



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Antonio Pedro Fernandes Coscarelli

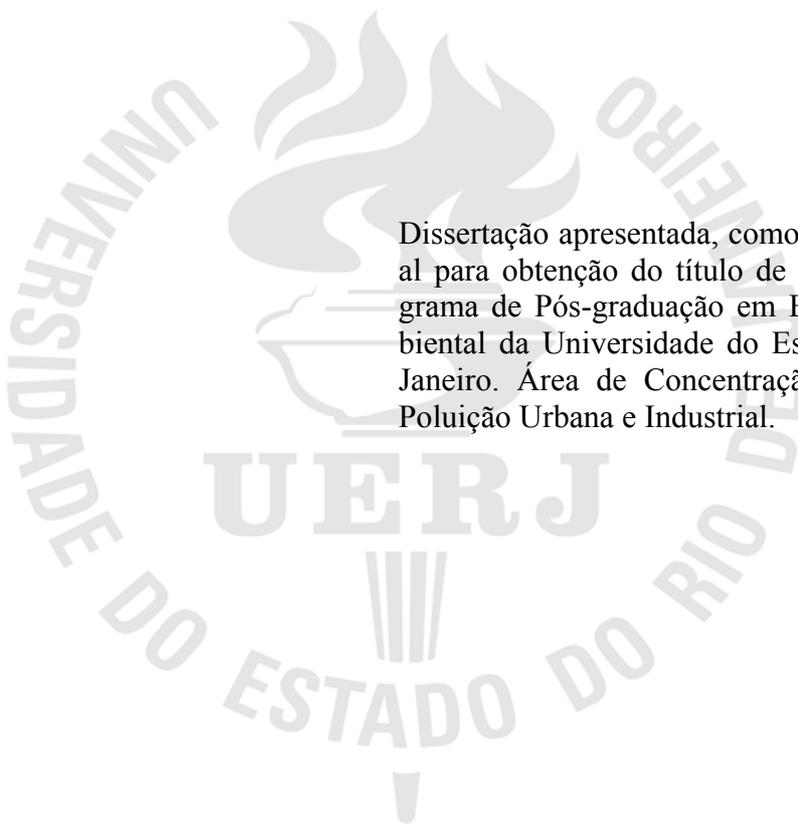
**Aproveitamento da água de chuva
para fins não potáveis em uma atividade industrial:
estudo de caso de uma edificação a ser construída, Rio de Janeiro, RJ**

Rio de Janeiro

2010

Antonio Pedro Fernandes Coscarelli

**Aproveitamento da água de chuva
para fins não potáveis em uma atividade industrial:
estudo de caso de uma edificação a ser construída, Rio de Janeiro, RJ**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Thereza Christina de Almeida Rosso

Coorientador: Prof. Dr. Gandhi Giordano

Rio de Janeiro

2010

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / RESE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

C834 Coscarelli, Antonio Pedro Fernandes.
Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis em uma atividade industrial: estudo de caso de uma edificação a ser construída, Rio de Janeiro, RJ / Antonio Pedro Fernandes Coscarelli. – 2010. 159 f.

Orientadora: Thereza Christina de Almeida Rosso
Coorientador: Gandhi Giordano
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Água da chuva - aproveitamento - Teses. 2. Engenharia Ambiental. I. Rosso, Thereza Christina de Almeida. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 628.11

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Antonio Pedro Fernandes Coscarelli

**Aproveitamento da água de chuva
para fins não potáveis em uma atividade industrial:
estudo de caso de uma edificação a ser construída, Rio de Janeiro, RJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovado em 27 de agosto de 2010

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Thereza Christina de Almeida Rosso (Orientadora)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Gandhi Giordano (Coorientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Olavo Barbosa Filho
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dr.^a Debora Cynamon Kligerman
Fundação Oswaldo Cruz

Rio de Janeiro

2010

DEDICATÓRIA

“Pai!

Pode crer, eu to bem

Eu vou indo,

Tô tentando, vivendo e pedindo

Com loucura prá você renascer...

Pai!

Eu não faço questão de ser tudo

Só não quero e não vou ficar mudo

Prá falar de amor

Prá você...”

Trecho da música “Pai” de Fábio Junior

(in memorian) a Antonio Braga Coscarelli

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por me dar forças e o discernimento necessários para superar mais esta etapa de minha vida.

Aos meus pais, Antonio e Nadir, pelo amor e carinho dedicados.

A minha filha Tatiana, pelo carinho, apoio e compreensão nesse meu período de ausência e ansiedade.

A Maria José, pelo carinho, incentivo e presença constante nesta caminhada.

A minha orientadora Prof^a Thereza Rosso, pela maneira cortês e amiga com que me transmitiu seus conhecimentos.

Aos professores Gandhi e Márcia Marques que em muito contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos do trabalho, pelo apoio e pela força que me deram em favor da realização do curso de mestrado, principalmente aos engenheiros Maria José, Paulo, Fausto, Rubens, Chapetta, Fábio e Lizandra e projetista Antonio.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado.

Devemos reconhecer que, no meio de uma magnífica diversidade de culturas e formas de vida, somos uma família humana e uma comunidade terrestre com um destino comum. Devemos somar forças para gerar uma sociedade sustentável global baseada no respeito pela natureza, nos direitos humanos universais, na justiça econômica e numa cultura da paz.

ONU, *A Carta da Terra*, 1992.

RESUMO

COSCARELLI, Antonio Pedro Fernandes. *Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis em uma atividade industrial: estudo de caso de uma edificação a ser construída, Rio de Janeiro*. 2010. 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

A escassez de água é um dos maiores desafios do nosso século. Parece mentira, uma vez que $\frac{3}{4}$ do planeta são ocupados por água. Essa “abundância” aparente leva-nos a considerar a água como um elemento barato, farto e inesgotável. Contudo, desse total, 97,5% são de água salgada, restando 2,5% de água doce, dos quais 1,75% formam geleiras, sendo, portanto, inacessíveis. E o pior: a exploração irracional da água doce armazenada nos lençóis subterrâneos, rios e lagos está ameaçando a magra fatia de 0,75% da água que pode ser usada pelo homem. Se a escassez e a poluição já são problemas concretos em muitos países, os quais já instituíram um efetivo gerenciamento de seus recursos hídricos, no Brasil a preocupação de cientistas e ambientalistas nem sempre é levada a sério. Afinal, temos mais de 12% da água potável do globo. No entanto, esta riqueza é extremamente mal distribuída: cerca de 80% estão na região amazônica; os 20% restantes distribuem-se desigualmente pelo país, atendendo a 95% da população. Cada vez que chove, milhões de litros de água, que normalmente deveriam se infiltrar no solo correm pelos telhados e pelo asfalto até acabar em um rio poluído, sem nenhuma possibilidade de uso. E essa água pode e deve ser aproveitada, tanto para evitar enchentes quanto para economizar recursos hídricos e financeiros. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi o de estruturar um projeto de um sistema de coleta e aproveitamento da água de chuva, para fins não potáveis, para uma edificação a ser construída nas instalações de uma indústria de reparo e construção naval. Para tanto, foi apresentada uma metodologia cuja tecnologia para captação e aproveitamento da água de chuva baseou-se num levantamento bibliográfico e foi validada através da aplicação em um estudo de caso. Espera-se que este trabalho seja o ponto de partida para muitos outros dentro da indústria, procurando incentivar o aproveitamento da água de chuva para consumo não potável e criando assim uma consciência ecológica em todos os níveis da empresa, contribuindo dessa forma para a sustentabilidade.

Palavras-Chave: Água. Uso racional da água de chuva. Reaproveitamento. Edificação bioclimática.

ABSTRACT

The shortage of water is one of the largest challenges of the century. It seems like, once $\frac{3}{4}$ of the planet are busy for water. That "abundance" apparent group to consider the water as an element cheap, full and inexhaustible. However, of that total one, 97,5% are of salt water, remaining 2,5% of fresh water, of which 1,75% form glaciers, being, therefore, inaccessible. And the worst: the irrational exploration of the fresh water stored at the underground sheets, rivers and lakes is threatening the thin slice of 0,75% of the water that can be used by the man. If the shortage and the pollution are already concrete problems in many countries, which already instituted a cash administration of their hydric resources, in Brazil the scientists' concern and environmentalists not always it is taken seriously. After all, it is had more than 12% of the drinking water of the globe. However, this wealth is extremely badly distributed: about 80% they are in the Amazonian area; the remaining 20% are distributed unevenly by the country, assisting to 95% of the population. Every time that rains, million of liters of water, that would usually owe if it infiltrates in the soil, they run for the roofs and for the asphalt until ending in a polluted river, without any use possibility. And that water can and it should be taken advantage, so much to avoid inundations as to save hydric resources and financial. In that way, the objective of this work was it of structuring a project of a collection system and use of the rain water, for ends no drinkable, for a construction to be built in the facilities of a repair industry and shipbuilding. For so much, a methodology was presented whose technology for reception and use of the rain water based on a bibliographical rising and it was validated through the application in a case study. It is waited that this work is the starting point for many other inside of the industry, trying to motivate the use of the rain water for consumption no drinkable and creating like this an ecological conscience in all of the levels of the company, contributing in that way to the sustainability.

Keywords: Water. Rational use. Rain water utilization. Reuse. Bioclimatic building.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação dos volumes de água da Terra.....	17
Figura 2 - Como e por quem a água doce do mundo é utilizada.....	19
Figura 3 - Situação dos principais trechos de rios brasileiros quanto à relação demanda / disponibilidade de hídrica	23
Figura 4 - Distribuição das vazões de retirada e consumo para diferentes usos	24
Figura 5 - Zonas áridas ao redor do Mundo	30
Figura 6 - Esquema do projeto de colheita de água de chuva denominado “121”	31
Figura 6b - Imagem do projeto de colheita de água de chuva “121”, vista parcial	31
Figura 7 - Imagem de um Abanbar, utilizado no Irã.....	32
Figura 8 - Sistema do povo Maya, denominada Chultun	33
Figura 9 - “Dome Stadiums” no Japão: água de chuva para rega de jardins e descarga de sanitários.....	36
Figura 10 - “Croquis” e imagem de caxio, sistema cavada manualmente na rocha	40
Figura 11 - Sistema de cimento com tela de arame	40
Figura 12 - Sistema de placas de cimento pré-moldadas.....	41
Figura 13 - Croquis com diretrizes e soluções bioclimáticas e sustentáveis	42
Figura 14 - Esquema de uma casa ecológica	43
Figura 15 - Cidade do Samba, RJ	44
Figura 16 - Estádio João Havelange (Engenhão), RJ.....	45
Figura 17 - Arena Poliesportiva de Jacarepaguá, RJ	45
Figura 18 - Ciclo hidrológico.....	55
Figura 19 - Chuvas convectivas ou de convecção	56
Figura 20 - Chuvas orográficas ou de relevo	57
Figura 21 - Chuvas frontais ou ciclônicas.....	58
Figura 22 - Cálculo da área de contribuição	60
Figura 23 - Diagrama esquemático da formação de precipitações secas e úmidas.....	78
Figura 24 - Coletor automático de deposição úmida e seca.....	81
Figura 25 - Curvas para dimensionamento da calha com saída em aresta viva.....	89
Figura 26 - Curvas para dimensionamento da calha com funil de saída.....	90
Figura 27 - Esquema de coleta de água da chuva com reservatório de auto-limpeza.....	95
Figura 28 - Descarte de primeira água	96

Figura 29 - Reservatório de auto-limpeza com torneira bóia.....	97
Figura 30 - Descarte de primeira água com sistema de bóia	98
Figura 31 - Válvula de funcionamento na horizontal	99
Figura 32 - Válvula de funcionamento na vertical.....	100
Figura 33 - Válvula de funcionamento no reverso.....	100
Figura 34 - Dispositivo de descarte da água de limpeza de telhado utilizado na Austrália	101
Figura 35 - Filtro volumétrico da 3P Technik.....	102
Figura 36 - Filtro de Areia para tratamento de água de chuva na UFSC	105
Figura 37 - Filtro convencional de areia recomendado para uso doméstico.....	106
Figura 38 - Cálculo do volume do reservatório de água de chuva – Método gráfico.....	112
Figura 39 - Balanço de entrada e saída de água da chuva no reservatório.....	113
Figura 40 - Interligação do sistema de água potável com o de água pluvial	118
Figura 41 - Vista aérea da Ilha de Cobras.....	121
Figura 42 - Metodologia de projeto para sistema de aproveitamento de água de chuva	126
Figura 43 - Gráfico do índice pluviométrico médio mensal entre 2000 e 2009 do bairro da Saúde (Centro – RJ)	131
Figura 44 - Planta de Situação com a localização dos telhados dos edifícios 3,35B, 71 e 74	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Disponibilidade hídrica e vazões médias e de estiagem	21
Tabela 2 - Tipos e características dos materiais constituintes de telhados.....	61
Tabela 3 - Parâmetros usados nos EUA para consumo residencial de água - interno.....	63
Tabela 4 - Parâmetros usados nos EUA para consumo residencial de água - externo	64
Tabela 5 - Consumo de água em instalações comerciais	65
Tabela 6 - Consumo de água médio nos domicílios.....	66
Tabela 7 - Consumo médio per capita.....	67
Tabela 8 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis..	72
Tabela 9 - Comparação da composição química da água da chuva entre as quatro Estações da SMAC.....	82
Tabela 10- Coeficiente de rugosidade para a fórmula de Manning-Strickler	86
Tabela 11- Vazões em L/min em calhas retangulares de concreto liso e lâmina d'água a meia altura.....	87
Tabela 12- Capacidade de calhas semicirculares	88
Tabela 13- Vazão máxima de condutores verticais em função da taxa de ocupação.....	91
Tabela 14- Critério de dimensionamento dos condutores verticais proposto por Botelho...	91
Tabela 15- Diâmetro do coletor vertical em função da área de telhado.....	92
Tabela 16- Área máxima de cobertura para condutores verticais de seção circular.....	92
Tabela 17- Diâmetro do condutor vertical em polegadas.....	93
Tabela 18- Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min)...	94
Tabela 19- Usos aconselháveis para determinado tipo de área de coleta.....	102
Tabela 20- Tipos de tratamento para determinados usos requeridos	103
Tabela 21- Localização indicada para as unidades de tratamento da água	104
Tabela 22- Resultados da água de chuva tratada com filtro de areia	107
Tabela 23- Formas geométricas ideais de tanques, aliadas à economia de materiais	109
Tabela 24- Dimensionamento de Reservatório pelo método Ripple.....	110
Tabela 25- Verificação do volume do reservatório de água de chuva (m ³).....	113
Tabela 26- Histórico de consumo de água da Ilha das Cobras (JAN/2009 a JAN/2010) ..	122
Tabela 27- Frequência de manutenção	124
Tabela 28- Resultados de Ensaios Físico-Químicos	128

Tabela 29 - Resultados de Ensaio Microbiológicos.....	128
Tabela 30 - Dados de precipitação do bairro da Saúde (Centro do RJ) entre 2000 e 2009 (em mm)	130
Tabela 31 - Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl para demanda constante de 142m ³ /mês	141
Tabela 32 - Verificação do volume do reservatório de água de chuva: 28 m ³	142
Tabela 33 - Custo de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMRJ	Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro
ANA	Agência Nacional de Águas
ANCCT	Agência Nacional para Cultura Científica e Tecnológica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos
CIESP	Centro das Indústrias do Estado de São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DAdM	Diretoria de Administração da Marinha
EMOP	Empresa de Obras Públicas do Rio de Janeiro
ETA	Estação de Tratamento de Águas
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
HCM	Hospital Central da Marinha
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
MB	Marinha do Brasil
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira
ONGs	Organizações Não-Governamentais
ONU	Organização das Nações Unidas
PCRA	Programa de Conservação e Reúso de Água
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos

PVC	Cloreto de Polivinila
RH	Região Hidrográfica
SANEAGO	Saneamento de Goiás S/A
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
TCPO	Tabela de Composições de Preços para Orçamentos
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UGRHI	Unidade básica de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	16
1	APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA: HISTÓRICO E PRINCIPAIS CONCEITOS	29
1.1	Histórico do uso da água de chuva	29
1.2	Experiências Atuais	33
1.3	Experiências Brasileiras	38
1.4	Legislações Brasileiras	46
2	DISPONIBILIDADE VERSUS DEMANDA	54
2.1	O Ciclo Hidrológico	54
2.1.1	<u>Precipitação</u>	56
2.1.1.1	Tipos de precipitação	56
2.1.1.2	Grandezas características das precipitações	58
2.1.1.3	Cálculo da vazão das águas pluviais	59
2.2	Área de contribuição de águas pluviais	60
2.3	Determinação do coeficiente de deflúvio ou coeficiente de Runoff	61
2.4	Consumo médio de água potável por atividade	62
2.5	Principais benefícios	67
2.5.2	<u>Redução do consumo de água potável</u>	67
2.5.2	<u>Mitigação das enchentes</u>	68
2.5.3	<u>Promoção da Saúde Pública</u>	69
2.5.4	<u>Preservação e conservação dos mananciais</u>	69
2.5.5	<u>Regularização parcial do ciclo hidrológico</u>	69
3	QUALIDADE DE VIDA	70
3.1	Parâmetros	71
3.2	Definição dos parâmetros de qualidade da água de chuva	72
3.3	Métodos de análise	75
3.3.1	<u>Metodologia de coleta</u>	75
3.3.2	<u>Metodologia das análises</u>	75
3.4	Chuva Ácida	76
3.4.1	<u>Definição</u>	76
3.4.2	<u>Consequências da chuva ácida</u>	77

3.4.3	<u>Monitoramento da qualidade das águas das chuvas na cidade do Rio de Janeiro</u>	80
3.4.4	<u>Dados colhidos do monitoramento</u>	80
3.45	<u>Avaliação dos resultados obtidos</u>	82
4	ASPECTOS CONSTRUTIVOS	83
4.1	Formas potenciais de utilização	83
4.2	Concepção e dimensionamento da calha, condutor vertical e condutor horizontal	85
4.3	Técnicas de descarte da água de chuva de limpeza do telhado	94
4.3.1	<u>Dispositivos de descarte da água de limpeza do telhado</u>	99
4.4	Tratamento de água de chuva	102
4.5	Reservatório para armazenamento da água de chuva	108
4.5.1	<u>Dimensionamento do reservatório de água de chuva</u>	109
4.5.2	<u>Verificação do volume do reservatório de água de chuva</u>	112
4.6	Sistema de bombeamento	115
4.6.1	<u>Determinação da vazão de recalque</u>	116
4.6.2	<u>Dimensionamento do diâmetro de recalque e sucção</u>	116
4.6.3	<u>Determinação da altura manométrica</u>	116
4.7	Tubulações de distribuição da água de chuva	117
4.8	Interligação entre os abastecimentos de água potável e água de chuva	118
4.9	Cuidados na utilização do sistema	119
5	ESTUDO DE CASO	120
5.1	Local de desenvolvimento do projeto	120
5.2	Manutenção do sistema de aproveitamento da água de chuva	123
5.3	Parâmetros para o estudo da viabilidade econômica de um sistema de aproveitamento da água de chuva	124
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	126
6.1	Apresentação e caracterização das amostras	127
6.2	Resultados da aplicação da metodologia proposta para o estudo	129
7	CONCLUSÕES	148
	REFERÊNCIAS	150

INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes para a vida na Terra. Ajusta o clima e a temperatura do planeta, está presente nos processos metabólicos e participa na composição das células dos seres vivos. O ser humano ainda a utiliza em suas diversas atividades domésticas, industriais e agrícolas. Assim, após o homem renunciar à vida nômade e estabelecer residência fixa, buscou sempre locais de fácil acesso à água (MENDONÇA, 2009).

Cada cidadão é inteiramente responsável pela conservação da água, e o direito à água é um dos direitos fundamentais do ser humano (Art. 30 da Declaração Universal dos Direitos Humanos, ONU, 1992). É condição essencial de vida de todo ser animal, vegetal ou humano, e sem ela a atmosfera, o clima, a vegetação, a cultura ou a agricultura não seriam formadas como são.

Ainda que na atualidade a escassez da água não se apresente como um grande problema para a América Latina, e em especial para o Brasil, este é um tema de suma importância para todos nós.

Em uma rápida síntese sobre as condições da água, vemos que apesar da Terra ser coberta por cerca de dois terços de água, ou mais precisamente 71% da superfície, o planeta está começando a passar por problemas de escassez da mesma. Do total de água existente no mundo, 97,5% são de águas que se encontram nos oceanos, ou seja, água salgada, restando apenas 2,5% de água doce. E nem mesmo esses 2,5% podem ser totalmente aproveitados, pois 1,75% se encontram em calotas e geleiras polares, restando tão somente 0,75% desta água podendo ser considerada aproveitável. Devemos ressaltar ainda que essa quantidade deva ser dividida entre seis bilhões de pessoas (total de habitantes no mundo).

Como a demanda por água doce aumenta, o suprimento do planeta torna-se imprevisível. O crescimento das populações requer cada vez mais água para beber, para higiene, saneamento, produção de comida e para a indústria.

A utilização dos recursos da água doce é fonte de numerosos problemas, cuja resolução necessita, dentre outros, de uma profunda reflexão ética (WERTHEIN, 2004).

Na **figura 1**, a água salgada da Terra, que forma os seus oceanos e mares, representa 97,5% do volume total estimado de 1.386 milhões km³. Por sua vez, a água doce - teor de sólidos totais dissolvidos (STD) inferior a 1000mg/L - é de apenas 2,5% deste total.

