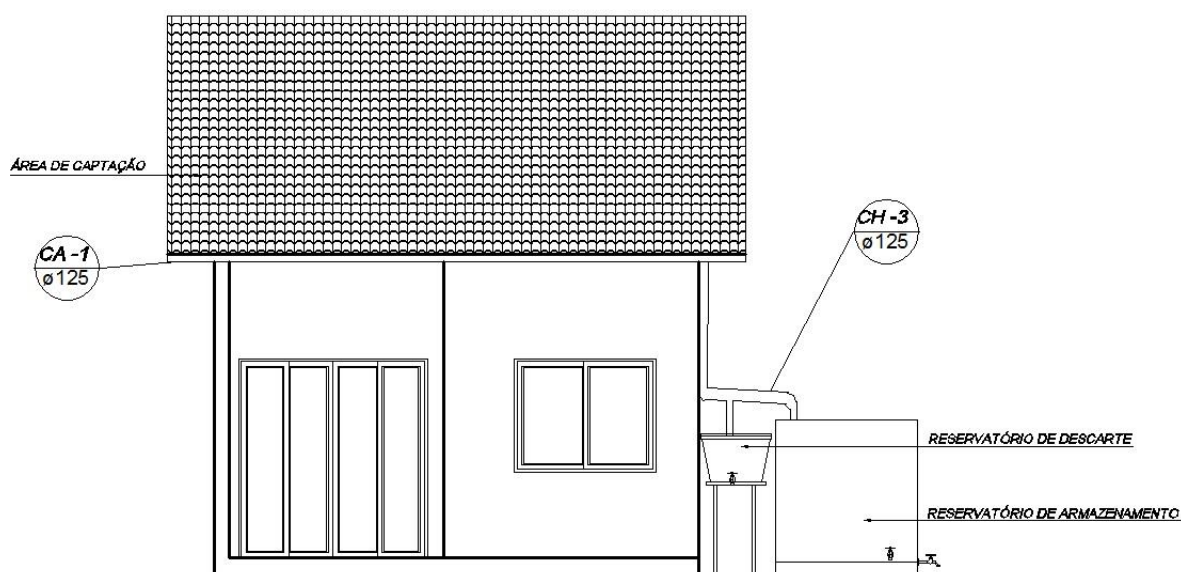
Para os condutores verticais (CV-1, CV-2) foi escolhido o diâmetro mínimo de 70 mm, considerando que a vazão não é maior que 200 l/min. Para os condutores horizontais foi utilizada a Tabela 6, sendo escolhido o diâmetro de 100 mm para os que recebiam a vazão de 141,81 l/min (CH-1, CH-2), e 125 mm, para o que recebia a vazão de 283,62 l/min (CH-3). As Figuras 14 e 15 mostram a distribuição dos condutores e seus diâmetros internos.

Figura 14 - Vista lateral com representação das peças hidráulicas e seus diâmetros internos



Fonte: Autoria própria.

Figura 15 - Vista frontal com representação das peças hidráulicas e seus diâmetros internos



Fonte: Autoria própria.

4.3 ARMAZENAMENTO

O reservatório de descarte, responsável por armazenar, segundo Andrade Neto (2013) o primeiro milímetro de chuva foi dimensionado de acordo com a área

de captação da cobertura. O reservatório de descarte teve um volume calculado de 0,13 m³, podendo ter sido construído *in loco* com o volume calculado, ou ter sido adquirido um modelo pré-fabricado de 0,100 m³. Com a avaliação das características pluviométrica apresentadas na Tabela 8, e devido o sistema de descarte de tonel não ser recomendado para chuvas de baixa intensidade, o sistema de auto-limpeza com torneira de boia se mostrou mais recomendável para a região.

Foi feito dimensionamento para 3 reservatórios, e cada um desses 3 reservatórios foram dimensionados por um método diferente.