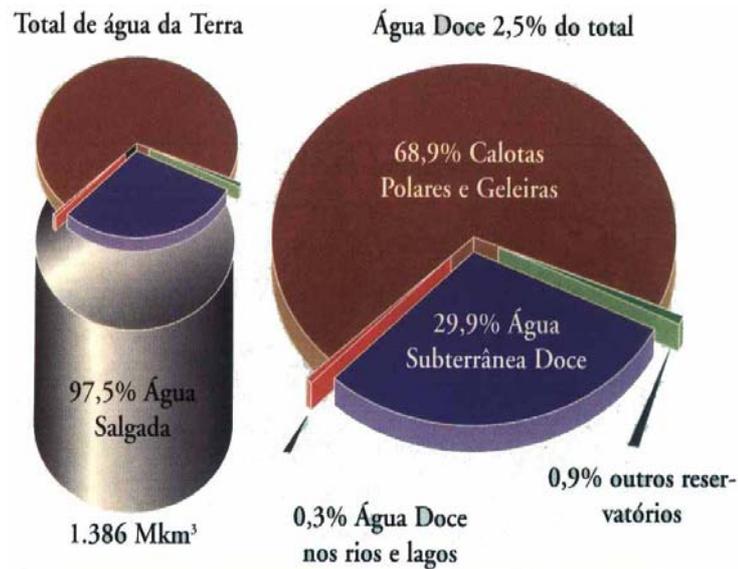


Figura 1 - Representação dos volumes de água da Terra

Fonte: REBOUÇAS et al., 1999

A água é desperdiçada, seu uso indisciplinado expõe terras frágeis à desertificação e sua disponibilidade e qualidade são determinantes para a qualidade de vida e da estabilidade da sociedade do século XXI.

A questão é saber se o planeta pode suportar o ritmo atual de exploração dos recursos de água doce. É preciso ressaltar a questão da equidade de acesso aos recursos hídricos, bem como a salubridade destes recursos que são, frequentemente, vítimas de diversas formas de poluição, tanto em países de pouca oferta quanto naqueles abundantes em água.

A água, fonte de vida, é igualmente um recurso de valor econômico e uso coletivo, que deve ser gerido de maneira a não provocar conflitos e desequilíbrios entre países ou dentro de um país.

Assim, o principal ponto é ater-se a um desenvolvimento que atenda as necessidades do presente sem prejudicar a capacidade das futuras gerações de suprir suas próprias necessidades, conforme proposta da Agenda 21(1992).

A solução do problema mundial de água requer, para começar, um entendimento do quanto de água doce uma pessoa precisa para suas necessidades essenciais, além do conhecimento dos fatores que impedem o suprimento e o aumento da demanda em diferentes partes do mundo. Segundo Malin Falkenmark do Instituto Internacional de Água de Estocolmo, além de outros peri-

tos no assunto, estima-se que, numa média, cada pessoa da Terra precisa de no mínimo 1000 m³ de água por ano – o equivalente a 2/5 do volume de uma piscina olímpica – para beber, para a higiene e agricultura para sustento.

As populações dependem muito da água em função do lugar onde vivem, pois a distribuição global dos recursos da água varia amplamente.

Em muitas indústrias, o consumo de água costuma ser elevado. Novas estratégias vêm sendo adotadas visando à redução de matérias primas, água e energia elétrica, todas associadas ao aumento de produtividade. Dessa forma, a reciclagem e o reúso podem ser a solução para conciliar redução de custos, melhoria de gerenciamento e uso racional de recursos naturais (CENTI; PERATHONER, 1999).

Reusar a água ou usar a água reciclada traz benefícios porque reduz a demanda nas águas de superfície e subterrâneas disponíveis, Strauss (1991) apud Mieli (2001). O uso da água de maneira mais eficiente protege o meio ambiente, economiza energia, reduz os investimentos em infraestrutura, ocasionando melhoria dos processos industriais. O uso eficiente da água representa uma efetiva economia para consumidores, empresas e a sociedade de um modo geral.

Conceitua-se reaproveitamento da água como sendo a sua utilização por mais de uma vez, reproduzindo o que ocorre na natureza através do “ciclo da água”. É um processo desenvolvido com a intenção de impedir que as indústrias ou grandes condomínios residenciais ou comerciais continuem consumindo água potável e de elevado custo em atividades onde seu uso é dispensável. Com isso, preserva-se a água tratada para o atendimento exclusivo de necessidades mais nobres, tais como aquelas que exigem sua pureza e para o consumo humano.

Baseado nas circunstâncias de conscientização e alteração das relações e concepções no uso das águas, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar e caracterizar ações para a racionalização do uso de água e conservação de energia em uma instalação industrial, por meio de redução no consumo, reaproveitamento de fontes alternativas e outras formas de uso racional da água.

Considerando-se estudos técnico-econômicos, este trabalho adiciona-se a tantos outros esforços na nobre causa de incentivar uma genuína alteração na sociedade e, talvez assim, assegurar um futuro mais próspero às próximas gerações.

PROBLEMÁTICA

Demanda de água para as atividades humanas

Na atualidade, é possível identificar os seguintes usos para a água (MORAN; MORGAN; WIERSMA, 1985):

- consumo humano;
- uso industrial;
- irrigação;
- geração de energia;
- transporte;
- aquicultura;
- preservação da fauna e da flora;
- paisagismo;
- assimilação e transporte de efluentes.

Segundo Rebouças (2001), a demanda total de água no mundo é de apenas cerca de 11% da vazão média dos rios, 70% utilizados pelas atividades agrícolas, 20% pelas indústrias e 10% referentes à demanda do consumo doméstico e uso consumptivo municipal (**figura 2**).

A **figura 2** ilustra a utilização dos recursos hídricos pelos principais setores econômicos.

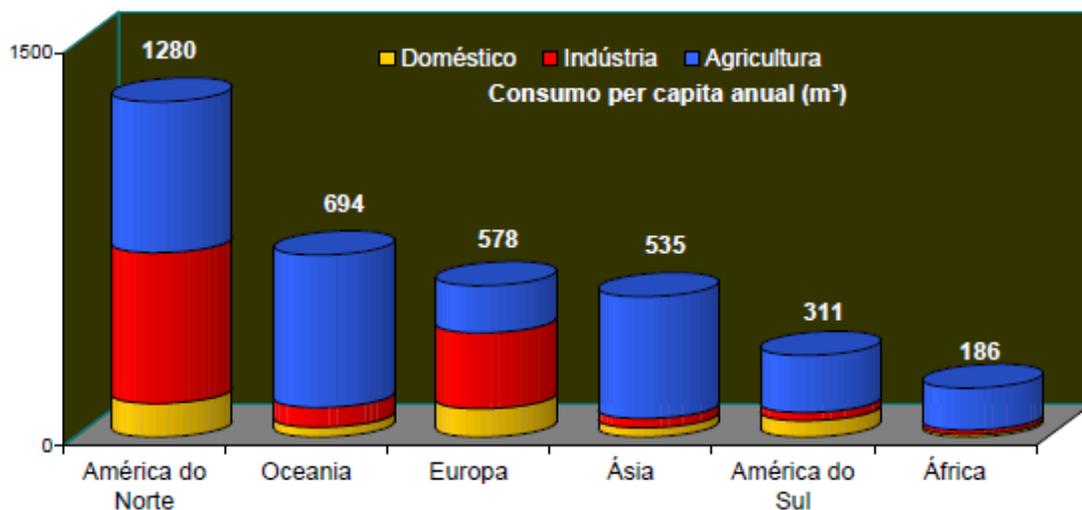


Figura 2 - Como e por quem a água doce do mundo é utilizada

Fonte: NATIONAL GEOGRAPHIC, 2001

Entretanto, o maior volume de água líquida da Terra – acessível aos meios técnicos e financeiros disponíveis – encontra-se escondido no seu subsolo (10 milhões km³). Estima-se que 13 mil km³/ano é de água doce participante do ciclo hidrológico, o qual vem sendo extraído por cerca de 300 milhões de poços que irrigam cerca de 100 milhões de hectares e abastecem mais de metade da população mundial (UNESCO, 1998 apud REBOUÇAS, 2001).

Ainda segundo Rebouças (2001), pelo fato de a água subterrânea ocorrer sob uma camada de material filtrante não-saturado ou relativamente menos permeável (confinante), este manancial encontra-se, comparativamente, melhor protegido dos agentes de poluição que afetam rapidamente a qualidade da água dos rios. Como resultado, a água subterrânea é, regra geral, naturalmente potável, característica fundamental que possibilita a sua utilização pelas empresas de água engarrafada. Além disso, a água subterrânea pode ser captada no próprio terreno do condomínio residencial, da indústria ou do perímetro irrigado. Assim, o seu uso para abastecimento humano torna-se mais barato, se comparado com a captação e tratamento das águas de um rio ou de outro manancial de superfície. Não obstante, a sua utilização não pode ser vista como panacéia, ou seja, uma solução para todos os problemas de abastecimento.

Água no Brasil

O Brasil tem posição privilegiada no mundo, em relação à disponibilidade de recursos hídricos. A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de cerca de 180 mil m³/s. Este valor corresponde a aproximadamente 12% de toda a água doce superficial do mundo, que é de 1,5 milhões de m³/s, Shiklomanov (1998), e representa ainda 28% de toda a água doce do continente americano. O Brasil é considerado rico em termos de vazão média por habitante, com cerca de 33 mil m³/hab/ano, mas apresenta uma grande variação espacial e temporal das vazões.

A disponibilidade de água nas grandes regiões hidrográficas brasileiras é variável assim como a população local. Por exemplo, na região amazônica tem-se 74% das disponibilidades nacionais, isto é, dos recursos hídricos superficiais, e é habitada por menos de 5% da população brasileira. Uma vazão em torno de 48000 m³/hab/ano, com 132000 m³/s de vazão disponível em território nacional e 86000 m³/s nos países vizinhos à montante. Essa mesma região apresenta um expressivo potencial hidrelétrico (40% do total do país), sendo que apenas 1% é hoje explorado.

A menor vazão média por habitante é observada na região hidrográfica Atlântico Nordeste

Oriental, com média inferior a 1200 m³/hab/ano. Em algumas bacias dessa região são registrados valores menores que 500 m³/hab/ano.

Destacam-se ainda, na condição de regiões com pouca disponibilidade relativa, algumas bacias das regiões hidrográficas Atlântico Leste, Parnaíba e São Francisco. Na porção semi-árida dessas regiões, onde o fenômeno da seca tem repercussões mais graves, a água é um fator crítico para as populações locais (**tabela 1**).

A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de 179 mil m³/s, o que corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade hídrica superficial mundial, que é de 1,5 milhão de m³/s (44.000 km³/ano, SHIKLOMANOV, 1998).

Tabela 1 - Disponibilidade hídrica e vazões médias e de estiagem

Região Hidrográfica	Vazão média¹ (m³/s)	Disponibilidade hídrica (m³/s)	Estiagem Q95 (m³/s)
Amazônica	132.145	73.748	73.748
Tocantins-Araguaia	13799	5.477	2.696
Atlântico Nordeste Occidental	2608	320	320
Parnaíba	767	379	294
Atlântico Nordeste Oriental	774	91	32
São Francisco	2.846	1.896	852
Atlântico Leste	1.484	305	252
Atlântico Sudeste	3.162	1.109	986
Atlântico Sul	4.055	647	647
Paraná	11.414	5.792	3.901
Uruguai	4.103	565	394
Paraguai	2.359	782	782
Brasil	179.516	91.071	84.904

Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2009).

1 A Bacia Amazônica ainda compreende uma área de 2,2 milhões de km² em território estrangeiro a qual contribui com

adicionais 86.321 m³/s em termos de vazão média.

A Bacia do rio Uruguai ainda compreende adicionais 37 mil km² em território estrangeiro, a qual contribui com 878 m³/s

em termos de vazão.

A Bacia do rio Paraguai compreende adicionais 118mil km² em território estrangeiro e 595m³/s em termos de vazão média.

Levando-se em consideração as vazões oriundas de território estrangeiro que entram no País (Amazônica – 86.321 m³/s, Uruguai – 878 m³/s e Paraguai – 595 m³/s), essa disponibilidade hídrica total atinge valores da ordem de 267 mil m³/s (8.427 km³/ano – 18% da disponibilidade hídrica superficial mundial).

A região hidrográfica Amazônica detém 73,6% dos recursos hídricos superficiais nacionais. Ou seja, a vazão média desta região é quase três vezes maior que a soma das vazões de todas as demais regiões hidrográficas brasileiras (ANA, 2009).

No intuito de analisar a distribuição espacial da oferta de água no País, foram determinadas as contribuições intermediárias específicas das bacias em território nacional. A **figura 3** apresenta a contribuição intermediária das bacias hidrográficas brasileiras em termos de vazão média específica.

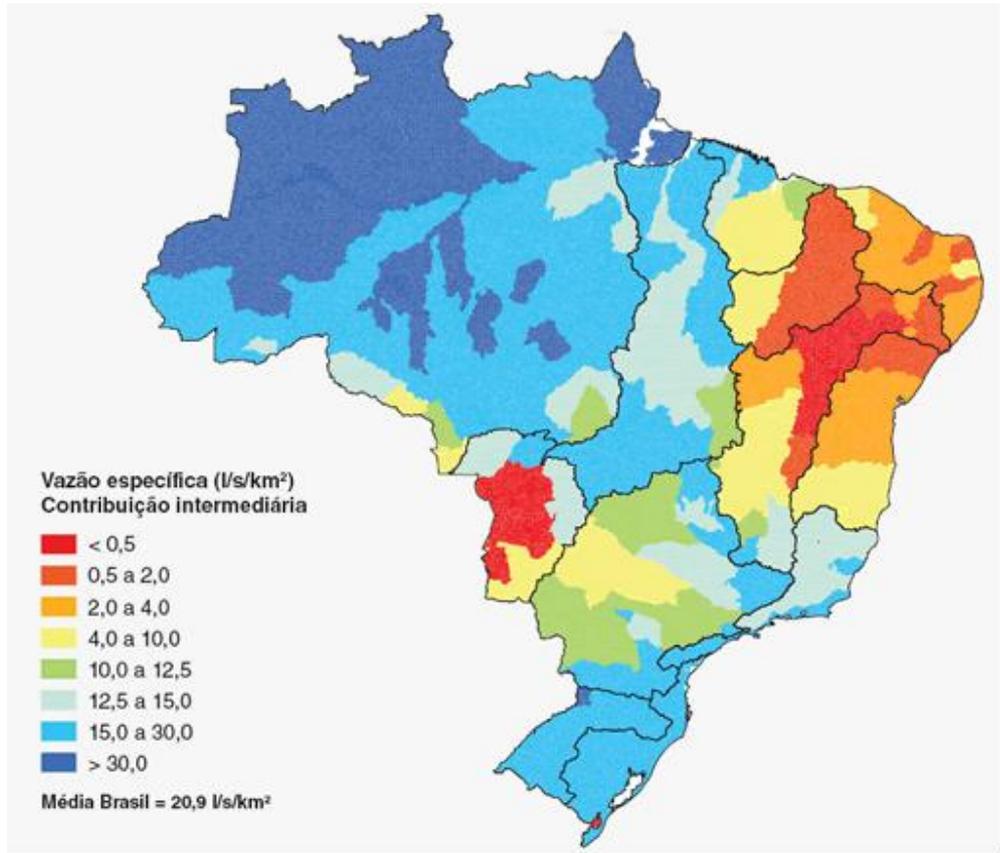


Figura 3 - Distribuição espacial das vazões específicas no território brasileiro

Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2009)

Em território nacional, as vazões específicas variam de menos de 2,0 L/s/km² (bacias do semi-árido brasileiro) até valores superiores a 30 L/s/km² (destaque para Região Hidrográfica Amazônica).

A baixa vazão específica observada na região do Pantanal (Região Hidrográfica do Paraguai) mostra que esta área, apesar da abundância de água oriunda da região de Planalto, não é produtora de água, resultando em baixa contribuição específica da Região do Pantanal ao escoamento superficial, ANA (2007), devido à grande perda de água por evapotranspiração que ocorre nas áreas pantaneiras alagadas (ANA, 2009).

JUSTIFICATIVA

Demanda de água por atividade no Brasil

Estudos conduzidos pela ANA (2009) identificaram a demanda de água por tipo de atividade, indicando que, de maneira global, a maior demanda é da agricultura, seguida pelo abastecimento urbano e industrial, conforme apresentado na **figura 4**. A figura mostra que, no Brasil, o setor de irrigação possui a maior parcela de vazão de retirada (cerca de 47% do total) e a maior vazão de consumo (69%). Verifica-se que, na demanda para o abastecimento urbano, são reservados 26% do total, 17% para indústria, 8% para dessedentação animal e apenas 2% para abastecimento rural (ANA, 2009).

Retirada total do Brasil: 1.841,5 m³/s

Consumo total do Brasil: 986,4 m³/s



Figura 4 - Distribuição das vazões de retirada e consumo para diferentes usos

Fonte: ANA (2009)

É importante observar que cada atividade gera efluentes líquidos que atingem os corpos d'água direta ou indiretamente, podendo comprometer sua qualidade e, assim, restringir seu uso como fonte de abastecimento (MIERSWA; HESPANHOL, 2005).

Estratégias para a minimização de conflitos pelo uso da água

Segundo Mierswa; Hespagnol (2005), um dos primeiros passos para que os conflitos pelo uso da água sejam solucionados é a quebra do paradigma de abundância que se estabeleceu no Brasil. Isto requer que os usuários compreendam que a água é um recurso limitado, dependente dos processos naturais para sua autodepuração, os quais são lentos se comparados à capacidade dos seres humanos de gerar poluição.

Na Agenda 21, documento resultante da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (realizada na cidade do Rio de Janeiro, em 1992), a questão dos recursos hídricos destacou a necessidade de uma abordagem integrada, enfatizando a necessidade de se racionalizar o uso da água, conservar os recursos disponíveis e minimizar desperdícios (SMA, 1997b). Outra medida da Agenda 21 trata de alternativas para o abastecimento de água e do desenvolvimento de fontes novas, como a das águas de pouca qualidade e residuárias, a partir da prática de reúso.

Na atualidade, portanto, o conceito de racionalização do uso e reúso da água pode ser considerado uma alternativa apropriada para enfrentar os problemas de escassez de água e poluição dos recursos hídricos (MIERSWA; HESPANHOL, 2005).

Uso racional da água

Racionalizar o uso da água é uma das primeiras alternativas de um programa de gerenciamento de recursos hídricos, qualquer que seja a atividade na qual a água é empregada. É necessário conhecer as atividades em que a água é utilizada, de forma a possibilitar a determinação da quantidade necessária em cada aplicação e o grau de qualidade exigido para uso. É importante ainda que se faça o levantamento dos principais pontos de geração de efluentes.

Uma questão fundamental para o sucesso de qualquer iniciativa que promova a racionalização do uso da água é a importância que se dá a este recurso. Isto significa dizer que a água deve ser considerada um insumo cuja disponibilidade é limitada, o que a torna dotada de valor econômico (MIERSWA; HESPANHOL, 2005).

Devem ser levantados e avaliados dados suficientes para permitir a construção de um diagrama que mostre, de uma maneira abrangente, a distribuição do consumo de água por tipo de uso, de forma que se possa identificar aqueles usos que exigem maiores demandas. É justamente neles onde ocorre uma maior probabilidade de desperdício de água, e um grande potencial para promover a redução do consumo, por meio da adoção ou da alteração de procedimentos operacionais.

Uma vez determinado o ponto de maior consumo de água, deve-se estudar alternativas que possibilitem reduzir esse consumo a níveis aceitáveis, tais como:

- integração entre processos principais e auxiliares;

- mudança de procedimentos operacionais;
- substituição de componentes que consomem muita água;
- busca por novas tecnologias e métodos produtivos.

Em atividades industriais, a avaliação do potencial de redução do consumo de água exige a elaboração de uma análise pormenorizada dos processos produtivos que requerem água. É importante a participação de profissionais com conhecimentos próprios sobre o processo a ser avaliado, além do conhecimento de tópicos específicos sobre o uso e tratamento de água e gerenciamento de efluentes.

Uma ferramenta que vem sendo amplamente difundida para a otimização do uso da água na indústria é a determinação do ponto de mínimo consumo de água, Mann; Liu (1999). Por meio da associação da carga de contaminantes incorporada à água durante sua utilização, é possível determinar qual é a menor quantidade de água para atender à demanda.

Cabe ressaltar que o uso dessa ferramenta somente é eficaz após a implantação de iniciativas que eliminem desperdícios e otimizem o uso da água, uma vez que a determinação do ponto de mínimo consumo de água visa a uma boa alocação dos recursos disponíveis, de acordo com a carga de contaminantes acumulada.

Conclui-se daí que o crucial na racionalização do uso da água é, basicamente, o melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis por meio de práticas conservacionistas, que integram novos métodos de produção com as novas tecnologias disponíveis, seja em termos de processos ou de equipamentos (MIERSWA; HESPANHOL, 2005).

Uso dos recursos não convencionais de água

O grande desafio no uso da água no Brasil é mudar o tradicional extrativismo instalado desde o período colonial (1500-1822), para uma visão de rendimento ou de produtividade. Em outras palavras, deve-se transformar a visão de uso do capital, tal como recursos naturais e mão-de-obra barata, para uma preocupação maior com o seu rendimento, num conceito de desenvolvimento sustentável, conforme preconizado pelas Nações Unidas em 1987 (FGV, 1991 *apud* REBOUÇAS, 2008).

Torna-se evidente que a reversão do cenário crítico de falta d'água no Brasil não poderá ser alcançada meramente pela atenuação de conflitos de uso, de estabelecimento de prioridades

ou de mecanismos de controle da oferta, tais como os de outorga e cobrança. Outros mecanismos de gestão integrada deverão ser implementados nacionalmente para estabelecer equilíbrio entre oferta e demanda de água. Além da necessidade de se desenvolver uma cultura e uma política de uso cada vez mais eficiente da gota d'água disponível e de conservação em todos os setores da sociedade, a gestão integrada constitui o mais moderno e eficaz instrumento em prol do desenvolvimento sustentável (REBOUÇAS, 2008).

Neste cenário, não há dúvida de que a utilização inteligente dos recursos hídricos não convencionais – captação de águas de chuva, águas subterrâneas e reúso de água, principalmente – constitui prática de imenso valor para diversas áreas do Brasil, tanto naquelas situadas em regiões semi-áridas do Nordeste, quanto nas regiões metropolitanas e das grandes cidades. No Brasil, em particular, embora ostente as maiores descargas de água doce do mundo nos seus rios, lutar pelo seu uso cada vez mais eficiente é lutar contra a pobreza, pela vida, pela saúde e pela comida para todos.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral o projeto de um sistema de coleta e aproveitamento da água de chuva para uma edificação a ser construída nas instalações de uma indústria de reparo e construção naval, localizada no entorno da baía de Guanabara.

Este trabalho obedece ao princípio geral de que a conservação da água deve implicar benefícios líquidos positivos. Isto significa que qualquer ação ou programa de conservação só é viável se, ao final de um balanço entre os custos e os benefícios, os resultados forem favoráveis.

Objetivos Específicos

Será apresentado um diagnóstico ambiental através do levantamento do consumo e manejo da água na indústria, tendo como foco os seguintes objetivos específicos:

- 1) revisão bibliográfica relacionada ao histórico e conceitos da captação e uso da água de chuva;

- 2) levantamento de soluções tecnológicas e estruturais para coleta e armazenamento da água de chuva;
- 3) levantamento através de imagens e plantas das áreas com potencial para instalação de sistemas de coleta e armazenamento da água de chuva;
- 4) análise quantitativa e qualitativa da água de chuva;
- 5) análise da viabilidade técnica e econômica do projeto.

Espera-se que este trabalho seja o ponto de partida para muitos outros dentro da indústria, procurando incentivar o aproveitamento da água de chuva para consumo não potável e criando assim uma consciência ecológica em todos os níveis da empresa, contribuindo dessa forma para a sustentabilidade.

ESTRUTURA DO TRABALHO

Após este capítulo introdutório, segue o **capítulo 2** onde é descrito um histórico sobre o aproveitamento da água de chuva, apresentando conceitos e definições técnicas sobre o tema. Em seguida, o **capítulo 3** apresenta um comparativo entre a disponibilidade dessa água e a demanda associada, além dos seus principais benefícios.

No **capítulo 4**, são apresentados os parâmetros de qualidade da água de chuva e seus métodos de análise, além das conseqüências da chuva ácida e seu monitoramento. No **capítulo 5**, são descritos os métodos construtivos e de tratamento da água de chuva. O **capítulo 6** apresenta um estudo de caso com a seqüência de desenvolvimento de um projeto de sistema de aproveitamento de água de chuva. No **capítulo 7**, é apresentada a discussão sobre a viabilidade de implementação em razão do resultado da aplicação da metodologia proposta para o estudo.

E, finalmente, o **capítulo 8** apresenta as conclusões deste trabalho.

1 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA: HISTÓRICO E PRINCIPAIS CONCEITOS

Apresenta-se neste capítulo um breve histórico relacionado à captação e aproveitamento da água de chuva, os principais conceitos e definições técnicas relacionados com o tema. São incluídos ainda os princípios básicos para utilização da água de chuva e aspectos legais em vigor no Brasil.

Como poderá ser observada, esta técnica utilizada ao longo das civilizações a partir da aplicação de metodologias e técnicas distintas se apresenta atualmente como uma opção real visando à conservação e uso sustentável dos recursos naturais.

1.1 Histórico do uso da água de chuva

A utilização de técnicas para captação e aproveitamento da água de chuva é relatada pela literatura especializada indicando a sua aplicação há milhares de anos e entre várias civilizações. Entre os principais usos incluíam-se: uso doméstico, dessedentação de animais e usos na agricultura. Esta técnica foi criada e desenvolvida de forma independente e simultânea em diversas regiões de diferentes continentes em períodos simultâneos ou não, sem que houvesse transferência de conhecimento, sendo possível supor que tenha sido de forma instintiva e oriunda da necessidade de sobrevivência e desejo de fixar residência (LIMA, 2007).

As zonas áridas ao redor do Mundo (**figura 5**) demonstram os avanços do uso dessa tecnologia e a motivação para a sua aplicação.

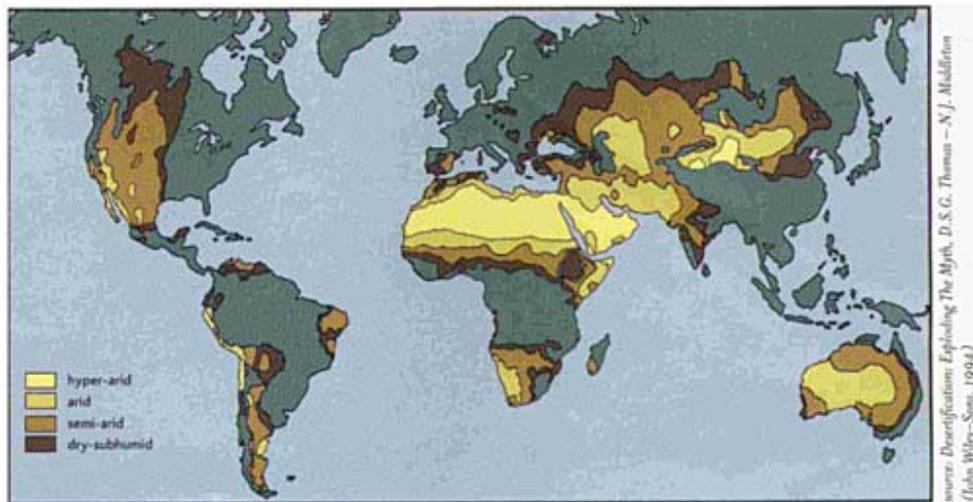
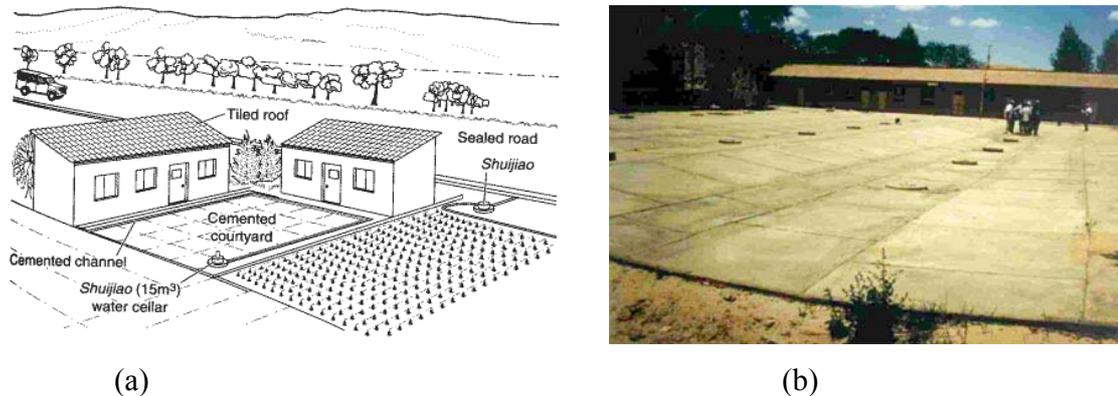


Figura 5 - Zonas áridas ao redor do Mundo

Fonte: GNADLINGER, 2000, disponível em <http://www.irpaa.org/colheita/fl.htm>, acessada em junho de 2010.

Diversos autores apresentam registros históricos do uso da água de chuva, como apresentados por Villiers (2002); May (2004); Oliveira (2007); Gnadlinger (2000), entre estes, pode-se citar:

- Planalto de Loess na China (Província Gansu) – utilização de cacimbas e tanques para captação da água de chuva com registros de mais de dois mil anos, ainda usados na atualidade. Segundo Yuanhong (1999), entre 1995 a 1996, o governo local executou o projeto "121" de captação da água da chuva, proporcionando a 1,2 milhões de pessoas acesso à água potável. Segundo o mesmo autor, um projeto de monitoramento da captação de água da chuva para irrigação também vem sendo conduzido para reformular as condições básicas de agricultura na área. A experiência de Gansu relata que captação e utilização da água da chuva na China pode propiciar um meio eficaz de aliviar a pobreza e um novo limiar para o desenvolvimento da agricultura em zonas áridas. As **figuras 6a** e **6b** apresentam imagens do projeto "121" utilizado no norte da China.



Figuras 6 - (a) Esquema do projeto de colheita de água de chuva denominado "121";

(b) Imagem do Projeto de colheita de água de chuva "121", vista parcial

Fonte: GNADLINGER, 2000, disponível em <http://www.irpaa.org/colheita/fl1.htm>, acessada em junho de 2010.

- Índia – o projeto de pesquisa denominado Sabedoria Prestes a Desaparecer (Dying Wisdom) enumera muitas experiências tradicionais de captação de água de chuva nas quinze diferentes zonas ambientais do país. Este sistema não é utilizado atualmente devido às considerações relacionadas ao sistema colonial britânico, que, forçando o pagamento de tributos, induziram a população local a abandonar sistema de colheita de água comunitário dos vilarejos e causando assim o colapso de um sistema centenário (GNADLINGER, 2000).
- Irã – presença dos Abanbars, um tradicional sistema de captação de água de chuva comunitário; (ver **figura 7**):

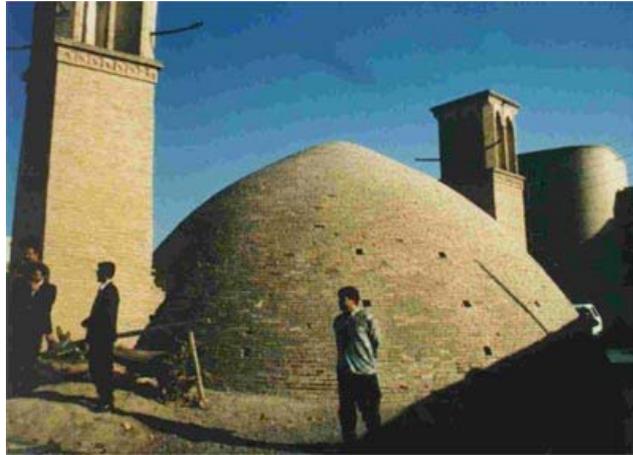


Figura 7 - Imagem de um Abanbar, utilizado no Irã

Fonte: GNADLINGER, 2000, disponível em <http://www.irpaa.org/colheita/f3.htm>, acessada em junho de 2010.

- Deserto de Negev (atual território de Israel e Jordânia) – relato da existência de um sistema integrado de manejo de água de chuva e agricultura de escoamento de água pluvial com registro de mais de 2000 anos.
- O México como um todo é rico em antigas e tradicionais tecnologias de captação de água de chuva, datadas da época dos Astecas e Maias, ao sul da cidade de Oxkutzcab ao pé do Monte Puuc ainda hoje podem ser vistas as realizações dos Maias, no século X existia ali uma agricultura baseada na colheita de água de chuva, as pessoas viviam nas encostas e sua água potável era fornecida por cisternas com capacidade de 20.000 a 45.000 litros, chamadas Chultuns, estas cisternas tinham um diâmetro de aproximadamente 5 metros e eram escavadas no subsolo calcário, revestidas com reboco impermeável, acima delas havia uma área de captação de 100 a 200 m², como está ilustrado na **figura 8**. Nos vales usavam-se outros sistemas de captação de água de chuva, como as Aguadas (reservatórios escavados artificialmente com capacidade de 10 a 150 milhões de litros) e Aquaditas (pequenos reservatórios artificiais para 100 a 50.000 litros), é interessante observar que as Aguadas e Aquaditas eram usadas para irrigar árvores frutíferas e/ou bosques além de fornecer água para o plantio de verduras e milho em pequenas áreas, muita água era armazenada, garantindo-a até durante períodos de seca inesperados.

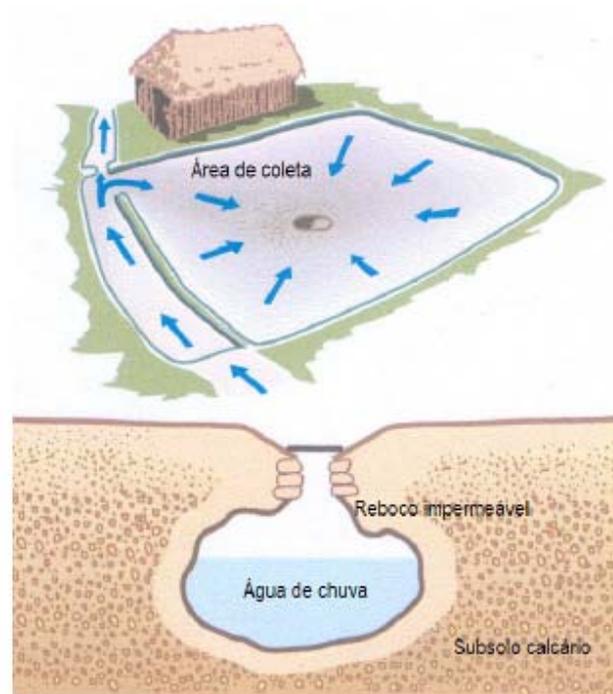


Figura 8 - Cisterna do povo Maya, denominada Chultun.

(Fonte: May, 2004)

Na Roma Ocidental as casas eram construídas com cisternas individuais e pátios pavimentados para captar água de chuva e complementar os aquedutos da cidade (GERSTON, 1997).

1.2 Experiências Atuais

Apesar de muitas das técnicas apresentadas terem sido abandonadas ao longo do tempo, a conscientização ambiental e a necessidade de minimização dos impactos provados por enchentes, notadamente em áreas urbanas e densamente povoadas, a captação e aproveitamento da água de chuva passa a ser uma alternativa. Diversos exemplos em diferentes países podem ser observados, destacando-se: Austrália, Estados Unidos, Alemanha e Japão.

Além disso, compensações financeiras também influenciam, como no exemplo da Austrália, quando em 2003, os governos dos estados de Nova Gales do Sul (New South Wales) e Vitória (Victory), compensaram financeiramente os comerciantes, empresários e quaisquer moradores que comprassem tanques para estocagem e utilização de água de chuva. Foram ressarcidos valores de até 500 dólares australianos caso fosse aproveitada a água de chuva em tanques de lava-

gem de roupa e descargas de vasos sanitários. (Fonte: Bluescope Steel). Um estudo realizado no sul deste mesmo país mostrou que mais de 80% da população rural utilizam a água da chuva como fonte de abastecimento, contra apenas 28% da população urbana (HEYWORTH et al., 1998 apud PROSAB, 2006).

Em 2005, dentro do projeto-piloto dirigido pela União Européia, “Sustainable Housing in Europe” (SHE), foi lançado o primeiro empreendimento, constituído por 101 habitações distribuídas por dois edifícios, que previa o aproveitamento das águas pluviais para rega de jardins e limpeza de sanitários (NEVES et al., 2006 apud OLIVEIRA, 2007).

Pelo menos quinze estados e territórios norte-americanos usam sistemas de aproveitamento de água de chuva. Alasca, Hawaí, Washington, Carolina do Norte, Pensilvânia e Texas são alguns desses que, somados, reúnem aproximadamente meio milhão de pessoas beneficiadas por algum tipo de Sistema de Aproveitamento em suas atividades diárias (KRISHNA, 2005).

Legislações Estaduais e Federal nos Estados Unidos vêm refletindo o anseio da população no que se refere à conservação da água. Na década de 90, o Texas foi pioneiro a derrogar taxas de propriedades para instalações comerciais e industriais que fizessem uso da coleta de água de chuva e medidas de controle de poluição. Em 2001, o senado norte-americano atribuiu competência tributária às autoridades locais para que isentassem, total ou parcialmente, propriedades que contivessem componentes de sistemas de aproveitamento de água de chuva; e, além disso, foram concedidas isenções de taxas na compra de equipamentos para esse fim. No ano de 2003, as associações de moradores foram impedidas de assinarem convênios e contratos que banissem medidas de conservação de água, dentre eles o aproveitamento das águas pluviais.

Em 1957, foi criado o Texas Water Development Board (TWDB), que abrange várias áreas de saneamento ambiental. O TWDB, desde então, é referência para pesquisadores, profissionais e interessados pelo tema “Aproveitamento de água de chuva”. É também o responsável por um dos manuais mais referenciados em todo o mundo: “The Texas Manual on Rainwater Harvesting”, que já apresenta como versão mais atual a sua terceira edição, publicada em 2005.

Esse manual veio sanar as dúvidas do setor da Construção Civil do Texas quando, no mesmo ano, essa medida de conservação de água ganhou força num relatório apresentado pela Comissão de Construções Residenciais do Texas. O relatório motivou construtores a incorporarem esse tema em seus projetos. O manual contém informações-padrão sobre a qualidade da água

requerida para determinados usos, instalações e componentes de um sistema de aproveitamento de água de chuva, orientações sobre dimensionamento do sistema, etc.

Segundo Herrmann; Schmida (1999), hoje, na Alemanha, há mais de 100 grupos comerciais competindo no mercado de aproveitamento de água de chuva e mais de 100 mil reservatórios foram construídos na última década. A cidade de Berlim é um exemplo de racionalização da água. A água captada em praças e edificações tem sido utilizada para paisagismo e amenização da temperatura nos últimos verões europeus. Em Hamburgo, quem é adepto à prática de utilizar a água da chuva, pode até desembolsar US\$ 2000 como subsídio do governo, Tomaz (2003). Embora possa ser vista como um gasto nas contas públicas, essa é uma ação que, além de preservar os recursos hídricos, atenua os efeitos hidráulicos nos sistemas de drenagem.

Outros que não poupam esforços para implementar sistemas de coleta e aproveitamento de água de chuva são os japoneses. Os exemplos mais visíveis estão nos estádios e complexos esportivos. Os chamados “Dome Stadiums”, por serem construções com imensas áreas de captação, têm capacidade de armazenamento para grandes volumes de água. Zaizen et al., (2000) citam os estádios Tokyo Dome, Fukuoka Dome e Nagoya Dome como exemplos. Cada um possui, respectivamente, 1000, 1800 e 1500 m³ em reservatórios para rega de jardins e descarga de vasos sanitários. Na **Figura 9** encontra-se a imagem de um dos citados estádios. Na cidade de Kitakyushu, em 1995, foi erguido um edifício com 14 pavimentos prevendo a utilização da água de chuva com um reservatório para 1000 m³, Tomaz (2001). Foi no Japão também onde surgiu o “Raindrops Group”, com a intenção de difundir a ideia de que essas águas podem ser uma aliada e não uma vilã nas enxurradas urbanas. Para isso, em 1995 foi publicado um manual específico para aproveitamento da água de chuva, o “Rainwater & You: 100 Ways To Use Rainwater”, já traduzido para o português.



Figura 9 - "Dome Stadiums" no Japão: água de chuva para rega de jardins e descarga de sanitários (Fonte: ZAIZEN et al., 2000 apud Oliveira, 2007) Tokyo Dome, construído em 1983

Em Singapura, país com uma média pluviométrica anual de 2370 mm, há mais de 56 indústrias que utilizam mais de 800 mil m³ de água de chuva por mês, Tomaz (2003). No aeroporto de Changi, de 28 a 33% total da água consumida é proveniente da coleta e tratamento da água de chuva, gerando uma economia de US\$ 255.000 por ano (UNEP, 2007).

Na Tailândia, recipientes com capacidades variadas de 100 a 3000 litros transformados em reservatórios de água de chuva são suficientes para sustentar uma família de até seis pessoas no período de estiagem, que pode durar até seis meses. Alguns países da África como, África do Sul, Etiópia, Uganda, Moçambique, Tanzânia e Quênia, também seguem o exemplo. Neste último, em 1994, foi fundada a “Kenya Rainwater Association” (KRA), que, juntamente com o “Southern and Eastern Africa Rainwater Harvesting Network” (SearNet), é um dos responsáveis pela transformação no país: muitas cisternas foram construídas ao longos dos últimos anos (SEARNET; KRA, 2007).

Em 1989, surgiu a “International Rainwater Catchment Systems Association” (IRCSEA) que promove Conferências Internacionais de Sistemas de Cisternas de Água de Chuva em todo o mundo. Em 1999, uma dessas conferências foi realizada no Brasil. (IRCSEA, 2007).

A experiência da África do Sul e outros países africanos é relatada por Dyer (1999). O sul da África, região sujeita a secas, sofre severas estiagens, observadas notadamente nos últimos anos. Contudo, o uso da captação da água de chuva, mesmo como uma fonte suplementar de água, geralmente não está inserido nas políticas e práticas do governo na região. Desta forma, um programa de ação específico visando promover o uso de captação de água de chuva para uso doméstico e para produção agrícola foi iniciado na região: Programa Regional de Captação de Água de Chuva. Possui como metas: a) influenciar as políticas e práticas de suprimento comunitário de água no sul da África, em termos de aumentar a utilização de técnicas de coleta de água de chuva; b) encorajar as melhores práticas na implementação de iniciativas de captação de águas de chuva. São os seguintes os países participantes são Namíbia, Botsuana, África do Sul, Moçambique, Zimbábue e Zâmbia.