O dimensionamento do reservatório A, feito através do método de Rippl foi desenvolvido, primeiramente, avaliando, através da Tabela 10, o valor mensal da diferença entre a demanda e o volume de precipitação média mensal aproveitável.

Tabela 10 - Avaliação da Demanda Mensal e do Volume Aproveitável Decorrente da Precipitação Média Mensal.

MÊS	VOLUME PRECIPITADO APROVEITÁVEL (m³)	DEMANDA MENSAL	D - Q (m³)
JANEIRO	7,44	1,65	-5,78
FEVEREIRO	14,09	1,65	-12,43
MARÇO	22,32	1,65	-20,67
ABRIL	19,35	1,65	-17,69
MAIO	10,12	1,65	-8,46
JUNHO	3,97	1,65	-2,31
JULHO	2,28	1,65	-0,62
AGOSTO	0,50	1,65	1,15
SETEMBRO	0,40	1,65	1,25
OUTUBRO	0,69	1,65	0,95
NOVEMBRO	0,79	1,65	0,85
DEZEMBRO	2,78	1,65	-1,12

Fonte: Autoria própria.

Considerando, de acordo com a Equação 6, os somatórios dos valores de S em que a demanda é maior que a precipitação aproveitável, o volume calculado do reservatório A, segundo o método de Rippl, foi de 4,23 m³.

Para o reservatório B foi utilizado o método prático segundo Azevedo Neto. Através da equação 7, e considerando a Tabela 8, o número de meses com pouca chuva como sendo de 4 meses, o volume calculado do reservatório B foi de 17,79 m³.

Para o reservatório C foi utilizado o método prático alemão, constatando que

a demanda anual em litros é menor que o volume precipitado aproveitável em litros, o volume calculado para o reservatório de armazenamento B foi de 1,19 m³.

4.4 ESTIMATIVA DO DESEMPENHO DO SISTEMA HIDRÁULICO

A estimativa do desempenho dos reservatórios foi feita não apenas para avaliar qual dos reservatórios, têm melhor confiabilidade, e maior eficiência, mas também para se determinar qual método de dimensionamento que melhor se adéqua às características pluviométricas da cidade.

Para um reservatório A, com 4,23 metros cúbicos, dimensionado pelo método de Rippl, considerando sua instalação no primeiro dia de janeiro e estando vazio no primeiro dia. O desempenho do sistema hidráulico, para uma demanda de 1,653 metros cúbicos, é descrito na Tabela 11, onde para o volume de chuva aproveitável é considerada os valores da Tabela 8 aplicadas a área de captação da residência e um coeficiente de escoamento superficial de 0,8; e o *Overflow* calculado de acordo com a Equação 10.

Tabela 11 - Estimativa do Desempenho do Reservatório A no Primeiro Ano.

MÊS	VOLUME DE CHUVA MÉDIO APROVEITÁVEL (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO INÍCIO DO MÊS (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO FINAL DO MÊS (m³)	OVERFLOW (m³)	SUPRIMENTO (m³)
JANEIRO	7,44	0,00	4,23	1,56	0
FEVEREIRO	14,09	4,23	4,23	12,44	0
MARÇO	22,32	4,23	4,23	20,67	0
ABRIL	19,35	4,23	4,23	17,69	0
MAIO	10,12	4,23	4,23	8,47	0
JUNHO	3,97	4,23	4,23	2,32	0
JULHO	2,28	4,23	4,23	0,63	0
AGOSTO	0,50	4,23	3,07	0,00	0
SETEMBRO	0,40	3,07	1,82	0,00	0
OUTUBRO	0,69	1,82	0,86	0,00	0
NOVEMBRO	0,79	0,86	0,00	0,00	0
DEZEMBRO	2,78	0,00	1,12	0,00	0
TOTAL	84,73	35,35	36,48	63,77	0

Fonte: Dados do pesquisador.