SMITH et al. (1985) relata a experiência das Ilhas Virgens Americanas. As Ilhas Virgens Americanas (USVI) formam uma das poucas áreas no mundo, onde a coleta de água de chuva ligando superfícies de telhados e subsequente armazenamento da água é exigido por lei. Os altos custos de construção, bem como um padrão de vida com altos requerimentos de água potável, demandam que os sistemas de coleta de chuva requeridos sejam delineados, construídos, operados e mantidos tão eficientemente quanto possível. A USVI tem colaborado com os Estados Federados da Micronésia (FSM) na avaliação comparativa, do ponto de vista de concepção, entre as práticas adotadas na USVI e nos FSM. A USVI e o Havaí também colaboraram na análise dos fatores legais, econômicos e institucionais que afetam os seus sistemas de uso da água de chuva. Essas contribuições revelam que há muito para se avançar através da análise detalhada das práticas e dos padrões dos sistemas de coleta de água de chuva que evoluíram independentemente entre si, mas com a mesma meta principal. Enquanto que as demoradas e numerosas experiências com esses sistemas altamente desenvolvidos, na USVI, proporcionam aos outros países opções para futuros esquemas de ações, a USVI pode ganhar muito com os recentes e inovadores enfoques adotados por esses países a fim de melhorar suas práticas de utilização de água de chuva

Já Garduño (1998) relata as novas ações realizadas no México, baseada na forte experiência do passado: aplicação de tecnologias antigas e tradicionais. O autor ainda descreve diferentes

sistemas de captação de água para os seguintes usos: *a*) uso doméstico (coleta de água dos telhados e de superfícies de terra pavimentada), e *b*) produção agrícola (micro-bacias de captação, curvas de nível, aterros trapezoidais, barragens permeáveis de pedra, bacias de inundação, aterros de pedra em contorno e outros).

1.3 Experiências Brasileiras

No Brasil, a grande disponibilidade de água doce acrescida de suas características climáticas: país com predomínio de clima tropical e alto índice pluviométrico, a prática da captação e aproveitamento das águas de chuva no Brasil não foram priorizadas ao longo do tempo.

O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva é considerado uma técnica popular, especialmente em regiões semi-áridas brasileiras. Estas regiões apresentam chuvas irregulares e altas taxas de evaporação potencial. Além disso, oitenta por cento da área geográfica do subsolo destas localidades apresentam formação cristalina, sem lençol freático. Sendo assim, a coleta de água de chuva tem se mostrado a opção mais indicada para disponibilizar água para consumo humano (MAY, 2004).

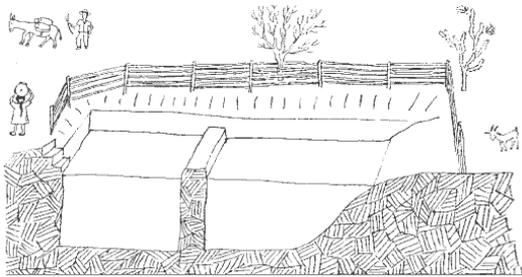
As diferenças e características regionais acabaram por influenciar esta utilização. Os principais estudos se basearam na região do semi-árido, no nordeste brasileiro.

Segundo Gnadlinger (2000), diferentes tipos de captação de água de chuva podem ser observados nessa região:

- **cisterna** de placa de concreto com tela de arame (com 50 cm de largura, 60 cm de comprimento e 3 cm de espessura), fortificada com arame galvanizado de aço nº 12, e rebocada por dentro e por fora, foi a cisterna mais construída. A aderência entre as placas de concreto às vezes é fraca, por isso, a tensão pode causar rachaduras, por onde a água pode vazar. Por esta razão, a cisterna de concreto com tela de arame (que utiliza uma fôrma durante a primeira fase de construção) provavelmente vai ser o tipo mais usado e apropriado para a região. Uma cisterna desse tipo raramente vaza, e se isso acontecer, poderá ser facilmente consertada. É igualmente adequada também para pequenos e grandes programas de construção de cisternas.

- ***cisterna subterrânea*** feita com massa de cal e tijolos relembra os Abanbars do Irã e os Chultuns do México.
- ***caxios***, cisternas cavadas manualmente na rocha; trata-se de uma maneira tradicional de captar a água de chuva. Sua água é geralmente usada para os animais, porém, depois de filtrada, pode ser usada também para consumo humano.
- ***barragens subterrâneas*** armazenam a água de escoamento para uso posterior: a parede da barragem é cavada para baixo da superfície do chão em solo raso, em direção ao subsolo cristalino impermeável. Em seguida, uma barreira de terra ou pedras é construída e coberta com uma folha de PVC do lado de onde vem a água para evitar vazamentos. No solo encharcado com água pode-se plantar culturas anuais ou árvores frutíferas. Além disso pode-se colocar quase sempre uma cisterna subterrânea para poder usar a água para consumo humano ou animal ou para irrigação. Ainda nos primeiros meses da estação seca é possível plantar uma segunda vez e até mesmo nos anos de maior seca estas barragens nunca ficam sem água. As assim chamadas represas / barreiros de salvação ou irrigação suplementar captam água de escoamento de uma grande área natural de captação superficial. Abaixo da represa, as pessoas plantam culturas anuais como feijão, milho ou sorgo. Se há um período seco durante a estação chuvosa, eles podem regar as plantações por gravidade com a água da represa. Se não precisarem da água, poderão plantar novamente durante a estação seca e usá-la para irrigar uma segunda plantação.
- ***captação in situ*** entre fileiras aplica-se por exemplo no sulcamento da roça antes ou depois da semeadura, na aração parcial ou nos sulcos com barramento de água. Captação de água de chuva *in situ* é apropriado para sistemas de plantação existentes e pode ser executada com a ajuda de máquinas ou animais.

As figuras 10a e 10b apresentam exemplos dos tipos de captação de água de chuva, conforme descritos por (GNADLINGER, 2000).



(a)



(b)

Figura 10 - a) “croquis” de caxio, cisterna cavada manualmente na rocha; b) Imagem de caxio

Fonte: GNADLINGER, 2000, disponível em <http://www.irpaa.org/colheita/f7.htm>,
 acessada em junho de 2010



Figura 11 - Cisterna de cimento com tela de arame

Fonte: Gnadlinger, 2001a

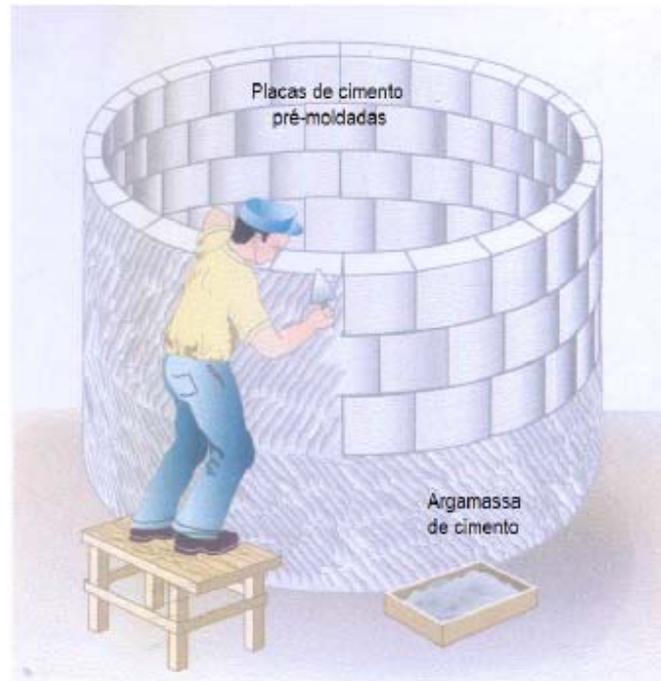


Figura 12 - Cisterna de placas de cimento pré-moldadas

Fonte: Gnadlinger, 2001a

Fora da região Nordeste, outros exemplos do aproveitamento da água de chuva surgem de atitudes que podem ser consideradas isoladas. Cidadãos comuns, já conscientes da situação de escassez, já buscam instalar dispositivos em suas residências, muitas vezes mesmo sem bases técnicas corretas. Algumas empresas e indústrias, como empresas de ônibus ou postos de gasolinas, instalam sistemas de captação para lavagem de carros, de pátios, no processo industrial, etc. Os exemplos apresentados a seguir são relatados por (VIGGIANO, 2001).

Em Brasília, no Setor de Mansões Park Way, um projeto piloto denominado “Casa Autônoma” foi construído para exemplificar a possibilidade de uma residência auto-sustentável, ou seja, sem previsão de abastecimento pela concessionária local, conforme **figuras 13a e 13b**.

Um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva foi instalado com uma área de captação de 320 m², um filtro comercial próprio para águas de chuva e reservatórios com capacidade para 15 mil litros (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2004).

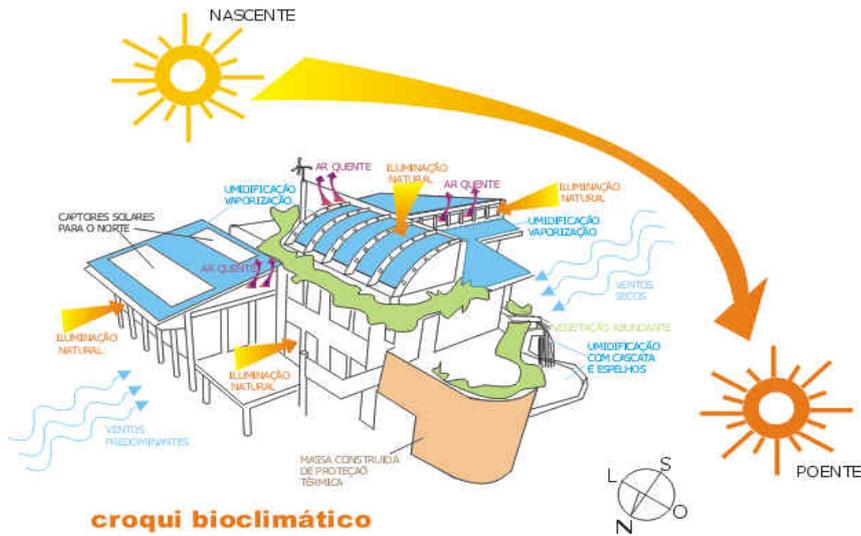


Figura 13a. - Croqui Bioclimático

Fonte: Projeto Casa Autônoma

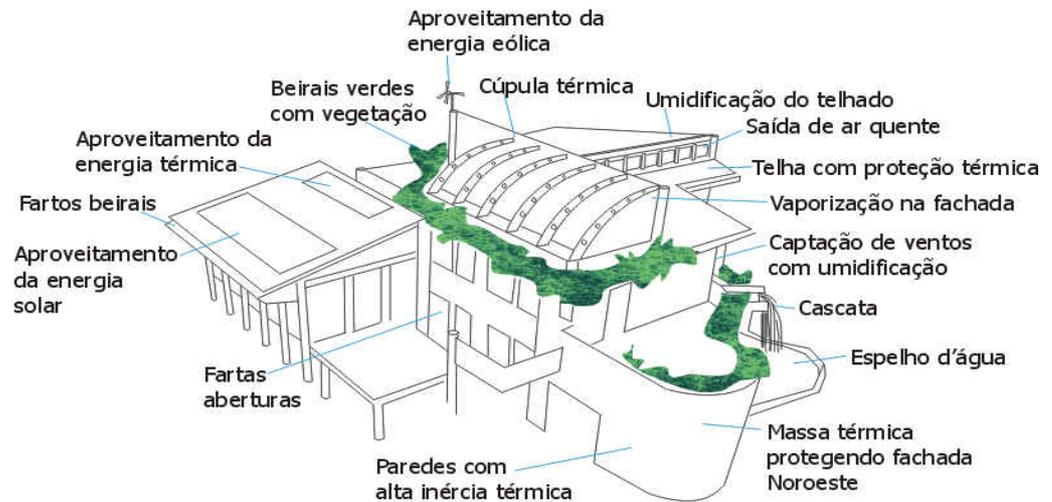


Figura 13b - Croqui com diretrizes e soluções bioclimáticas e sustentáveis

Fonte: Projeto Casa Autônoma

Na cidade do Rio de Janeiro, algumas experiências vieram tanto de iniciativas isoladas de moradores e empresários, quanto de ações do poder público. Werneck (2005) cita duas residências localizadas nos bairros da Lagoa e da Urca que incluíram instalações hidráulicas e sanitárias

com água de aproveitamento de chuvas. Essa última, premiada pelo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), utiliza a água de chuva juntamente com o esgoto tratado no abastecimento da descarga de vasos sanitários, na irrigação das lajes verdes, nas torneiras secundárias (limpezas de pisos, carros e banhos em animais).

A **figura 14** apresenta um esquema de casa ecológica idealizado pelo arquiteto Fernando Neves Bussoloti.

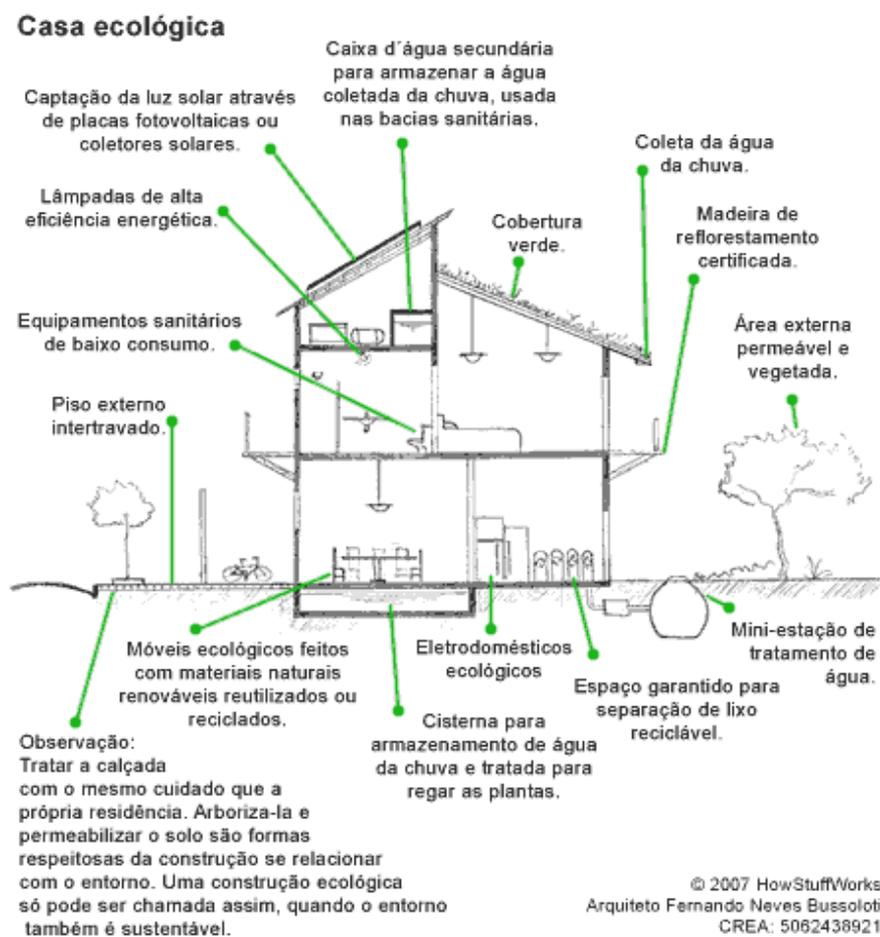


Figura 14 - Esquema de uma casa ecológica

Fonte: <http://meumundosustentavel.blogspot.com/2008/04/casa-ecologicamente-correta-2.html>

Para servir de exemplo para a sociedade, a Prefeitura do Rio de Janeiro construiu em toda a Cidade do Samba, na Gamboa, instalações para a captação e uso da água das chuvas (**figura 15**). O sistema conta com uma área de captação de mais de 20 mil metros quadrados e cisternas de até

300 m³, que alimentam descargas de vasos sanitários e torneiras para lavagem dos galpões (BELLA CALHA, 2007).



Figura 15 - Cidade do Samba, RJ

Fonte: Bella Calha (2008)

Duas grandes obras para os Jogos Pan-Americanos do Rio 2007 são exemplos que inseriram o aproveitamento de água de chuva em suas instalações. O Estádio João Havelange (**figura 16**), com área de captação de 12.500 m² e aproveitamento anual de 11 mil m³ e a Arena Poliesportiva de Jacarepaguá (**figura 17**), com 15 mil m² de telhados (BELLA CALHA, 2008).



Figura 16 - Estádio João Havelange (Engenhão), RJ

Fonte: Bella Calha (2008)



Figura 17 - Arena Poliesportiva de Jacarepaguá, RJ

Fonte: Bella Calha (2008)

1.4 Legislações Brasileiras

Apesar dos sistemas de coleta e aproveitamento de água de chuva já se encontrarem em uso em algumas regiões do Brasil, ainda hoje não são conhecidas normas técnicas para a operação destes processos. Um dos possíveis motivos é a falta de dados.

Por essa razão, a iniciativa de pesquisadores renomados, empresários e interessados no tema culminou na elaboração de norma técnica voltada exclusivamente para o uso da água de chuva. No ano de 2007, foi publicada a “NBR 15527/2007- Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos”. Este documento, de oito páginas, tem o seguinte objetivo:

“Fornecer os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Aplica-se a usos não potáveis em que as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento adequado como, por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais”.

Alguns dos pontos a serem comentados sobre essa norma técnica são, Oliveira (2007):

- A recomendação de novos valores para dados de projeto, como, por exemplo, a lâmina de 2mm para dimensionamento do dispositivo de descarte (usualmente de 1 mm) e a inclusão de um fator de captação η na fórmula de cálculo do volume de chuva aproveitável (que antes só incluía o coeficiente de Runnof);
- A indicação de parâmetros de qualidade de água no ponto de utilização;
- A possibilidade dada à utilização para fins potáveis desde que a água de chuva seja tratada e seu efluente atenda à Portaria nº 518 do Ministério da Saúde;
- Recomendações no que se refere à manutenção do sistema; e
- A existência de anexo com 6 métodos de cálculos para dimensionamento dos reservatórios, incluindo os métodos práticos alemão, inglês e australiano.

Historicamente, no Brasil, as primeiras normas e leis foram assim discutidas e regulamentadas:

Rio de Janeiro

No Rio de Janeiro existe um decreto municipal que trata do assunto com um foco maior no problema das enchentes, mas já é uma iniciativa que posteriormente poderá motivar a utilização deste recurso, tendo em vista que já existirá uma infraestrutura e a disponibilidade da água armazenada.

A seguir é apresentado o decreto na íntegra.

Decreto Municipal RJ - n. 23940/2004 - Captação de Água da Chuva.

Diário Oficial da Prefeitura do Município da Cidade do Rio de Janeiro de 02 de fevereiro de 2004.

Texto inicial: Os imóveis com mais de 500 metros quadrados de área impermeabilizada, inclusive telhados, deverão ter reservatórios para recolhimento de água de chuva com o objetivo de retardar temporariamente o escoamento para a rede de drenagem. Além disso, os depósitos servirão como estímulo para o reaproveitamento da água em diversos usos, como rega de jardins, lavagem de carros e calçadas. Novas construções não terão habite-se caso não apresentem o sistema que capte água em áreas como telhados, terraços e coberturas. A medida também é obrigatória no caso dos novos prédios residenciais com 50 ou mais unidades. A água armazenada deverá ser escoada através de infiltração no solo, podendo também ser despejada gradualmente na rede pública de drenagem uma hora após a chuva. Caso seja reaproveitada, o reservatório deverá atender às normas sanitárias. Decreto publicado hoje apresenta a fórmula de cálculo para definir a capacidade de cada reservatório. Veja os detalhes

DECRETO Nº 23940/2004 DE 30 DE JANEIRO DE 2004

Torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem.

Art. 1º Fica obrigatória nos empreendimentos que tenham área impermeabilizada superior a quinhentos metros quadrados a construção de reservatórios que retardem os escoamentos das águas pluviais para a rede de drenagem.

Art. 2º A capacidade do reservatório deverá ser calculada com base na seguinte equação: $V = k \times A_i \times h$, onde: V = volume do reservatório em m^3 ; k = coeficiente de abatimento, correspondente a 0,15; A_i = área impermeabilizada (m^2); H = altura de chuva (metro), correspondente a 0,06m nas Áreas de Planejamento 1, 2 e 4 e a 0,07m nas Áreas de Planejamento 3 e 5.

§ 1º Os reservatórios deverão atender às normas sanitárias vigentes e à regulamentação técnica específica do órgão municipal responsável pelo sistema de drenagem, podendo ser abertos ou fechados, com ou sem revestimento, dependendo da altura do lençol freático no local.

§ 2º Deverá ser instalado um sistema que conduza toda água captada por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos ao reservatório.

§ 3º A água contida pelo reservatório deverá, salvo nos casos indicados pelo órgão municipal responsável pelo sistema de drenagem, infiltrar-se no solo, podendo ser despejada, por gravidade ou através de bombas, na rede pública de drenagem, após uma hora de chuva ou ser conduzida para outro reservatório para ser utilizada para finalidades não potáveis, atendidas as normas sanitárias vigentes e as condições técnicas específicas estabelecidas pelo órgão municipal responsável pela Vigilância Sanitária.

§ 4º A localização do reservatório, apresentado o cálculo do seu volume deverá estar indicada nos projetos e sua implantação será condição para a emissão do "habite-se".

§ 5º No caso de opção por conduzir as águas pluviais para outro reservatório, objetivando o reúso da água para finalidades não potáveis, deverá ser indicada a localização desse reservatório e apresentado o cálculo do seu volume.

Art. 3º No caso de novas edificações residenciais multifamiliares, industriais, comerciais ou mistas que apresentem área do pavimento de telhado superior a quinhentos metros quadrados e, no caso de residenciais multifamiliares, cinquenta ou mais unidades, será obrigatória a existência do reservatório objetivando o reúso da água pluvial para finalidades não potáveis e, pelo menos um ponto de água destinado a esse reúso, sendo a capacidade mínima do reservatório de reúso calculada somente em relação às águas captadas do telhado.

Art. 4º. Sempre que houver reúso das águas pluviais para finalidades não potáveis, inclusive quando destinado à lavagem de veículos ou de áreas externas, deverão ser atendidas as normas sanitárias vigentes e as condições técnicas específicas estabelecidas pelo órgão municipal responsável pela vigilância sanitária visando:

I - evitar o consumo indevido, definindo sinalização de alerta padronizada a ser colocada em local visível junto ao ponto de água não potável e determinando os tipos de utilização admitidos para a água não potável;

II - garantir padrões de qualidade da água apropriados ao tipo de utilização previsto, definindo os dispositivos, processos e tratamentos necessários para a manutenção desta qualidade;

III - impedir a contaminação do sistema predial destinado à água potável proveniente da rede pública, sendo terminantemente vedada qualquer comunicação entre este sistema e o sistema predial destinado à água não potável.

Art. 5º Os locais descobertos para estacionamento ou guarda de veículos para fins comerciais deverão ter trinta por cento de sua área com piso drenante ou com área naturalmente permeável;

Art. 6º Nas reformas, o reservatório será exigido quando a área acrescida ou, no caso de reformas sucessivas, a somatória das áreas acrescidas após a data de publicação deste decreto for igual ou superior a cem metros quadrados e a somatória da área impermeabilizada existente e a construir resultar em área superior a quinhentos metros quadrado sendo o reservatório calculado em relação à área impermeabilizada acrescida.

Art. 7º Nos casos enquadrados neste decreto, por ocasião do pedido de habite-se ou da aceitação de obras, deverá ser apresentada declaração assinada pelo profissional responsável pela execução da obra e pelo proprietário, de que a edificação atende a este decreto, com descrição sucinta do sistema instalado e, ainda, de que os reservatórios e as instalações prediais destinadas ao reuso da água para finalidades não potáveis, quando previsto, estão atendendo às normas sanitárias vigentes e às condições técnicas específicas estabelecidas pelo órgão municipal responsável pela Vigilância Sanitária, bem como à regulamentação técnica específica do órgão municipal responsável pelo sistema de drenagem.

Existe também uma lei estadual, que é reproduzida a seguir:

LEI Nº 4248, DE 16 DE DEZEMBRO DE 2003. INSTITUI O PROGRAMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO ÂMBITO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Art. 2º O Programa de Captação de Águas Pluviais terá como finalidade oferecer, aos habitantes das cidades do Estado do Rio de Janeiro, educação e treinamento visando à captação de águas pluviais, permitindo que as pessoas se conscientizem da importância do ciclo das águas.

São Paulo

Desde 2 de janeiro de 2007, tornou-se obrigatória a implantação de sistema para captação e retenção de águas pluviais coletadas por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m² no Estado de

São Paulo. É o que determina a Lei estadual 12.526/2007, promulgada pela Assembléia Legislativa para a prevenção de enchentes (DOL de 2 de janeiro de 2007). Para obrigar a implantação do sistema, as aprovações e licenças para os parcelamentos e desmembramentos do solo urbano, os projetos de habitação, as instalações, as obras e outros empreendimentos ficam condicionados à obediência ao disposto na lei. O Poder Executivo tem prazo de 60 dias para regulamentá-la. O sistema de captação deve ser constituído de condutores e reservatório, com a capacidade aferida de acordo com o cálculo fixado no artigo 2º da lei. No caso de estacionamentos, 30% da área devem ser reservados para drenagem, seja sem piso, seja com o uso de pisos drenantes (os estabelecimentos desse tipo terão 90 dias para se adaptarem à lei). A lei permite três destinos para a água reservada: infiltração no solo; despejo na rede pública depois de uma hora de chuva; e utilização para finalidades não potáveis, em edificações que tenham instalações desse tipo (água de reúso, para regar jardins ou lavar pisos, por exemplo).

Justificativa – A lei é originária do Projeto de Lei 464/05, de autoria do deputado Adriano Diogo (PT). Em sua justificativa, o deputado afirma que, além dos prejuízos recorrentes em áreas urbanas com alta impermeabilização durante períodos de chuvas, também a qualidade de vida e a saúde são afetadas diretamente, com a destruição de patrimônios pessoais e o risco de contração de doenças infecto-contagiosas, comumente ocasionadas pela água de enchentes.

Incentivo fiscal – Na Câmara Municipal de São Paulo tramita desde 2005 o Projeto de Lei 743/05, que propõe incentivo fiscal, em forma de desconto no IPTU, aos contribuintes que, em suas edificações, mantenham áreas permeáveis que possibilitem a efetiva absorção de água de chuva. O desconto é de 3% a 8%, podendo chegar a 10%, caso a parte permeável atinja um quinto da área total do terreno. O projeto, de autoria da vereadora Claudete Alves (PT), tramita na Comissão de Constituição e Justiça.

Para ler a lei na íntegra acesse o site <http://www.sindusconsp.com.br>. Meio Ambiente, Legislação Ambiental.

O Sistema Fiesp/Ciesp, em parceria com a ANA – Agência Nacional de Águas, elaborou, em 2004, um manual com o objetivo de orientar os usuários industriais na implantação de programas de conservação e reúso de água. O Manual de Conservação e Reúso da Água se foca no reúso de efluentes, porém dedica uma parte ao aproveitamento de água de chuva no seu capítulo 7.

Paraná

A cidade de Curitiba no Paraná também já possui uma lei específica para este assunto, sendo inclusive bem mais abrangente, buscando a conservação e o uso racional da água como um todo. A lei que obriga todos os novos condomínios residenciais a incorporarem no projeto de construção a captação, o armazenamento e a utilização da água da chuva para múltiplos usos em substituição a cada vez mais cara água tratada: lavagem de roupas, veículos, pisos e calçadas, rega de hortas e jardins. No caso específico dos sanitários, a lei torna obrigatória a canalização das águas usadas na lavagem de roupas, chuveiros ou banheiras para uma cisterna, onde serão filtradas e posteriormente reutilizadas nas descargas. Só depois essa água é descartada para a rede de esgotos. Torna-se obrigatório o uso de vasos sanitários, torneiras e chuveiros que economizem água. Outro aspecto importante da nova lei diz respeito à instalação obrigatória de hidrômetros individuais nas novas edificações, evitando-se assim que o consumidor que desperdiça água se beneficie do rateio da conta pelo condomínio, prejudicando quem já aprendeu a não esbanjar esse recurso finito, escasso e cada vez mais caro. A seguir esta lei é apresentada na sua íntegra.

Lei Nº 10.785 de 18 de setembro de 2003

Município de Curitiba, Paraná.

“Cria no Município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações - PURAE”.

A CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA, CAPITAL DO ESTADO DO PARANÁ, aprovou e eu, Prefeito Municipal, sanciono a seguinte lei:

Art. 1º. O Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações - PURAE tem como objetivo instituir medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água.

Art. 2º. Para os efeitos desta lei e sua adequada aplicação, são adotadas as seguintes definições:

I – Conservação e Uso Racional da Água - conjunto de ações que propiciam a economia de água e o combate ao desperdício quantitativo nas edificações;

II – Desperdício Quantitativo de Água – volume de água potável desperdiçado pelo uso abusivo;

III - Utilização de Fontes Alternativas – conjunto de ações que possibilitam o uso de outras fontes para captação de água que não o Sistema Público de Abastecimento.

IV - Águas Servidas – águas utilizadas no tanque ou máquina de lavar e no chuveiro ou banheira.

Art. 3º. As disposições desta lei serão observadas na elaboração e aprovação dos projetos de construção de novas edificações destinadas aos usos a que se refere à Lei nº 9.800/00, inclusive quando se tratar de habitações de interesse social, definidas pela Lei nº 9802/00.

Art. 4º. Os sistemas hidráulico-sanitários das novas edificações serão projetados visando o conforto e segurança dos usuários, bem como a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Art. 5º. Nas ações de Conservação, Uso Racional e de Conservação da Água nas Edificações, serão utilizados aparelhos e dispositivos economizadores de água, tais como:

- a) bacias sanitárias de volume reduzido de descarga;
- b) chuveiros e lavatórios de volumes fixos de descarga;
- c) torneiras dotadas de arejadores.

Parágrafo único. Nas edificações em condomínio, além dos dispositivos previstos nas alíneas “a”, “b” e “c” deste artigo, serão também instalados hidrômetros para medição individualizada do volume de água gasto por unidade.

Art. 6º. As ações de Utilização de Fontes Alternativas compreendem:

- I - a captação, armazenamento e utilização de água proveniente das chuvas e,
- II - a captação e armazenamento e utilização de águas servidas.

Art. 7º. A água das chuvas será captada na cobertura das edificações e encaminhada a uma cisterna ou tanque, para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água tratada, proveniente da Rede Pública de Abastecimento, tais como:

- a) rega de jardins e hortas,
- b) lavagem de roupa;
- c) lavagem de veículos;
- d) lavagem de vidros, calçadas e pisos.

Art. 8º. As Águas Servidas serão direcionadas, através de encanamento próprio, a reservatório destinado a abastecer as descargas dos vasos sanitários e, apenas após tal utilização, será descarregada na rede pública de esgotos.

Art. 9º. O combate ao Desperdício Quantitativo de Água compreende ações voltadas à conscientização da população através de campanhas educativas, abordagem do tema nas aulas ministradas nas escolas integrantes da Rede Pública Municipal e palestras, entre outras, versando sobre o uso abusivo da água, métodos de conservação e uso racional da mesma.

Art. 10. O não cumprimento das disposições da presente lei implica na negativa de concessão do alvará de construção, para as novas edificações.

No mesmo ano, a cidade de Maringá-PR adotou a temática. A Lei nº 6.345 instituiu o Programa de Reaproveitamento de Águas de Maringá, com a finalidade de diminuir a demanda de água no município e aumentar a capacidade de atendimento da população. Previa-se incentivar os munícipes a reutilizarem as águas servidas e captarem e utilizarem as águas das chuvas.

Goiás

Um projeto de Lei inspirado no município de Curitiba e sugerido pelo presidente do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, Augusto Almeida Netto, que institui o Programa de Reaproveitamento de Águas provenientes de lavatórios, banheiros e da chuva, está tramitando na Câmara Municipal de Goiânia. O projeto pretende que a cidade reutilize as águas servidas de chuveiros, banheiras, lavatórios e pluviais para uso em descargas de vasos sanitários e mictórios. A proposta é que a prefeitura ofereça orientação técnica e conceda incentivos aos donos de habitações que se inscreverem no programa para realizar as adaptações em seus imóveis. O projeto de lei exige que a regulamentação do programa conte com pareceres técnicos de órgãos da construção civil que estejam vinculados a atividades de preservação e conservação do meio ambiente.

2 DISPONIBILIDADE VERSUS DEMANDA

Neste capítulo descreve-se sobre o ciclo hidrológico e os tipos de precipitações, apresentando um comparativo entre a disponibilidade da água de chuva e a demanda, relatando ainda sobre os principais benefícios do seu uso.

2.1 O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico ou ciclo das águas é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre. Ele só é fechado em nível global considerando que os volumes evaporados em um determinado local do planeta não precipitam necessariamente na mesma região. Há movimentos contínuos, com dinâmicas diferentes, na atmosfera e também na superfície terrestre. Da precipitação que ocorre nos continentes, por exemplo, somente parte é aí evaporada, com o restante escoando para os oceanos. À medida que se considerem áreas menores de drenagem, fica mais caracterizado o ciclo hidrológico como um ciclo aberto ao nível local (TUCCI, 2001).

O milagre da conservação é perpetuado pelo ciclo hidrológico que através da evaporação, condensação e precipitação faz com que a água do nosso planeta seja um recurso renovável. Possuem também importante participação neste processo a interceptação e transpiração, realizadas pelos vegetais, e a infiltração e recarga dos aquíferos através dos solos, além do escoamento superficial, como pode ser observado na **figura 18**.

A precipitação ocorre quando massas de ar de temperaturas diferentes se encontram e a massa de ar saturada esfria. Ao atingir o solo, parte da chuva infiltra-se no mesmo, promovendo a recarga de aquíferos, e a outra parte escoar para os rios, lagos e oceanos. Da água acumulada por efeito de infiltração, parte retorna à superfície na forma de nascentes e parte é restituída à atmosfera por meio da evapotranspiração.

A evapotranspiração é o processo pelo qual ocorre a evaporação da água do solo e das superfícies líquidas, e a transpiração dos vegetais, desenvolvendo importantes funções no ciclo hidrológico, como: a aceleração do processo de evaporação e reposição do vapor d'água na atmos-

fera, contribuição para o equilíbrio do clima e prevenção do fenômeno da erosão provocado pela ação mecânica da água sobre o solo.

Assim como as águas de superfície, as águas subterrâneas estão em constante mudança. Ao longo dos anos, décadas e séculos encontram seu caminho para as calhas dos rios e cursos d'água e em seguida, voltam para o mar.



Figura 18 - Ciclo hidrológico (<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>)

Quando reciclada através de sistemas naturais, a água se constitui em um recurso limpo e seguro até que através da atividade antrópica seja deteriorada a diferentes níveis de poluição.

Com a urbanização das cidades, ocorre a conseqüente diminuição da cobertura vegetal e a redução da permeabilidade dos solos, desta forma o ciclo é perigosamente alterado, causando severos desequilíbrios, e um aumento bastante significativo do escoamento superficial, além de uma enorme redução do processo de recarga dos aquíferos subterrâneos, provocando assim enchentes em períodos de chuvas intensas e secas em períodos de estiagem.

2.1.1 Precipitação

Em hidrologia, por definição, precipitação é toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Portanto, são formas diferentes de precipitação: neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve. O que diferencia essas formas de precipitação é o estado em que a água se encontra (TUCCI, 1993).

2.1.1.1 Tipos de precipitação

Segundo Tucci (1993), as precipitações podem ser classificadas em:

- **Convectivas ou de convecção:** são aquelas formadas pelas camadas de ar em equilíbrio instável, através do aquecimento do ar úmido na vizinhança do solo, por ocasião de tempo calmo. Perturbado o equilíbrio, forma-se uma brusca ascensão local de ar menos denso que atingirá seu nível de condensação com formação de nuvens e, muitas vezes, precipitações. São as chuvas convectivas, características das regiões equatoriais, onde os ventos são fracos e os movimentos de ar são essencialmente verticais, podendo ocorrer nas regiões temperadas por ocasião do verão (tempestades violentas). São, geralmente, chuvas de grande intensidade e de pequena duração, restritas a áreas pequenas. São precipitações que podem provocar importantes inundações em pequenas bacias.

Na **figura 19**, observa-se como as chuvas convectivas se comportam.



Figura 19 - Chuvas convectivas ou de convecção

Fonte: Agência Nacional para Cultura Científica e Tecnológica
(ANCCT, 2003) *apud* May (2005).

- **Orográficas ou de relevo:** são aquelas formadas quando ventos quentes e úmidos, soprando geralmente do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa, elevam-se e se resfriam, havendo condensação do vapor, formação de nuvens e ocorrência de chuvas. São chuvas de pequena intensidade e de grande duração, que cobrem pequenas áreas. Quando os ventos conseguem ultrapassar a barreira montanhosa, do lado oposto projeta-se a sombra pluviométrica, dando lugar a áreas secas ou semi-áridas causadas pelo ar seco, já que a umidade foi descarregada na encosta oposta. Na **figura 20**, observa-se como as chuvas orográficas se comportam.

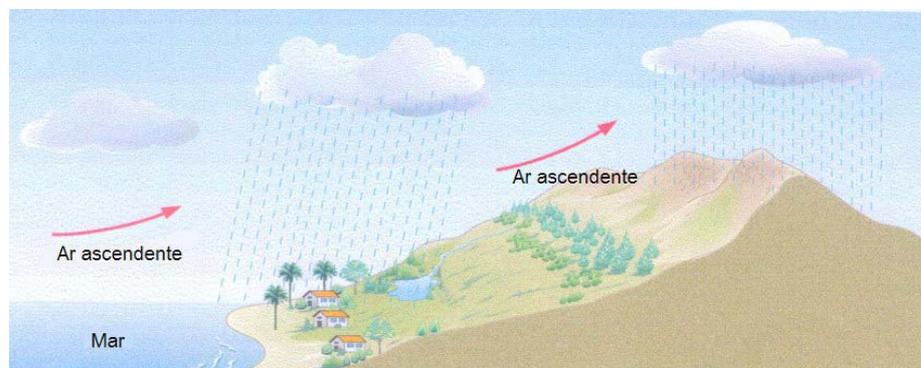


Figura 20 - Chuvas orográficas ou de relevo.

Fonte: Agência Nacional para Cultura Científica e Tecnológica
(ANCCT, 2003) *apud* MAY (2005).

- **Frontais ou ciclônicas:** são aquelas que provêm da interação de massas de ar quentes e frias. Nas regiões de convergência na atmosfera, o ar mais quente e úmido é violentamente impulsionado para cima, resultando no seu resfriamento e na condensação do vapor de água, de forma a produzir chuvas. São chuvas de grande duração, atingindo grandes áreas com intensidade média. Essas precipitações podem vir acompanhadas por ventos fortes com circulação ciclônica. Podem produzir cheias em grandes bacias. Na **figura 21**, observa-se como as chuvas frontais se comportam.

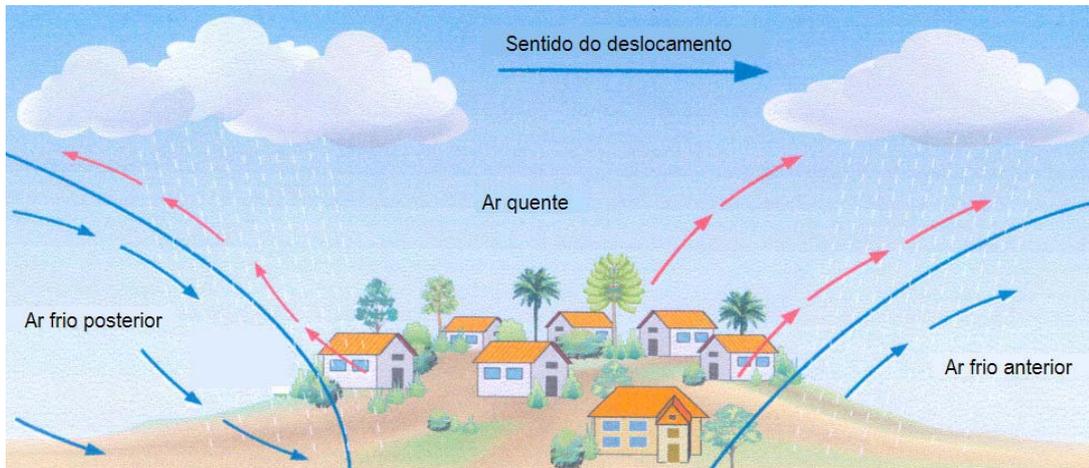


Figura 21 - Chuvas frontais ou ciclônicas

Fonte: Agência Nacional para Cultura Científica e Tecnológica
(ANCCT, 2003) *apud* MAY (2005)

Meteorologia é o ramo da ciência com o objetivo de adquirir conhecimentos relativos ao tempo. Os fenômenos meteorológicos são estudados a partir das observações, experiências e métodos científicos de análise. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2005), os fenômenos meteorológicos são estudados a partir das observações, experiências e métodos científicos de análise. A observação meteorológica é uma avaliação ou uma medida de um ou vários parâmetros meteorológicos.

São considerados instrumentos meteorológicos os equipamentos utilizados para adquirir dados meteorológicos tais quais o termômetro (temperatura do ar), pressão atmosférica (barômetro), higrômetro (umidade relativa do ar), pluviógrafo (para registrar a quantidade de precipitação pluvial, em milímetros), pluviômetro (para medir a quantidade de precipitação pluvial) etc.

2.1.1.2 Grandezas características das precipitações

Segundo Tucci (1993), as grandezas que caracterizam uma precipitação são:

- **altura pluviométrica (P ou r):** é a espessura média da lâmina de água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação, admitindo-se que essa água não se infiltrasse, não se evaporasse, nem se escoasse para fora dos limites da região. A unidade de medição habitual é o milímetro de chuva, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície;

- **Duração (t):** é o período de tempo durante o qual a chuva cai. As unidades normalmente utilizadas são o minuto ou a hora;
- **Intensidade da Precipitação:** é a precipitação por unidade de tempo, obtida na **equação 1**:

$$i = P / t \quad (1)$$

onde:

i – é a intensidade de precipitação, em mm/h ou mm/min;

P – é a altura pluviométrica, em mm;

t – é a duração, em horas ou minutos.

Para análise dos processos hidrológicos, apesar da variabilidade temporal da intensidade de uma precipitação, esta será considerada constante nesse intervalo de tempo.

Visando a uniformizar a nomenclatura deste trabalho, daqui em diante as precipitações passarão a ser denominadas águas de chuva ou águas pluviais.

Para a realização do levantamento de soluções tecnológicas e estruturais para coleta e armazenamento da água de chuva, foram consideradas as atividades a seguir.

2.1.1.3 Cálculo da vazão das águas pluviais

Segundo Macintyre (1990) *apud* Roggia (2007), as chuvas de grande intensidade têm curta duração e as prolongadas são de menor intensidade. Dessa forma, os ralos, calhas e condutores que recebem essas águas devem ser dimensionados para as chuvas intensas, de modo que as águas sejam drenadas integralmente e em espaços de tempo muito pequeno.

O cálculo da vazão de água pluvial é obtido da fórmula racional, que pode ser expressa pela **equação 2** (NBR 10884/89):

$$Q = C \frac{i \times A}{60} \quad (2)$$

onde:

Q é a vazão, em L/min;

C é o coeficiente de deflúvio;

i é a intensidade da chuva, em mm/h;

A é a área de drenagem, em m².

2.2 Área de contribuição de águas pluviais

A área de contribuição de águas pluviais é um dos fatores importantes para a determinação dos volumes e das vazões para o aproveitamento dessas águas.