Percebe-se pela Tabela 11 que o reservatório A não necessitaria de suprimento externo em nenhum mês, portanto teria uma confiabilidade de 100%. Utilizando-se a equação 12, para os dados de volume total aproveitável e *overflow* total, disponíveis na Tabela 11, estima-se que o reservatório A teria uma eficiência de 24,7%, assim sendo, ele aproveitaria 24,7% de toda a água precipitada aproveitável no primeiro ano.

Para o mesmo reservatório, admitindo-se agora que o volume do mesmo no início do mês de janeiro seja igual ao volume do reservatório no final do mês de dezembro do ano anterior é possível estimar seu desempenho, a partir do segundo ano, pela Tabela 12.

Tabela 12 - Estimativa do Desempenho do Reservatório A a partir do Segundo Ano.

MÊS	VOLUME DE CHUVA MÉDIO APROVEITÁVEL (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO INÍCIO DO MÊS (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO FINAL DO MÊS (m³)	OVERFLOW (m³)	SUPRIMENTO (m³)
JANEIRO	7,44	1,12	4,23	2,68	0
FEVEREIRO	14,09	4,23	4,23	12,44	0
MARÇO	22,32	4,23	4,23	20,67	0
ABRIL	19,35	4,23	4,23	17,69	0
MAIO	10,12	4,23	4,23	8,47	0
JUNHO	3,97	4,23	4,23	2,32	0
JULHO	2,28	4,23	4,23	0,63	0
AGOSTO	0,50	4,23	3,07	0,00	0
SETEMBRO	0,40	3,07	1,82	0,00	0
OUTUBRO	0,69	1,82	0,86	0,00	0
NOVEMBRO	0,79	0,86	0,00	0,00	0
DEZEMBRO	2,78	0,00	1,12	0,00	0
TOTAL	84,73	36,48	36,48	64,89	0

Fonte: Dados do pesquisador.

Como pode ser observado na Tabela 12, a partir do segundo ano o reservatório A continuaria com a mesma confiabilidade, porém teria uma diminuição da sua eficiência, passando a ter uma eficiência de 23,4%. Essa diminuição da eficiência pode ser explicada pelo fato do reservatório, a partir do segundo ano, passar a ter um volume considerável de água no início do mês de janeiro, consequentemente, um menor volume é aproveitado pelo reservatório.

Para os reservatórios, C, de 1,19 m³ e B, de 17,79 m³, dimensionados, respectivamente, pelo método prático alemão e pelo método segundo Azevedo Neto, as estimativas de desempenho, considerando suas instalações feitas no primeiro dia de janeiro, e uma demanda de 1,653 m³, podem ser vistas, respectivamente, pelas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13 - Estimativa do Desempenho do Reservatório C no Primeiro Ano.

MÊS	VOLUME DE CHUVA MÉDIO APROVEITÁVEL (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO INÍCIO DO MÊS (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO FINAL DO MÊS (m³)	OVERFLOW (m³)	SUPRIMENTO (m³)
JANEIRO	7,44	0,00	1,19	4,60	0,00
FEVEREIRO	14,09	1,19	1,19	12,44	0,00
MARÇO	22,32	1,19	1,19	20,67	0,00
ABRIL	19,35	1,19	1,19	17,69	0,00
MAIO	10,12	1,19	1,19	8,47	0,00
JUNHO	3,97	1,19	1,19	2,32	0,00
JULHO	2,28	1,19	1,19	0,63	0,00
AGOSTO	0,50	1,19	0,03	0,00	0,00
SETEMBRO	0,40	0,03	0,00	0,00	1,22
OUTUBRO	0,69	0,00	0,00	0,00	0,96
NOVEMBRO	0,79	0,00	0,00	0,00	0,86
DEZEMBRO	2,78	0,00	1,12	0,00	0,00
TOTAL	84,73	8,36	9,49	66,81	3,04

Fonte: Dados do pesquisador.

Percebe-se pela Tabela 13 que o reservatório C necessitaria de suprimento externo durante 3 meses do ano, portanto teria uma confiabilidade de 75%. Utilizando-se a equação 12, para os dados de volume total aproveitável e overflow total, disponíveis na Tabela 13, estima-se que o reservatório C teria uma eficiência, no primeiro ano, de 21,1%.