De acordo com a NBR 10844/89, para o cálculo da área de contribuição, além da área plana horizontal, devem ser considerados os incrementos devido à inclinação da cobertura e às paredes, além da ação dos ventos. Na **figura 22** as fórmulas apresentadas estão associadas à ação dos ventos e a sua direção, de forma a ocasionar uma maior quantidade de chuva interceptada pelas superfícies consideradas.

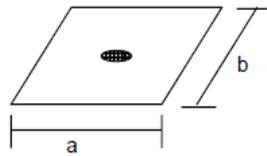
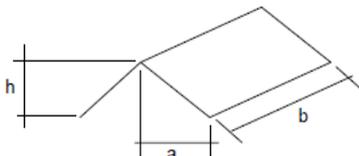
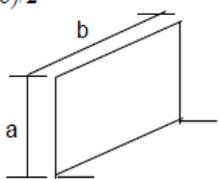
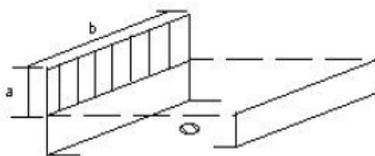
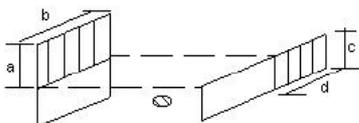
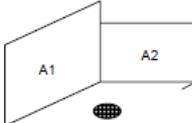
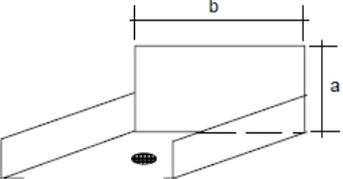
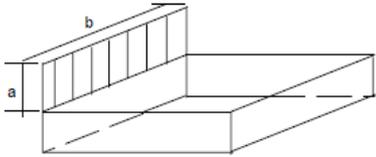
$A = axb$  Superfície Plana Horizontal	$A = (a+h/2)xb$  Superfície Inclinada
$A = (axb)/2$  Superfície plana vertical única	$A = (axb)/2$  Duas Superfícies planas verticais opostas
$ab < cd - A = (cxd - axb)/2$ $ab > cd - A = (axb - cxd)/2$  Duas superfícies verticais opostas	$A = \frac{\sqrt{A1^2 + A2^2}}{2}$  Duas superfícies planas verticais adjacentes e perpendiculares
$A = (axb)/2$  Três superfícies verticais adjacentes e perpendiculares sendo as duas opostas idênticas	$A = (axb)/2$  Quatro superfícies planas verticais sendo uma com maior altura

Figura 22 - Cálculo da área de contribuição - Fonte: NBR 10844/89

2.3 Determinação do coeficiente de deflúvio ou coeficiente de *runoff*

Segundo Tomaz (2003) apud May (2005), para efeito de cálculo, o volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado. Assim, são estimadas perdas que vão de 10% a 33% do volume precipitado. Coeficiente de Deflúvio, ou mais conhecidamente como coeficiente de *runoff*, é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume precipitado, isto é, é a perda de água por evaporação, vazamentos, lavagem do telhado, etc.

Utiliza-se a letra C para indicar o coeficiente de *runoff*. A aplicação da fórmula racional depende do Coeficiente de *runoff*. Existem tabelas que relacionam este coeficiente com a natureza da superfície onde a água escoar.

Segundo Paula (2005) apud Roggia (2007), o *Domestic Roofwater Harvesting Programme* da Universidade de *Warwick* no Reino Unido apresenta uma comparação entre diversos tipos de materiais constituintes das telhas da cobertura, destacando suas vantagens e desvantagens, conforme vemos na **tabela 2**.

Tabela 2 - Tipos e características dos materiais constituintes de telhados

Tipo	Coeficiente de <i>runoff</i>	Notas
Folhas de ferro galvanizado	Maior que 0,90	Qualidade excelente da água. A superfície é excelente e, nos dias quentes, a alta temperatura ajuda a esterilizar a água.
Telha cerâmica	0,60 a 0,90	Se vitrificada apresenta melhor qualidade, Caso contrário, pode apresentar mofo. Pode existir contaminação nas junções das telhas.
Telhas de cimento amianto	0,80 a 0,90	Folhas novas podem dar boa qualidade à água. Não existe alguma evidência que cause efeito cancerígeno pela ingestão da água que passa por elas. Levemente porosas, o que diminui o Coeficiente de <i>Runoff</i> . Quando velhas, podem apresentar lodo e rachaduras.

Orgânicos (Sapê)	0,20	Baixa qualidade (>200 CF/100 mL). Pouca eficiência da primeira chuva. Alta turbidez devido à presença de matéria orgânica dissolvida e em suspensão.
------------------	------	--

Fonte: www.eng.warwick.ac.uk/dtu/rwh apud PAULA (2005)

2.4 CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA POTÁVEL POR ATIVIDADE

Segundo Soares et al., (1999) apud May (2004), o sistema de aproveitamento de água de chuva pode ser aplicado na lavagem de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, sistemas de controle de incêndio, lavagem de veículos, lavagem de pisos e ainda na irrigação de jardins. Nas indústrias e estabelecimentos comerciais, a água de chuva pode ser utilizada ainda para resfriamento de telhados e máquinas, climatização interna, lavanderia industrial, lava-jatos de caminhões, carros e ônibus e limpeza industrial.

O uso da água de chuva para a limpeza de vasos sanitários mostra-se benéfico, uma vez que 35% do consumo de água de uma residência destinam-se a esse uso. Para se obter sucesso com esse tipo de sistema, deve-se ter cuidado no processo de instalação, pois, por motivo de contaminação, a água de chuva não pode estar misturada à água potável no mesmo sistema de distribuição, sendo necessários dois sistemas separados. Nesse tipo de sistema, deve-se atentar ainda para a necessidade de desinfecção da água, pois podem ocorrer respingos de água e causar riscos à saúde de seus usuários.

É necessário conhecer o consumo específico por atividade para a determinação da viabilidade de utilização das águas pluviais, pois determinadas atividades requerem maior ou menor nível de potabilidade.

As categorias de consumo de água em sistemas prediais podem ser residencial, comercial, industrial e pública. O consumo residencial é relativo a residências unifamiliares e edifícios multifamiliares. O consumo comercial é de restaurantes, hospitais e serviços de saúde, hotéis, lavanderias, auto-posto e lava-rápidos, clubes esportivos, bares, lanchonetes e lojas. O consumo industrial são as indústrias químicas e de produtos afins, indústria metalúrgica básica, indústria de papéis, indústria de alimentação, etc. Na categoria de consumo público estão os edifícios públicos, escolas, enfim, todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes (TOMAZ, 2000).

Usos da água potável tais como bacias sanitárias, lavagem de automóveis, lavagem de calçadas, rega de jardins, lava roupas, etc podem ser substituídos por águas pluviais. No entanto, deve-se atentar para a necessidade dessa água passar por uma análise, a fim de se determinar o tipo de tratamento necessário para cada fim.

Nas **tabelas 3 e 4**, são apresentados parâmetros para cálculo do consumo residencial de água utilizados nos Estados Unidos.

Tabela 3 - Parâmetros usados nos Estados Unidos para consumo residencial de água – interno.

Uso interno	Unidades	Parâmetros		
		Inferior	Superior	Mais provável
Gasto mensal	m ³ /pessoa/mês	3	5	5
Número de pessoas na casa	Pessoa	2	5	3
Descarga na bacia	Descarga/pessoa/dia	4	6	5
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18	9
Vazamentos bacias sanitárias	Porcentagem	0	30	9
Frequência de banho	Banho/pessoa/dia	0	1	1
Duração do banho	Minutos	5	15	7,3
Vazão dos chuveiros	Litro/segundo	0,08	0,30	0,15
Uso da banheira	Banho/pessoa/dia	0	0,2	0,1
Volume de água	Litros/banho	113	180	113
Máquina de lavar pratos	Carga/pessoa/dia	0,1	0,3	0,1
Volume de água	Litro/ciclo	18	70	18

Máquina de lavar roupa	Carga/pessoa/dia	0,2	0,37	0,37
Volume de água	Litro/ciclo	108	189	108
Torneira da cozinha	Minuto/pessoa/dia	0,5	4	4
Vazão da torneira	Litro/segundo	0,126	0,189	0,15
Torneira de banheiro	Minuto/pessoa/dia	0,5	4	4
Vazão da torneira	Litro/segundo	0,126	0,189	0,15

Fonte: TOMAZ, 2003

Tabela 4 - Parâmetros usados nos Estados Unidos para consumo residencial de água – externo.

Uso externo	Unidades	Valores
Casas com piscina	Porcentagem	0,1
Gramado ou jardim	Litros/dia/m ²	2
Lavagem de carros	Litros/lavagem/carro	150
Lavagem de carros: frequência	Lavagem/mês	4
Mangueira de jardim ½" x 20m	Litros/dia	50
Manutenção de piscina	Litros/dia/m ²	3
Perdas p/ evaporação em piscina	Litros/dia/m ²	5,75
Reenchimento de piscinas	Anos	10
Tamanho da casa	m ²	30 a 450
Tamanho do lote	m ²	125 a 750

Fonte: TOMAZ, 2003

Em se tratando de usos comerciais, são apresentados na **tabela 5** dados de METCALF e EDDY (1991) apud TOMAZ 2000.

Tabela 5 - Consumo de água em instalações comerciais

Usuário	Unidade	Faixa de vazão Litros/Unidade/Dia	Vazão típica Litros/Unidade/Dia
Aeroporto	Passageiro	15 a 19	11
Asilo	Residente	19 a 454	340
Asilo	Empregado	19 a 57	38
Auditórios	Assento	8 a 15	11
Banheiro público	Usuário	11 a 23	19
Cinemas	Assento	8 a 15	11
Escolas	Aluno	38 a 76	57
Escritório	Funcionário	30 a 76	57
Hospitais	Leito	491 a 983	567
Hospitais	Funcionários	19 a 57	38
Hotel	Hóspede	151 a 227	189
Lavanderia	Máquina	1512 a 2457	2079
Lavanderia	Lavagem	170 a 208	189
Posto de gasolina	Empregado	30 a 57	49
Posto de gasolina	Veículos servidos	30 a 57	38
Prisão	Funcionário	19 a 57	34
Prisão	Presidiário	302 a 567	454
Restaurante convencional	Cliente	30 a 38	34
Restaurante rápido	Cliente	11 a 30	23
Shopping Center	Estacionamento	4 a 11	8
Shopping Center	Funcionário	30 a 49	38

Fonte: TOMAZ, 2000

Segundo Mello e Netto (2000) apud Roggia (2007), o consumo médio de água por atividades específicas nos domicílios no Brasil é expresso na **tabela 6**.

Tabela 6 - Consumo de água médio nos domicílios

Usos	Consumo (Litros/dia)	%
Asseio pessoal	30 a 60	30
Bacia sanitária	30 a 60	30
Bebida	2	1 a 1,5
Cozinha	5 a 10	5 a 10
Lavagem de automóveis (domiciliar)	2 a 4	1 a 2
Lavagem de roupas pessoais	10 a 20	5 a 10
Limpeza domiciliar	10 a 20	5 a 10
Rega de jardins	1 a 3	2

Fonte: Melo; Netto (2000)

De acordo com Fewkes (1999) apud Paula (2005), a água de chuva sendo utilizada para a descarga das bacias sanitárias gera uma significativa redução no consumo de água potável.

Porém, para determinar esta redução é necessário saber qual o volume de água que se deseja armazenar e por quanto tempo o sistema ficará em operação.

Neste caso, a demanda diária deve ser calculada através da **equação 3**:

$$D = \left(\sum_{i=1}^t C_i \times \rho_i \right) \times P \quad (3)$$

onde:

D = demanda diária, L/dia;

C_i = consumo diário per capita, L/dia;

ρ = perfil de consumo por atividade, %;

P = número de usuários.

Calculado o valor da demanda diária, multiplica-se então pelo número de dias que se deseja armazenar a água de chuva e obtém-se o valor do consumo de água de chuva.

Para o cálculo da demanda diária ou mensal, deve-se considerar ainda um outro dado importante que é o consumo mensal de água por habitante. A **tabela 7** mostra esse consumo para as diversas companhias de abastecimento do Brasil.

Tabela 7 - Consumo médio per capita

Companhia	Consumo médio per capita de água (litros/hab/dia)
CAERN/RN	122,32
CASAN/SC	132,89
CEDAE/RJ	213,09
CORSAN/RS	146,49
COSANPA/PA	84,97
EMBASA/BA	114,22
SABESP/SP	160,27
SANEAGO/GO	120,81
SANEPAR/PR	126,76
SANESUL/MS	101,44

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2005)

2.5 Principais benefícios

2.5.1 Redução do consumo de água potável

A viabilidade do uso de água de chuva é caracterizada pela diminuição da demanda de água fornecida pelas companhias de saneamento, tendo como conseqüência à diminuição de custos com água potável.

O aproveitamento da água pluvial pode ser utilizado por indústrias, escolas, postos de gasolina, enfim em atividades que consomem um volume elevado de água para fins não potáveis, pois representa uma economia no consumo de água tratada e conseqüentemente redução de despesas.

Mesmo em residências o aproveitamento é bastante interessante, pois substitui a água tratada em inúmeras atividades onde a utilização não necessita de uma água desinfetada e fluoretada, reduzindo o consumo de água potável em 50% aproximadamente, como pode ser observado no **quadro 3.5**.

Quadro 3.5 - Consumo de água em uma residência

Tipos de uso da água	Porcentagem (%)
Bacia sanitária	41
Banho e lavagem de roupa	37
Cozinha – água para beber e cozinhar	2 a 6
Cozinha – lavagem de pratos	3 a 5
Cozinha – disposição de lixos	0 a 6
Lavanderia	4
Limpeza e arrumação geral na casa	3
Rega de jardim	3
Lavagem de carros	1
Total passível de ser economizado (consumos em azul)	52

(Tomaz, 2003). Em azul estão as atividades que podem ser realizadas com a utilização da água pluvial.

2.5.2 Mitigação das enchentes

Muitos são os fatores responsáveis pelas inundações, como o lixo que é jogado nos rios, a degradação das encostas, o estreitamento do leito dos rios e outros tipos de agressões ao meio ambiente. A água da chuva, por sua vez, escoar em demasiada quantidade e velocidade diretamente para o rio, pois praticamente não tem onde infiltrar devido às ruas, em grande parte, estarem cobertas por asfalto e/ou concreto, e as edificações e pátios possuírem grandes áreas impermeabilizadas. Um meio de evitar que este volume de água escoar tão rapidamente para os rios, é armazená-la no próprio local e utilizá-la em atividades que não necessitam de água tratada ou liberá-la de forma gradativa nas redes de coleta de água pluvial, reduzindo o risco de enchentes em caso de chuvas fortes.

Com a captação e armazenamento das chuvas, haverá uma redução do volume da drenagem urbana, desafogando o sistema, regularizando as vazões e promovendo uma diminuição dos investimentos públicos com infraestrutura de drenagem. É uma medida indireta e não estrutural de

drenagem, que reduz os problemas decorrentes das precipitações intensas e prolongadas, preservando vidas e bens materiais, promovendo uma redução nos custos relativos à água e esgoto, e permitindo ainda que os recursos financeiros sejam aplicados em outros fins.

2.5.3 Promoção da saúde pública

Com a redução do consumo da água potável, ocorre uma disponibilidade maior de água tratada, que pode atender as comunidades que ainda não tem acesso a este serviço, melhorando a qualidade de vida destas populações e reduzindo o número de casos de infectados e de óbitos, devido à falta de água tratada e conseqüentes doenças de veiculação hídrica.

O mesmo pode ser dito com relação à redução das enchentes, que são responsáveis por grande proliferação destas mesmas doenças, que serão reduzidas proporcionalmente ao decréscimo das inundações.

A coleta da água de chuva pode ainda ser acrescentada a outras fontes de abastecimento, principalmente quando estas se tornam escassas, em tempos de seca, e os reservatórios ficam muito baixos, sendo uma fonte alternativa e de emergência.

2.5.4 Preservação e conservação dos mananciais

Com a adoção desta prática como uma fonte de abastecimento substitutiva e complementar, ocorre uma natural diminuição dos volumes de recursos hídricos extraídos dos mananciais superficiais e subterrâneos, proporcionando sua preservação e conservação, juntamente com todo o ecossistema em que ele está inserido e que dele depende.

2.5.5 Regularização parcial do ciclo hidrológico

A absorção, a reserva e o posterior lançamento espaçado das águas ao longo do tempo, simulam artificialmente o desempenho do ciclo, que já não é possível devido à ocupação desordenada do solo e sua conseqüente redução do poder de infiltração, diminuindo assim o coeficiente de escoamento superficial e regularizando as vazões, exercendo desta forma o papel que cabe aos terrenos em condições naturais com suas coberturas vegetais. Além da possibilidade de infiltrar diretamente esta água no solo, promovendo a recarga dos lençóis, atenuando os danos causados pela extração excessiva da água.

3 QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA

A qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. A água, além da propriedade de solvente, tem a capacidade de transportar partículas que podem incorporar a si diversas impurezas, as quais irão definir a sua qualidade.

Não existe água pura na natureza, a não ser as moléculas de água presentes na atmosfera na forma de vapor. Assim que ocorre a condensação, começam a ser dissolvidos na água, por exemplo, os gases atmosféricos, Braga et al., (2005). Os diversos componentes presentes na água, que alteram o seu grau de pureza, podem ser retratados em termos de suas características físicas, químicas e biológicas. Segundo Sperling (1996) apud Oliveira (2008), estas características podem ser traduzidas na forma de parâmetros de qualidade de água. As principais características da água podem ser expressas como:

- Características físicas: associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água;
- Características químicas: podem ser interpretadas por meio de uma das duas classificações: matéria orgânica ou inorgânica; e
- Características biológicas: são os seres vivos ou mortos presentes na água. Geralmente associados aos microorganismos.

Segundo Tomaz (2003), a qualidade da água de chuva pode ser abordada em quatro etapas:

- Antes de atingir o solo;
- Após atingir e escorrer pelo telhado ou outra superfície coletora;
- Dentro do reservatório; e
- No ponto de uso.

A composição da água da chuva varia de acordo com a localização geográfica, as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos, estação do ano etc), com a presença ou não de vegetação e também com a presença de carga poluidora (TOMAZ, 2003).

Antes de atingir o solo, os principais elementos que podem estar presentes na água de chuva são gases presentes na atmosfera, tais como dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x), provenientes de fontes de poluição atmosférica, e elementos tais como sódio, potássio e cloro, nas proximidades dos oceanos e elementos de origem terrestre.

No entanto, após atingir e escoar pelo solo ou pela superfície coletora, a água da chuva pode ser contaminada com matéria orgânica, sólidos e microorganismos, tendo sua qualidade deteriorada. Alguns exemplos de contaminantes são: fezes de aves, poeiras, folhas, revestimento do telhado, tintas etc (TOMAZ, 2003).

A qualidade da água de chuva também pode ser influenciada pelo tipo de material do qual é feito o telhado. Segundo, Brunet (2001), do ponto de vista microbiológico, o material ideal para a construção de telhados, para um melhor aproveitamento da água, é o metal, o qual se aquece muito quando exposto ao sol, fazendo com que os patógenos não consigam sobreviver. Segundo Terry (2001), apud Tomaz (2003), os melhores telhados quanto ao aspecto bacteriológico são, na ordem:

Metálico > fibrocimento > plásticos > telhas cerâmicas

Após o início da chuva, somente as primeiras águas carregam ácidos, microorganismos e outros poluentes atmosféricos, sendo que normalmente após pouco tempo a mesma já adquire características de água destilada, que pode ser coletada em reservatórios fechados. A maioria dos autores afirma que um volume inicial correspondente aos primeiros 1 ou 2 milímetros de chuva deve ser descartado. Esse volume inicial, ou *first flush*, concentra a maior carga de poluentes e microorganismos (NOGUEIRA, 2007).

Este capítulo visa definir e analisar os parâmetros técnicos necessários à manutenção dos padrões de qualidade da água de chuva para usos restritivos não potáveis.

3.1 Parâmetros

Os padrões de qualidade devem ser definidos de acordo com a utilização prevista. Para usos mais restritivos, deve ser utilizada a **tabela 8** (NBR 15527/2007).

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

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre (para desinfecção)	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 UT (unidade de turbidez), para usos menos restritivos < 5,0 UT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 UH (unidade Hazen)
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário.	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

Fonte: ABNT NBR 15527/2007

Segundo a NBR 15527/2007, podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.

3.2 Definição dos parâmetros de qualidade da água de chuva

Quando da utilização da água de chuva, deve-se levar em consideração alguns parâmetros, os quais servirão para determinar o tipo de sistema de tratamento que deverá ser aplicado.

- **Coliformes totais:** segundo a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, de 25/03/04, o grupo dos coliformes totais inclui todas as bactérias na forma de bacilos gram-negativos, não formadores de esporos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos a fermentação da lactose com produção de ácido, gás e aldeído, em 24 a 48 horas a 35°C.

O índice de coliformes totais avalia as condições higiênicas, já o índice de coliformes fecais é indicador de contaminação fecal, avaliando as condições higiênico-sanitárias deficientes, tendo em vista presumir-se que a população deste grupo é constituída de uma alta proporção de E. Coli (*Escherichia coli*). Bactérias que pertencem ao grupo coliforme têm como habitat o trato intestinal do homem e de outros animais.