Tabela 14 - Estimativa do Desempenho do Reservatório B no Primeiro Ano.

MÊS	VOLUME DE CHUVA MÉDIO APROVEITÁVEL (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO INÍCIO DO MÊS (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO FINAL DO MÊS (m³)	OVERFLOW (m³)	SUPRIMENTO (m³)
JANEIRO	7,44	0,00	5,79	0,00	0,00
FEVEREIRO	14,09	5,79	17,79	0,43	5,79
MARÇO	22,32	17,79	17,79	20,67	17,79
ABRIL	19,35	17,79	17,79	17,69	17,79
MAIO	10,12	17,79	17,79	8,47	17,79
JUNHO	3,97	17,79	17,79	2,32	17,79
JULHO	2,28	17,79	17,79	0,63	17,79
AGOSTO	0,50	17,79	16,63	0,00	17,79
SETEMBRO	0,40	16,63	15,38	0,00	16,63
OUTUBRO	0,69	15,38	14,42	0,00	15,38
NOVEMBRO	0,79	14,42	13,56	0,00	14,42
DEZEMBRO	2,78	13,56	14,68	0,00	13,56
TOTAL	84,73	172,51	187,19	50,21	172,51

Fonte: Dados do pesquisador.

O reservatório B teria uma confiabilidade de 100%, e uma eficiência de 40,7%.

A partir do segundo ano, os desempenhos dos reservatórios C, pode ser visto na Tabela 15

Tabela 15 - Estimativa do Desempenho do Reservatório C a partir do Segundo Ano.

MÊS	VOLUME DE CHUVA MÉDIO APROVEITÁVEL (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO INÍCIO DO MÊS (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO FINAL DO MÊS (m³)	OVERFLOW (m³)	SUPRIMENTO (m³)
JANEIRO	7,44	1,12	1,19	5,72	0,00
FEVEREIRO	14,09	1,19	1,19	12,44	0,00
MARÇO	22,32	1,19	1,19	20,67	0,00
ABRIL	19,35	1,19	1,19	17,69	0,00
MAIO	10,12	1,19	1,19	8,47	0,00
JUNHO	3,97	1,19	1,19	2,32	0,00
JULHO	2,28	1,19	1,19	0,63	0,00
AGOSTO	0,50	1,19	0,03	0,00	0,00
SETEMBRO	0,40	0,03	0,00	0,00	1,22
OUTUBRO	0,69	0,00	0,00	0,00	0,96
NOVEMBRO	0,79	0,00	0,00	0,00	0,86
DEZEMBRO	2,78	0,00	1,12	0,00	0,00
TOTAL	84,73	9,48	9,49	67,93	3,04

Fonte: Dados do pesquisador.

Como pode ser observado na Tabela 15, após o primeiro ano o reservatório C, dimensionado pelo método prático alemão, continuaria com a mesma confiabilidade de 75%, porém teria uma diminuição da sua eficiência, passando a ter uma eficiência de 19,8%. O reservatório B, dimensionado pelo método prático segundo Azevedo Neto, continuaria com a confiabilidade de 100%, mas teria sua eficiência diminuída para 23,4%, como observado na Tabela 16.

Tabela 16 - Estimativa do Desempenho do Reservatório B a partir do Segundo Ano.

MÊS	VOLUME DE CHUVA MÉDIO APROVEITÁVEL (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO INÍCIO DO MÊS (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO FINAL DO MÊS (m³)	OVERFLOW (m³)	SUPRIMENTO (m³)
JANEIRO	7,44	14,68	17,79	2,68	14,68
FEVEREIRO	14,09	17,79	17,79	12,44	17,79
MARÇO	22,32	17,79	17,79	20,67	17,79
ABRIL	19,35	17,79	17,79	17,69	17,79
MAIO	10,12	17,79	17,79	8,47	17,79
JUNHO	3,97	17,79	17,79	2,32	17,79
JULHO	2,28	17,79	17,79	0,63	17,79
AGOSTO	0,50	17,79	16,63	0,00	17,79
SETEMBRO	0,40	16,63	15,38	0,00	16,63
OUTUBRO	0,69	15,38	14,42	0,00	15,38
NOVEMBRO	0,79	14,42	13,56	0,00	14,42
DEZEMBRO	2,78	13,56	14,68	0,00	13,56
TOTAL	84,73	199,19	199,20	64,89	199,19

Fonte: Dados do pesquisador.

Para Tomaz (2012), até o momento, não se conhece um método de dimensionamento de reservatório de água de chuva que seja perfeito. Os métodos podem gerar problemas tanto no aspecto econômico como estrutural. Os reservatórios A e B possuem uma confiabilidade de 100% em sua estimativa de desempenho, além disso, os dois reservatórios, a partir do segundo ano, têm a mesma eficiência e, conseqüentemente, o mesmo desempenho, mostrando que o reservatório B, dimensionado pelo método prático segundo Azevedo Neto, foi superdimensionado e tem um volume muito maior do que o necessário para atender a demanda, sendo o reservatório A claramente preferível entre os dois para a demanda do projeto.

O superdimensionamento do reservatório B pode ser explicado pelo fato do método prático segundo Azevedo Neto não considerar a demanda nos seus cálculos, além disso, o parâmetro da equação que representa a quantidade de meses com pouca chuva tem grande influência no resultado final do dimensionamento, e, com as características pluviométricas da cidade, e para uma

demanda relativamente baixa, é provável que qualquer reservatório calculado pelo método prático segundo Azevedo Neto fique superdimensionando, causando a inviabilidade econômica do projeto.

Na comparação do reservatório A, dimensionado pelo método de Rippl, com o reservatório C, dimensionado pelo método prático alemão, vê-se um contraponto entre a melhor confiabilidade e eficiência proporcionados pelo reservatório A com a maior viabilidade econômica proporcionado pelo reservatório C, considerando, obviamente, que o custo de construção do reservatório é diretamente proporcional ao seu volume. Porém, considerando um projeto que funcione durante todo o ano sem a necessidade de suprimento externo, como se deseja aplicar no objeto de estudo desse trabalho, o dimensionamento pelo método de Rippl se mostrou mais eficaz.

Na ampliação dos estudos para toda a cidade, aspectos relativos a cada habitação, como área de cobertura e demanda, mesmo que sejam relativamente pequenos como o do caso específico tratado neste trabalho, devem alterar, mesmo que minimamente, os valores dos volumes calculados pelo método de Rippl e método prático alemão, sendo os aspectos específicos de escolha como, ambiental, estrutural ou econômico relevantes na escolha entre esses dois métodos.

5. CONCLUSÕES

Mesmo com a grande estiagem do ano de 2015, sendo uma das maiores desse século, é visível a cobrança por soluções gerais, como a transposição do rio São Francisco, enquanto que as soluções mais específicas passam por despercebido pela maioria da população. Sendo o aspecto econômico da utilização da água de chuva como sendo o principal fator causador da rejeição do mesmo, cabe à classe política estimular a população, através de medidas econômicas, a utilizar a água da chuva, sendo essa utilização atendendo a códigos locais e normas técnicas.

O dimensionamento das calhas e condutores, feito através das tabelas e ábaco da NBR se mostrou simples, tendo conhecimento de dados locais referentes à intensidade pluviométrica média máxima e dados do projeto arquitetônico. A ampliação da metodologia utilizada nesse trabalho para o dimensionamento de calhas e condutores para outras residências da cidade é considerada viável, tendo em vista que os parâmetros pluviométricos são fixos.