- **Coliformes termotolerantes:** indica bactérias do grupo coliformes totais que fermentam a lactose a $44,5 \pm 2^\circ\text{C}$, provenientes de dejetos.
- **Escherichia coli:** indicador de contaminação por bactérias de origem exclusivamente fecal. É considerado o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos (SANEAGO, 2010).
Segundo Expolabor (2002) apud May (2004), para se verificar a presença de coliformes fecais, utiliza-se o método da filtração de volumes adequados de água, através de uma membrana filtrante com porosidade de $0,45 \mu\text{m}$. Pela contagem das colônias, consegue-se calcular a densidade de bactérias presentes na amostra de água.
- **Cloro residual livre:** é a quantidade de cloro que permanece na água após a sua adição com a finalidade de eliminação de bactérias e outros microorganismos que podem provocar doenças. A adição de cloro é uma das etapas mais importantes do tratamento e é necessário que haja um residual de cloro para que a água continue segura até a chegada ao consumidor (SANEAGO, 2010).
- **Turbidez (uT):** segundo Giordano (2008), permite o conhecimento da transparência dos efluentes e a presença de colóides.
As análises de turbidez são realizadas com o uso de um aparelho denominado turbidímetro, através do princípio da nefelometria. Segundo Oliveira (2007), mede-se a quantidade de luz que emerge perpendicularmente a um feixe luminoso que atravessa a amostra, acondicionada em uma cubeta incolor e transparente. A turbidez é expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT).
- **Cor aparente (uH):** está relacionada aos corantes orgânicos sintéticos e/ou residuais, aos inorgânicos (metais pesados), aos compostos húmicos e outros subprodutos de biodegradação.
Os parâmetros cor aparente e turbidez estão incluídos na Portaria nº 518 visando à garantia da qualidade microbiológica da água, devido à sensação estética desagradável que provoca no consumidor. Nem sempre uma água com cor acentuada está imprópria para o uso.
- **pH:** é utilizado universalmente para expressar o caráter ácido ou alcalino de uma solução. O parâmetro pH mede a concentração do íon hidrogênio, podendo ser analisado colorimetricamente ou eletrometricamente. Com a análise do potencial hidrogeniônico

da água é possível verificar a ocorrência de corrosividade quando o pH é baixo ou incrustações nas tubulações do sistema de distribuição com pH alto. O Ministério da Saúde, através da Portaria nº 518 de 2004, artigo 16º, recomenda que para padrão de aceitação para consumo humano o pH da água esteja entre 6,0 e 9,5. Para o CONAMA (2005), através da Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, art. 4º, o pH da água deve estar entre 6,0 e 9,0, para as classes I, II, III e IV.

- **Condutividade:** é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Esse parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água (SPERLING, 1996).
- **Sólidos Dissolvidos Totais:** por convenção, diz-se que as partículas menores, capazes de passar por um papel de filtro de tamanho especificado, correspondem aos sólidos dissolvidos. De maneira geral, são considerados sólidos dissolvidos aqueles com diâmetro inferiores a 10^{-3} μm . Os sólidos dissolvidos podem ser micropoluentes orgânicos, metais pesados ou ainda contribuir para o teor de matéria orgânica na água (SPERLING, 1996).
- **Oxigênio Dissolvido (OD):** é de essencial importância para os organismos aeróbios (que vivem na presença de oxigênio). Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio (SPERLING, 1996).
O teor de oxigênio dissolvido na água pode ser avaliado com o uso do oxímetro digital, que deve ser calibrado de acordo com uma tabela que relaciona a temperatura ambiente e a altitude do local com a concentração de saturação do oxigênio no ar.
- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):** a matéria orgânica é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo de oxigênio dissolvido pelos micro-organismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. A DBO retrata, de uma forma indireta, o teor de matéria orgânica na água, sendo, portanto, uma indicação do potencial de consumo do oxigênio dissolvido, Sperling (1996). A DBO é expressa em miligramas por litro (mg/L).

A forma de DBO mais utilizada como indicadora do teor de matéria orgânica na água é a DBO₅. O método consiste em incubar a amostra de água em frascos especialmente utilizados para a DBO, à temperatura de 20°C, no escuro, por um período de cinco dias. No início, e ao final do quinto dia, mede-se a concentração de oxigênio dissolvido presente na amostra e obtém-se, por diferença, a demanda requerida pelos microorganismos para a oxidação da matéria orgânica presente na amostra. O valor obtido deve ser multiplicado por um fator de correção, que é função da altitude do local.

3.3 Métodos de análise

3.3.1 Metodologia da coleta

A avaliação da qualidade da água de chuva foi realizada através da coleta de amostras em um ponto de coleta (telhado), no dia 01/06/2010, com início às 11:15h e término às 11:40h, e posterior envio para análise em laboratório especializado, com chegada às 14:45h.

A coleta foi realizada com o uso de um recipiente coletor, e foram utilizados ainda os seguintes equipamentos: um medidor de cloro (LAB 448) e um pHmetro (LAB 264).

Em seguida, com o objetivo de coletar amostras representativas da água de chuva e de evitar a sua contaminação, os seguintes procedimentos foram adotados:

- O recipiente coletor foi disposto de forma a captar a água que escorre diretamente do telhado por meio de um condutor;
- O volume das amostras coletadas totalizou aproximadamente 500 mL;
- O coletor foi trocado, limpo e desinfetado com álcool antes de cada coleta; e
- A coleta de amostras para fins de ensaios de coliformes termotolerantes foi realizada com recipiente de vidro devidamente esterilizado, com uso de autoclave.

3.3.2 Metodologia das análises

Os serviços de coleta e análises laboratoriais foram realizados pela empresa TECMA Tecnologia em Meio Ambiente e obedeceram ao seguinte escopo:

- Serviços referentes a coletas e análises laboratoriais semestrais em 01(uma) amostra de água de chuva, para a determinação dos seguintes parâmetros:

- Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes.

- Serviços referentes a coletas e análises laboratoriais mensais em 01(uma) amostra de água de chuva, para a determinação dos seguintes parâmetros:

- Cloro Residual Livre, Demanda de Cloro, Turbidez, Cor Aparente e Índice de Estabilidade da Água (Alcalinidade Total, Dureza, Sólidos Totais Dissolvidos, pH e Temperatura).

A metodologia de amostragem obedeceu aos seguintes critérios: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 21ª edição 2005 Method 1060 e Instrução Técnica 098 referente à Amostragem de Águas Naturais – Águas Subterrâneas de abril/2010 Rev.00. Ponto de coleta: Telhado.

Os resultados, quando pertinentes, foram comparados com a ABNT NBR 15527 de 2007.

A coleta e o transporte das amostras foram realizados pela empresa TECMA, a quem coube o fornecimento do material para amostragem (caixas, frascos, preservantes, etc).

Os ensaios de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes foram realizados qualitativamente, e tiveram seus resultados apresentados na forma “Presença – Ausência”.

Os parâmetros pH, Temperatura e Cloro Residual Livre foram analisados no momento da amostragem.

A confiabilidade metrológica do laboratório baseia-se no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ª Edição. Os laboratórios de amostragem e ensaios são certificados pelo INMETRO sob o nº de registro CRL 200 na Norma ABNT NBR ISO/IEC 17.025, que estabelece os Requisitos Gerais de Competência, obedecendo aos princípios de Qualidade, Confiabilidade e Confidencialidade. Além disso, o Laboratório de Ensaios é credenciado pelo INEA – Instituto Estadual do Ambiente, sob o certificado CCL nº FE012847.

3.4 Chuva Ácida

3.4.1 Definição

Chuva ácida foi um termo originalmente usado no século XIX, mais precisamente em 1872, pelo químico Robert Angus Smith, por ocasião da descrição da poluição do ar na cidade de Manchester, Inglaterra, no início da Revolução Industrial. Em seu livro “Air and Rain: the begin-

ning of a chemical climatology”, Smith estabeleceu pela primeira vez uma relação entre o pH da chuva e a combustão do carvão naquele centro industrial (ABREU, 2005).

Aproximadamente meio século depois, o biólogo norueguês Knut Dahl estabelecia a correlação entre a acidez das chuvas e a morte de plantas e peixes em vários lagos de seu país. Verificou-se que os lagos saudáveis em toda a Escandinávia teriam um pH em torno de 7,0, porém em muitos deles esse valor caiu para 5,0.

3.4.2 Consequências da chuva ácida

A acidez foi a responsável pela morte de algas, plânctons e insetos. Sem essa vida microscópica, as águas adquiriram uma turbidez muito baixa, uma transparência não natural, sendo que à medida que o pH baixava foram desaparecendo os peixes, principalmente aqueles menos resistentes como os salmões e as trutas. Com a quebra de parte da cadeia alimentar, os pássaros também sumiram.

Verifica-se que quando a água do mar, dos lagos ou dos solos se evapora, o vapor d’água formado não é ácido nem alcalino - é neutro. Entretanto, ao combinar-se com gases como o dióxido de carbono, encontrado na atmosfera, transforma-se num ácido fraco. A chuva tem um pH entre 5 e 6. A chuva ácida pode dissolver rochas e criar cavernas calcárias, desfiladeiros e formações rochosas, num processo que pode levar milhares de anos.

Segundo Baird (2002), o pH da chuva “natural”, isto é, não poluída, é de cerca de 5,6. Apenas a chuva que é apreciavelmente mais ácida que isso, ou seja, com um pH menor que 5,0, é considerada chuva “ácida”, tendo em vista a presença de traço de ácidos fortes naturais, levando a acidez da chuva em ar puro a um nível um pouco mais alto do que aqueles existentes pela presença apenas de CO₂.

Os dois ácidos predominantes na chuva ácida são o ácido sulfúrico, H₂SO₄, e o ácido nítrico, HNO₃. Em termos gerais, a chuva ácida precipita-se segundo a direção do vento em um local distante da fonte dos poluentes primários, isto é, dióxido de enxofre, SO₂, e os óxidos de nitrogênio, NO_x.

Apesar do termo chuva ácida ter se generalizado, é preferível o termo deposição ácida, uma vez que os poluentes podem ser depositados, isto é, alcançar o solo, não apenas pela chuva,

como pela neve, umidade etc., bem como incluir a deposição seca de poluentes ácidos gasosos e particulados (vide **figura 23**).

Fenômenos naturais podem causar a chuva ácida, tais como: atividades geotérmicas (vulcões e fontes termais), queima de biomassa e processos metabólicos. Já a principal fonte antrópica de SO_2 é a combustão de carvão. A indústria do petróleo emite dióxido de enxofre no ar diretamente como SO_2 ou indiretamente como H_2S quando o petróleo é refinado e o gás natural purificado antes da distribuição (BAIRD, 2002).

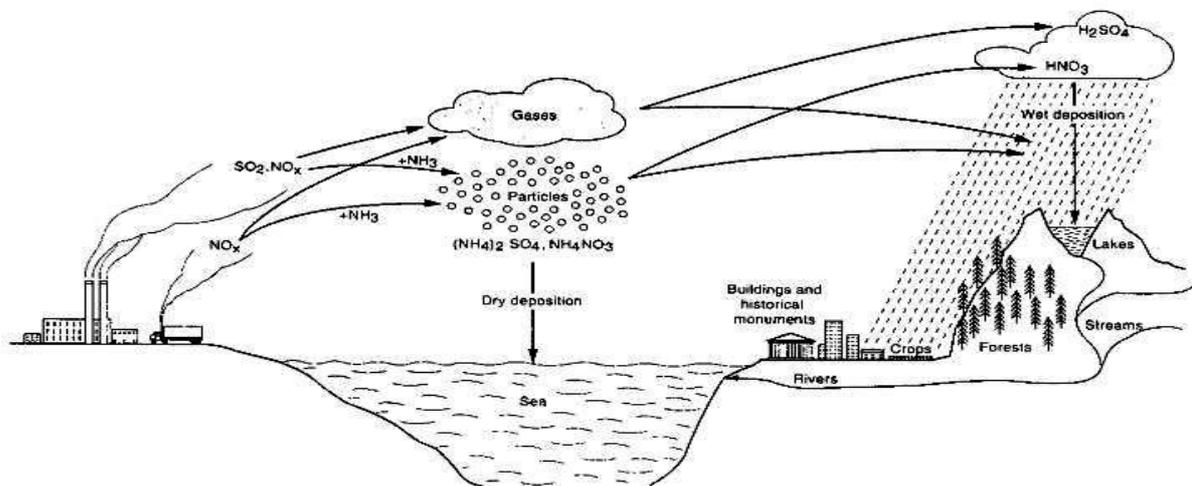


Figura 23 – Diagrama esquemático da formação de precipitações secas e úmidas -Chuva Ácida

Fonte: Encyclopedia of the Atmospheric Environment (2003)

Na primeira Conferência Mundial do Meio Ambiente, realizada pela Organização das Nações Unidas, em Estocolmo, em 1972, os suecos deram o alerta de que se a guerra química do homem contra a natureza continuasse, em cinquenta anos, eles calcularam que metade dos lagos de seu país estaria morta. Os países nórdicos estavam arcando com um desastre preparado a mil quilômetros de distância, na industrializada Inglaterra.

Segundo Abreu (2005), à medida que foram sendo mais bem estudados e sendo comprovadas as conseqüências da deposição ácida, identificada como um problema internacional, diversos protocolos foram firmados, conforme descrito pela “Encyclopedia of the Atmospheric Environment”(2003).

Em 1979, a Comissão Econômica Européia das Nações Unidas (UNECE) implementou a Convenção de Poluição Transfronteiriça de Grandes Distâncias.

Em 1985 muitos dos países membros da UNECE adotaram o Protocolo para a Redução das Emissões de Enxofre, concordando em reduzir em 30% as emissões de SO₂ (em referência aos níveis de 1980) até 1993. Eles foram denominados “Clube dos 30%” e todos eles alcançaram esta redução e até muitos outros que não assinaram o Protocolo também atingiram essa meta.

Em junho de 1984, diversos países europeus assinaram um segundo protocolo para o enxofre. Muitos dos países do Oeste concordaram em reduzir as emissões de enxofre entre 70% e 80% até o ano 2000 (em referência aos níveis de 1980). Enquanto países do Leste tiveram uma meta baixa entre 40% e 50% (em referência aos níveis de 1980).

O Protocolo de Sofia, para a redução das emissões dos Óxidos de Nitrogênio foi adotado em 1988. Exigia dos países signatários do Protocolo a estabilização das emissões de NO_x (em referência aos níveis de 1987), entretanto alguns países se auto determinaram a reduções de 30% até 1998 (em referência aos níveis de anos entre 1980 e 1986). Entretanto, muitos destes países têm pouca probabilidade de alcançar estas metas, pelo crescimento do tráfico rodoviário, apesar da legislação da União Européia exigir que os automóveis construídos após 1993 contassem com conversores catalíticos.

Em 1998, segundo Abreu (2005), foi introduzida a Diretiva para os países da Comunidade Européia (OECD) que exigia a redução das emissões de SO₂ e NO_x para a geração de energia. Para o Reino Unido foram estabelecidas reduções de SO₂ de 60% até 2003 e de NO_x de 30% até 2003 (em referência aos níveis de 1980), que foram alcançadas. Estão em curso iniciativas no Reino Unido para ultrapassar estas metas através da construção de usinas termelétricas a gás (que tem emissões menores) em substituição à geração de energia a carvão e com a instalação de equipamentos para a dessulfurização nas chaminés de algumas usinas termelétricas a carvão existentes.

A mais recente Convenção da UNECE foi um Protocolo de Poluição Transfronteiriça a Grandes Distâncias, que foi assinado em dezembro de 1999 por 27 países. O Protocolo de Go-

thenburg foi introduzido para reduzir a acidificação, eutrofização e formação de ozônio ao nível do solo e cortar a emissão de 4 poluentes: dióxido de enxofre (SO₂), de nitrogênio (NO_x), componentes orgânicos voláteis (VOCs) e amônio (NH₃), com o estabelecimento de patamares de emissões, país a país, até o ano 2010.

3.4.3 Monitoramento da qualidade das águas das chuvas na cidade do Rio de Janeiro

A UFRJ e a UFF, através de contrato firmado com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMAC- da Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, desenvolveram um projeto de monitoramento sistemático, semanal, durante os anos de 2003 e 2004, das águas das chuvas na cidade do Rio de Janeiro, Maia; De Mello (2004). Esse projeto visava conhecer com mais detalhes o grau de comprometimento da atmosfera urbana do Rio de Janeiro, seja por poluentes primários ou secundários.

O surgimento de chuvas ácidas foi considerado premente tanto na cidade do Rio de Janeiro quanto nos municípios vizinhos, face às inúmeras fontes de emissões de NO_x e SO₂. A questão mereceu atenção pelo fato de não se ter conhecimento de qualquer tipo de monitoramento prévio que pudesse esclarecer quanto aos níveis de qualidade do ar, bem como da ocorrência ou não de chuvas contaminadas por ácido sulfúrico e/ou ácido nítrico na cidade do Rio de Janeiro (ABREU, 2005). No entanto, já existem trabalhos acadêmicos evidenciando tais ocorrências, através de campanhas amostrais realizadas nos últimos anos.

Segundo Abreu (2005), o objetivo desse monitoramento foi o de esclarecer tais dúvidas e colher dados e outros elementos necessários para ações ambientais futuras, conhecendo-se o grau de acidez e condutividade das águas das chuvas coletadas, além das análises químicas dos parâmetros: amônio (NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻), sulfato (SO₄²⁻), cloreto (Cl⁻), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺).

3.4.4 Dados colhidos do monitoramento

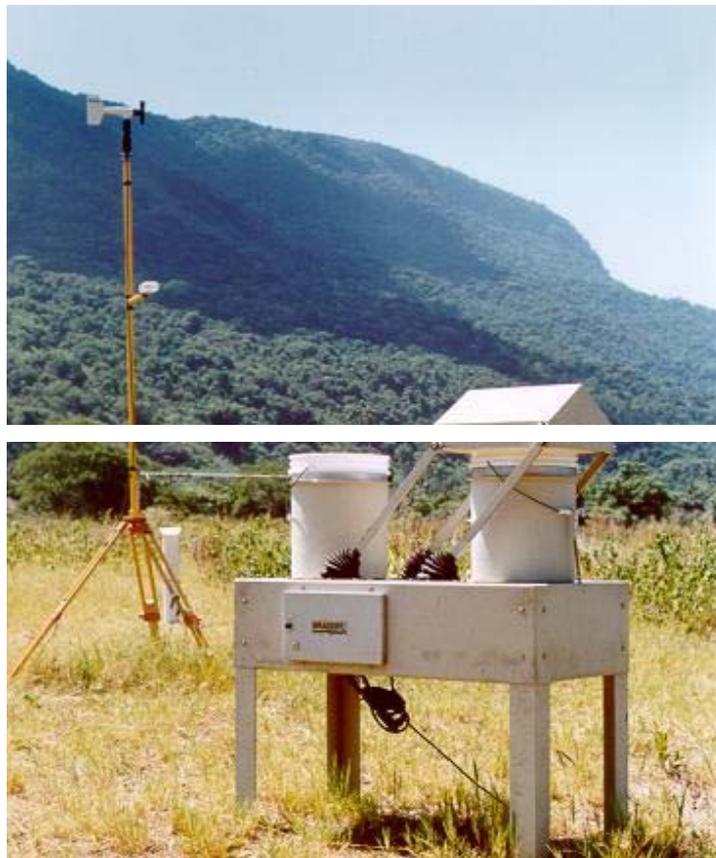
Através da instalação de coletores automáticos de chuvas, de deposição úmida e seca, marca Graseby/GMW modelo APS78100, conforme apresentado na **figura 24**, nos mesmos locais onde foram instaladas as estações fixas de monitoramento da qualidade do ar da SMAC: Co-

pacabana (Praça Cardeal Arco Verde), Tijuca (Praça Saens Peña), Centro (Largo da Carioca) e São Cristóvão, procedeu-se uma sistemática de coleta semanal e foi considerado o caráter dinâmico-climatológico da atmosfera local. Dessa forma, cada coleta representou as águas recebidas de um mesmo sistema frontal, evitando, assim, misturas de águas de sistemas frontais distintos e transformações físico-químicas das amostras.

Após 12 meses de monitoramento, com uma coleta semanal em cada localidade, foram registradas 53 coletas por estação, num total de 636 amostras (ABREU, 2005).

Com o objetivo de complementar as informações desse monitoramento, foram compiladas as situações sinóticas e condições meteorológicas diárias da cidade do Rio de Janeiro, visando ao estabelecimento das devidas correlações com os resultados das análises físico-químicas das amostras coletadas nas 4 (quatro) estações fixas de monitoramento da qualidade do ar da SMAC. Esta tarefa ficou a cargo do Laboratório de Estudos em Poluição do Ar do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Figura 24 - Coletor automático de deposição úmida e seca, Graseby/GMW APS78100 utilizado no estudo da UFF/UFRJ/SMAC - Fonte: De Mello; Maia (2004)



Na **tabela 9** estão compilados os dados desse monitoramento.

Parâmetros	São Cristóvão	Tijuca	Centro	Copacabana	São Paulo⁽¹⁾	Figueira⁽²⁾
pH	4,33	4,36	4,91	4,67	4,77	4,90
H ⁺	47,0	43,3	12,4	21,5	16,9	14,0
Na ⁺	30,4	38,1	42,0	56,0	3,60	35,0
K ⁺	3,6	5,9	4,0	5,3	3,7	10
Mg ²⁺	26,6	20,8	20,9	33,7	3,4	12
Ca ²⁺	8,1	11,0	11,7	6,6	11,0	32
NH ₄ ⁺	28,9	23,9	26,8	16,5	27,9	30
NO ₃ ⁻	15,0	15,5	12,8	11,2	15,6	13
SO ₄ ²⁻	29,2	25,4	27,4	21,4	19,0	69
Cl ⁻	50,1	51,7	54,5	86,9	4,7	16

Tabela 9 - Comparação da composição química da água da chuva entre as quatro Estações da SMAC, encontradas no trabalho desenvolvido por MAIA e DE MELLO (2004), e em estudos em outras localidades no país.

⁽¹⁾FORNARO e GUTZ (2003);

⁽²⁾FLUESetal(2002).