Em relação aos reservatórios de armazenamento, em casos em que se deseja a utilização da água da chuva durante todo o ano, o dimensionamento utilizando o método de Rippl se mostrou mais aconselhável para a cidade de Alexandria/RN. O dimensionamento utilizando o método prático segundo Azevedo Neto não se mostrou aconselhável para as residências da cidade, tendo em vista o valor do parâmetro de demanda que faria com que o reservatório fique sempre superdimensionado, tornando o projeto inviável economicamente. O dimensionamento segundo o método prático alemão se mostrou aconselhável apenas para casos muito específicos, como em que a viabilidade econômica seja colocada como principal parâmetro. Porém sendo necessárias pesquisas econômicas sobre custo e tempo de retorno do investimento desse projeto a fim de garantir que, segundo as características mostradas nas Tabelas 13 e 15, o reservatório dimensionado pelo método prático alemão seja realmente viável economicamente.

Assim, o presente estudo demonstrou que é viável a utilização de um sistema de utilização de água de chuva para a cidade de Alexandria, e assim evitar a utilização inadequada de água potável, já em escassez na região, além de

preservar os recursos hídricos. Porém é importante salientar que são necessárias pesquisas econômicas referentes a esses projetos a fim de estimar como se daria o seu desempenho econômico, além da ampliação dos estudos para a cidade, considerando outros tipos de utilizações como em empresas, escolas, ou hospitais, em que os novos, e maiores, valores de demanda modificariam os resultados para o dimensionamento dos reservatórios.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE NETO, Cícero Onofre de. **APROVEITAMENTO IMEDIATO DA ÁGUA DE CHUVA**. Revista Eletrônica Degestão e Tecnologias Ambientais(GESTA), Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN., V. 1, N. 1, P.1-86, Jan. 2013.
- ANNECCHINI, Karla Ponzo Vaccari. **Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)**. 2005. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- ASA. **Articulação Semi-árido Brasileiro**. 2015. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br>>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais: procedimento. Rio de Janeiro, 1989. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007. 8p.
- BERTOLO, Elisabete de Jesus Peres. **Aproveitamento de água da Chuva em Edificações**. 2006. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2006.
- CAERN. **No RN, 91 cidades enfrentam dificuldades no abastecimento**. Disponível em: <<http://www.caern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=93215&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=MAT%C9RIA>> Acesso em: 12 dez. 2015
- CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. N. C. **Secas no Nordeste Brasileiro: Origens, Causas e soluções**. IN: IV Diálogo Interamericano de gerenciamento de águas, Foz do Iguaçu, 2001.
- CLIMATE DATE. **CLIMA: ALEXANDRIA**. Disponível em <<http://pt.climate-data.org/location/42524/>> Acesso em: 15 out. 2015.
- DOMINGOS, Roney. **Veja os projetos de lei em análise na câmara municipal de SP contra a crise hídrica**. 2015. Disponível em <<http://glo.bo/16eOQyf>> Acesso em: 15 out. 2015.
- FERREIRA. Rau. **Retalhos Históricos de Campina Grande: A Seca dos Três Oitos**, 2011. Disponível em: <<http://cgretalhos.blogspot.com.br/2013/01/a-seca-dos-tres-oitos-1888.html#.VVlplrIVibU>> Acesso em: 18 mai. 2015
- G1. **RN enfrenta a pior seca dos últimos 100 anos, diz EMPARN**. 2015. Disponível em: <<http://glo.bo/1HhCalt>>. Acesso em: 05 nov. 2015.

GHISI, Enedir; GURGEL, Carlos. **Instalações Prediais de Água Pluviais**. 2005. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/AguaPluvial_EGhisi_atualiza da.pdf>. Acesso em: 15 out. 2015.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Análise da Qualidade da Água da Chuva e da Viabilidade de sua Captação e Uso**. 2009. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

JALFIM, Felipe Tenório. **Considerações Sobre a Viabilidade Técnica e Social da Captação e Armazenamento de Água da Chuva em Cisternas Rurais na Região Semi-Árida Brasileira**. Disponível em: <http://www.abcmac.org.br/files/simposio/3simp_felipe_consideracoessobreviabilidade tecnica.pdf> Acesso em: 31 out. 2015

JQUES, Reginaldo Campolino. **Qualidade da Água de Chuva no Município de Florianópolis e sua Potencialidade Para Aproveitamento em Edificações**. 2006. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MAY, Simone. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva Para Consumo Não Potável em Edificações**. 2004. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

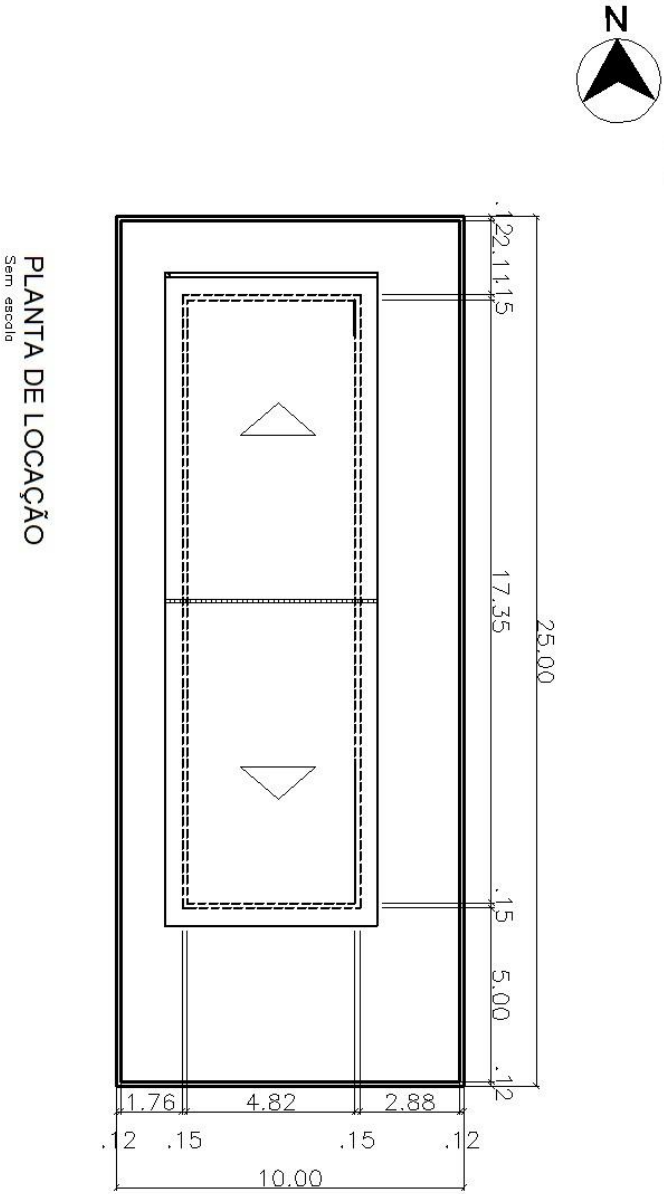
MORENGO, José A.. Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação à Mudança do Clima no Semi-árido Brasileiro. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 27, p.149-168, dez. 2008. Semestral.

SANTOS, Wesley de Oliveira. **Máximas Intensidades e Índices de Erosividade de Chuvas para o Rio Grande do Norte**. 2015. 125f. Tese (Doutorado em Manejo de Solos e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2015.

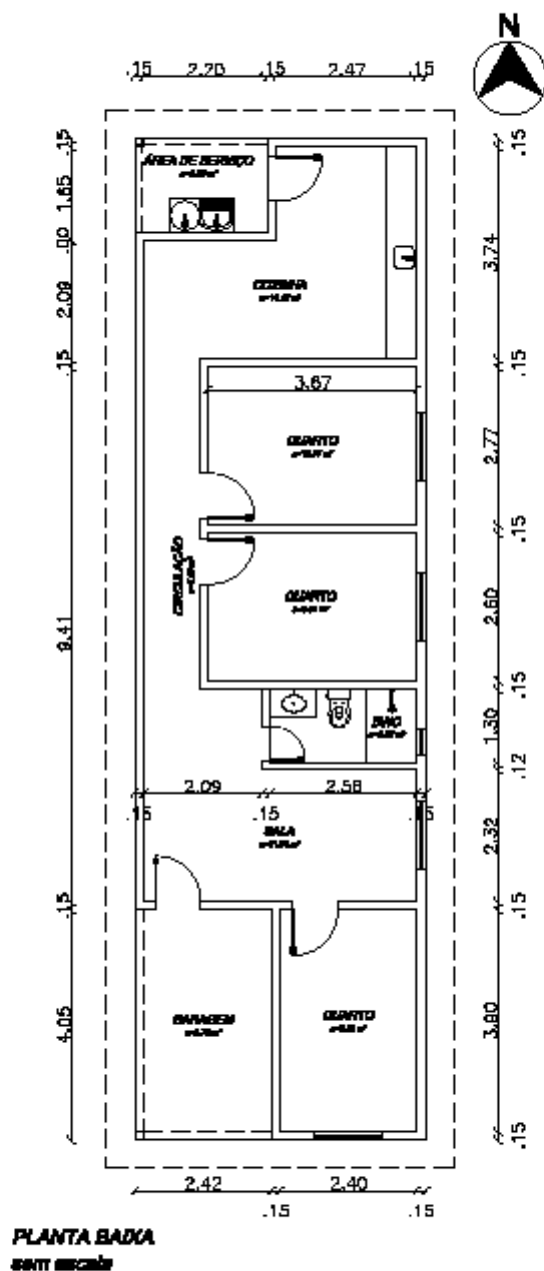
TOMAZ, Plínio. **Capítulo 109 - Dimensionamento de reservatórios de água de chuva**. 2012. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livro_calculos/capitulo109_julho.pdf> Acesso em: 15 out. 2015

VELOSO, Nircele da Silva Leal; MENDES, Ronaldo Lopes Rodrigues. **Aspectos Legais do Uso da Água da Chuva no Brasil e a Gestão dos Recursos Hídricos: Notas Teóricas**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20., 2013, Bento Gonçalves. Anais. Bento Gonçalves: Sbrh, 2013. p. 1 - 8.

APÊNDICE A – Planta de situação da residência



APÊNDICE B – Planta baixa da residência



ANEXO A – Tabela referente as séries históricas de precipitação anuais na cidade de Alexandria segundo EMPARN (2015, apud Santos. 2015)

ANO	P_anual (mm)	ANO	P_anual (mm)
1964	1145.00	1988	634.10
1965	1143.70	1989	977.40
1966	913.60	1990	360.40
1967	1470.10	1991	612.40
1968	943.40	1992	577.50
1969	880.10	1993	185.30
1970	595.10	1994	704.50
1971	929.60	1995	939.60
1972	912.40	1996	933.70
1973	824.00	1997	609.10
1974	1690.10	1998	331.20
1975	1124.10	1999	757.20
1976	752.90	2000	893.20
1977	1357.10	2001	356.80
1978	910.50	2002	945.30
1979	619.50	2003	672.60
1980	781.70	2004	1008.20
1981	495.00	2005	483.40
1982	494.50	2006	944.40
1983	262.30	2007	579.10
1984	605.40	2008	1093.80
1985	1717.90	2009	1187.30
1986	895.50	2010	505.20
1987	555.70	2011	1042.80

ANEXO B – Dados dos parâmetros de Alexandria para o cálculo da intensidade máxima média pluviométrica.

Dados, segundo Santos (2015), coletados estatisticamente para o cálculo da intensidade máxima média pluviométrica para a cidade de Alexandria/RN.

$$K = 743,495$$

$$a = 0,164$$

$$b = 9,778$$

$$c = 0,741$$