3.4.5 Avaliação dos resultados obtidos

Os íons cloreto (Cl⁻) e sódio (Na⁺) podem ser considerados como aqueles que apresentaram maiores concentrações em unidade de massa equivalente. Isto indica a forte influência dos aerossóis de sal marinho (*sea-salt aerosols*) na composição química da água da chuva no Rio de Janeiro. Os íons presentes em menores concentrações foram o nitrato (Ca²⁺) e o potássio (K⁺).

4 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

O sistema de aproveitamento de água de chuva para consumo não potável é uma medida não convencional, de tecnologia relativamente simples e econômica, que consiste na captação, armazenamento e tratamento simplificado (quando necessário), fornecendo água de boa qualidade para utilizações menos nobres que não necessitam de potabilidade.

A viabilidade do sistema depende basicamente de três fatores: precipitação, área de coleta e demanda. O reservatório da água de chuva, por ser o componente mais dispendioso do sistema, deve ser projetado de acordo com as necessidades do usuário e com a disponibilidade pluviométrica local para dimensioná-lo corretamente, sem inviabilizar economicamente o sistema.

Os telhados serão as áreas de contato onde poderemos adaptar em suas canaletas de escoamento tanques móveis de onde serão transvazadas as águas das precipitações para um tanque de maior volume, para que, por meio de bombas, possam ser distribuídas (LUZ, 2005).

4.1 Formas potenciais de utilização

A captação de água de chuva pode ser tão simples como uma pequena barragem que impede a água de escoar de uma ladeira ou tecnicamente avançada como um reservatório que capta água de chuva para beber ou para agricultura. Ela oferece uma riqueza em possibilidades para países desenvolvidos e em desenvolvimento. Atualmente o aproveitamento da água de chuva é praticado em países como Estados Unidos, Alemanha, Austrália e Japão, entre outros. No Brasil, o sistema é utilizado em algumas cidades do Nordeste como fonte de suprimento de água e está em processo de implantação em grandes metrópoles como forma de mitigação das enchentes.

É possível usar a área de cobertura (telhado ou laje) da casa para captação, após passar por um filtro ou mecanismo de retenção de impurezas, conduzi-la a um reservatório onde será armazenada e utilizada na residência. É uma alternativa sustentável para economizar e aproveitar a água em residências, edifícios, instalações comerciais, condomínios, indústrias, chácaras, sítios, fazendas e edificações em geral. Seu uso tem funções diversas como: descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, quintais e automóveis, irrigações de hortas e jardins e etc. Além disso, o armazenamento contribui para diminuir os efeitos das enchentes comuns nos centros urbanos. Apresenta-se alguns exemplos de utilização.

Condomínios - a água de chuva armazenada significa uma expressiva economia no gasto de água nas áreas comuns. Ela pode ser utilizada para lavagem das calçadas, do playground, de carros, na irrigação dos canteiros e jardins, na reserva para caso de incêndio e até mesmo em banheiros nas descargas das bacias sanitárias.

Residências - O sistema pode ser aplicado tanto em residências em construção - pode ser feito um sistema paralelo ao da água da rua, e incluir o uso em descarga de banheiros, lavagem de roupa (em grandes centros urbanos, áreas de concentração de indústrias ou de muita poeira, recomenda-se o uso de um filtro específico para máquinas de lavar) e torneiras externas - como em casas já construídas. Onde não se deseja ou não for possível alterar as instalações existentes, é possível aproveitar a água de chuva para jardins, piscina, limpeza de calçadas, lavar carros, entre outros usos.

Indústria, instalações comerciais e rurais, clubes - em áreas de maior porte, aproveitar a água de chuva é unir os benefícios ecológicos aos econômicos. A água pode ser usada para resfriar equipamentos e máquinas, em serviços de limpeza, para descarga de banheiros, no reservatório contra incêndio, irrigação de áreas verdes. Nos dias de chuva intensa, as cisternas podem funcionar como buffers (áreas de contenção), diminuindo ou até evitando alagamentos e a sobrecarga da rede pluvial.

Réuso da água de chuva junto com a água tratada do esgoto - uma excepcional alternativa para o proprietário ou construtor tornar sua habitação ainda mais sustentável e econômica é aliar os benefícios do sistema de captação de água de chuva com o das mini-estações de tratamento de águas residuais. Trata-se de reunir as duas águas e bombeá-las (recalcá-las) para a caixa ou reservatório, de onde serão reaproveitadas conforme mencionado acima. Com isso, se adequadamente dimensionado, a quantidade de água disponível permitirá a utilização da água da rede pública essencialmente para consumo humano e funções primárias.

4.2 **Concepção e dimensionamento da calha, condutor vertical e condutor horizontal**

A água da chuva após passar pela área de captação, coleta ou contribuição passa por uma calha que a conduzirá para o condutor vertical e posteriormente para o condutor horizontal.

Calha

A calha é o componente que capta as águas diretamente dos telhados impedindo que estas deságuem livremente causando danos nas áreas circunvizinhas, principalmente quando a edificação é alta.

Segundo Tomaz (2003), o material de fabricação das calhas deve ter as seguintes características: ser resistente à corrosão; ter longa durabilidade; deve ser imune a mudanças de temperatura e deve ser liso, leve e rígido. Os materiais mais usados na fabricação das calhas são:

- **chapa galvanizada:** muito usada, principalmente quando a calha fica protegida por platibanda, ou seja, de forma invisível e sem a possibilidade de receber esforços, pois são frágeis;
- **chapa de cobre:** de uso bastante difundido em épocas anteriores, quando este material era de fácil aquisição e por preços relativamente baixos, porém hoje está caindo em desuso face ao grande custo;
- **Cloreto de polivinila (PVC):** muito usado no sul do país, onde existe o hábito de colocação, de forma aparente, presa às bordas dos telhados;
- **Cimento amianto:** são tubos partidos ao longo de sua geratriz e de uso menos comum;
- **Concreto:** geralmente é escolhido este tipo de material quando a própria calha trabalha também como elemento de sustentação da estrutura, ou seja, quando a viga funciona também como calha.

As seções das calhas, de acordo com Mello e Netto (1988) apud Roggia (2007), possuem as mais variadas formas, e, dependendo das condições arquitetônicas, bem como dos materiais empregados na confecção das mesmas, podem ter:

- **Seção retangular:** é a mais usada, sendo o concreto e chapa galvanizada os materiais mais utilizados;
- **Seção trapezoidal:** o concreto é menos recomendado pela dificuldade na confecção das formas, sendo a chapa galvanizada o material preferido;

- **Seção semi-circular:** Os materiais mais próprios são concreto (tubos partidos), cimento amianto (tubos partidos) e PVC. Raramente as calhas possuem esta seção a não ser quando localizadas nas bordas externas dos telhados, onde o PVC tem grande aplicação.

De acordo com Creder (2006), as calhas de beiral ou platibanda devem ter inclinação uniforme e no mínimo de 0,5%.

Segundo a NBR 10844/89, o dimensionamento das calhas pode ser feito pela fórmula de Manning- Strickler, conforme a **equação 4**:

$$Q = K \frac{S}{n} R_H^{2/3} d^{0,5} \quad (4)$$

onde:

Q = vazão de projeto, em litros/min;

S = área da seção molhada, em m²;

n = coeficiente de rugosidade;

$R_H = S/P$ = raio hidráulico, em m;

P = perímetro molhado, em m;

d = declividade da calha, em m/m;

$K = 60.000$.

Para o cálculo da vazão, é necessário conhecer o coeficiente de rugosidade, conforme os dados constantes da **tabela 10**.

Tabela 10 - Coeficiente de rugosidade para a fórmula de Manning-Strickler

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

Fonte: ABNT NBR 10844/1989

Em especial para calhas de concreto liso e lâmina d'água a meia altura, utiliza-se a **tabela 11**.

Tabela 11 - Vazões em L/min em calhas retangulares de concreto liso e Lâmina d'água a meia altura.

Vazões em L/min em calhas retangulares de concreto liso e lâmina d'água a meia altura				
Dimensão (m)		Declividade		
a	b	0,5%	1%	2%
0,20	0,10	366	518	732
0,30	0,20	1626	2299	3251
0,40	0,30	4124	5832	8248
0,50	0,40	8171	11656	16343
0,60	0,50	14050	19870	28100
0,70	0,60	22022	31144	44044
0,80	0,70	32334	45727	64668
0,90	0,80	45220	63950	90439
1,00	0,90	60903	86130	121806

Fonte: CREDER (2006).

Sendo calhas semicirculares com lâmina d'água igual a $\frac{1}{2}$ do diâmetro interno e coeficiente de rugosidade (n) igual a 0,011, utiliza-se a **tabela 12**.

Tabela 12 - Capacidade de calhas semicirculares

Capacidade de calhas semicirculares (lâmina d'água igual a ½ diâmetro interno) $n= 0,011$ (Vazões em L/ min)			
Diâmetro Interno		Vazões (L/min)	
Declivida- des (mm)	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1167	1634

Fonte: ABNT NBR 10844/1989

Condutor vertical

É o tubo vertical que transporta a água de chuva da calha do telhado até o sistema de armazenamento.

Mello e Netto (1988) apud Roggia (2007) afirmam que o material utilizado para a sua confecção é o PVC para sistema de esgoto ou a linha reforçada própria para captação de águas pluviais. Em geral os tubos para esgoto (paredes finas) são empregados quando a tubulação está exposta. Recomenda-se a utilização do tubo de paredes reforçadas para condutores verticais embutidos em pilares ou paredes falsas.

Para a determinação do diâmetro, é necessário conhecer qual o tipo de componente que está sendo usado para captar a água, o qual pode ser com ou sem calha.

Com calha

Para o caso de condutores que recebem as águas de calhas, o cálculo é realizado da seguinte forma, segundo a NBR 10844/89:

- Conhecendo-se a vazão de projeto (Q), a altura da lâmina de água na calha (H) e o comprimento do condutor vertical (m), são utilizados os ábacos das **figuras 25 e 26**, os quais correspondem ao tipo de saída da calha, em canto vivo ou em funil. Assim, é obtido

o diâmetro dos condutores verticais em (mm). É importante lembrar que, segundo a NBR 10844/89, nenhum condutor vertical pode ter diâmetro inferior a 75 mm.

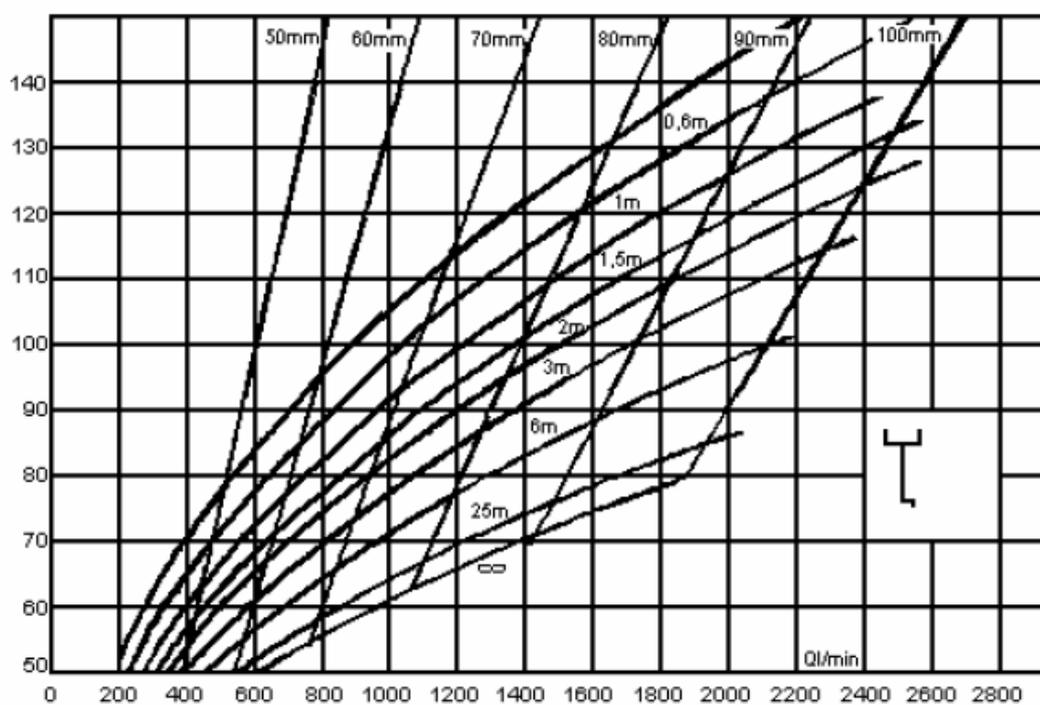


Figura 25 - Curvas para dimensionamento da calha com saída em aresta viva

Fonte: ABNT NBR 10844/89.

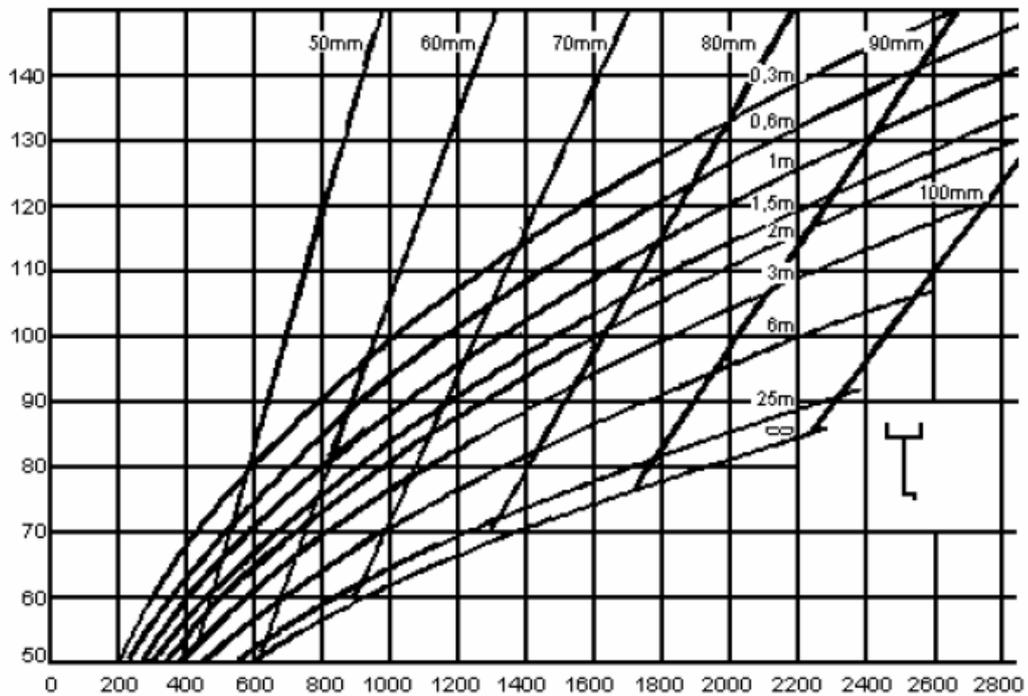


Figura 26 - Curvas para dimensionamento da calha com funil de saída.

Fonte: ABNT NBR 10844/89

Segundo Reis (2007), para a verificação da máxima vazão nos condutores verticais a fim de que o regime de escoamento não seja forçado, deve-se estipular uma taxa de ocupação (T_0) da área da seção transversal do condutor vertical, de acordo com a **tabela 13**, extraída da **equação 5** a seguir.

$$Q_p = 0,019 \times (T_0)^{5/3} \times D^{8/3} \quad (5)$$

onde:

Q_p = vazão de projeto (L/min);

D = diâmetro interno do condutor vertical (mm);

$$T_0 = S_w / S_t$$

T_0 - taxa de ocupação;

S_w - área da seção anelar por onde escoa a água;

S_t - área da seção transversal do condutor vertical.

Tabela 13 - Vazão máxima de condutores verticais em função da taxa de ocupação

Taxa de ocupação (T_o)	25%	30%
D_{int} (mm)	Vazão máx. (L/min)	
75	188,57	255,54
100	...	550,33
150	...	1622,3 3
200	...	3494,3 7
250	...	6335,7 2

Fonte: PCC-USP (2006) apud REIS (2007).

Sem calha

Neste caso as águas são conduzidas aos condutores verticais através de ralos, caixas, etc. Alguns autores adotam métodos práticos para o cálculo dos condutores verticais, tais como Botelho e Ribeiro (1998) apud Tomaz (2003) que citam um método prático que fornece o diâmetro do tubo para chuvas críticas de 120mm/h e 150mm/h, como mostra a **tabela 14**.

Tabela 14 - Critério de dimensionamento dos condutores verticais proposto por Botelho

Diâmetro (mm)	Vazão (L/s)	Área do telhado (m^2)	
		Chuva de 150 mm/h	Chuva de 120 mm/h
50	0,57	14	17
75	1,76	42	53
100	3,78	90	114
125	7,00	167	212
150	11,53	275	348
200	25,18	600	760

Fonte: Botelho e Ribeiro (1998) apud Tomaz (2003).

Segundo Macintyre apud Tomaz (2003), um outro método é utilizado pelos norte-americanos, em que se considera que para uma chuva de 200 mm/h pode-se utilizar a taxa de 0,5 cm² de condutor por metro quadrado de área de telhado.

A **tabela 15** mostra o exemplo para diâmetros nominais de coletores verticais encontrados no Brasil.

Tabela 15 - Diâmetro do coletor vertical em função da área de telhado

Diâmetro Nominal	Área da seção transversal do condutor vertical (cm²)	Área do telhado (m²)
50	19,6	39
75	44,2	88
100	78,5	157
150	176,7	353
200	314,2	628
250	490,9	982
300	706,9	1.414

Fonte: TOMAZ (2003)

Segundo Mello; Netto (1988) apud Roggia (2007), para chuvas críticas de até 150mm/h, pode-se utilizar a **tabela 16** para o dimensionamento dos condutores verticais.

Tabela 16 - Área máxima de cobertura para condutores verticais de seção circular.

Diâmetro (mm)	Área máxima de telhado (m²)
50	13,6
75	42,0
100	91,0
150	275,0

Fonte: MELLO E NETTO (1988)

Cabe ressaltar que nas tabelas apresentadas os autores estão utilizando diâmetros inferiores aos recomendados pela normalização brasileira.

Segundo Gonçalves (2005), outra forma de calcular condutores verticais que não utilizam calhas é através da **tabela 17**, onde com o valor da precipitação (mm/h) e da área de contribuição (m²), encontra-se o diâmetro da coluna vertical, em polegadas.

Tabela 17 - Diâmetro do condutor vertical em polegadas

Precipitação (mm/h)	Diâmetro do condutor vertical			
	2"	3"	4"	5"
25	267,8	818,4	1.711,2	3.217,8
50	135,9	409,2	855,6	1.608,9
76	89,3	272,5	570,1	1.072,3
101	67,0	204,6	427,8	804,5
127	53,5	168,7	342,2	648,6
152	44,6	136,7	283,5	536,1
178	38,1	117,2	244,6	439,9
203	33,5	102,3	213,9	402,2
229	29,8	91,1	190,2	357,6
254	27,0	81,1	171,1	321,8
279	24,2	74,4	155,8	292,5
305	22,3	67,9	142,3	267,8

Fonte: GONÇALVES (2005)

Condutor horizontal

É o canal ou tubulação horizontal destinado a recolher e conduzir as águas pluviais até locais permitidos pelos dispositivos legais (NBR-10844/89). É, portanto, a tubulação que conduzirá a água pluvial do condutor vertical para o dispositivo de auto-limpeza e posteriormente ao reservatório inferior.

Segundo a NBR 10844/89, devem ser projetados, sempre que possível, com declividade uniforme e de no mínimo 0,5%.

Segundo Creder (2006), o dimensionamento dos condutores horizontais de seção circular deve ser feito para escoamento com lâmina de altura d'água igual a 2/3 do diâmetro interno do

tubo. Na **tabela 18**, extraída da ABNT NBR 10844/89, temos uma indicação do diâmetro interno em função da vazão.

Tabela 18 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min)

Diâmetro Interno (mm)	$n = 0,011$				$n = 0,012$				$n = 0,013$			
	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	172	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1198	1690	358	777	1100	1550	509	717	1010	1430
200	1300	1820	2670	3650	1190	1870	2360	3350	1100	1540	2180	6040
250	2350	3310	4580	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
300	3820	5380	7590	10800	8500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

Fonte: ABNT NBR 10844/1989.

Nas tubulações aparentes, devem ser previstas inspeções sempre que houver conexões com outra tubulação, mudança de declividade, mudança de direção ou, ainda, a cada trecho de 20m nos percursos retilíneos.

A ligação entre os condutores verticais e horizontais será sempre feita por curva de raio longo, com inspeção (tubo operculado) ou caixa de areia, conforme o tubo esteja aparente ou enterrado.

4.3 Técnicas de descarte da água de chuva de limpeza do telhado

Para coletar água de chuva é necessário fazer uso de áreas impermeáveis. Em edificações, é aconselhável o uso do telhado. No entanto, sabe-se que é um local onde ocorre a constante presença de pequenos animais, bem como de poeira, galhos de árvores, folhas etc. Por isso, é recomendável o descarte da porção inicial dessa água que faz a limpeza do telhado, sobretudo após longo período de estiagem.

Nas edificações, as águas da chuva são direcionadas para o sistema de água pluvial convencional, onde a água é captada através da cobertura, terraço ou laje, passando, na maioria dos casos, por calha, seguindo-se por condutor vertical, condutor horizontal e por caixas de inspeção ou areia, sendo finalmente encaminhada à rede pluvial.

O que difere o sistema convencional do sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis é que ao invés de direcionar a água para a rede pluvial, tal qual é feito no sistema convencional, esta é redirecionada para o reservatório inferior, passando antes por um reservatório de auto-limpeza e/ou uma filtração (que descarta a primeira água que cai na área de coleta). A **figura 27** mostra o esquema de coleta e armazenamento de água da chuva, sem nenhum tipo de tratamento.

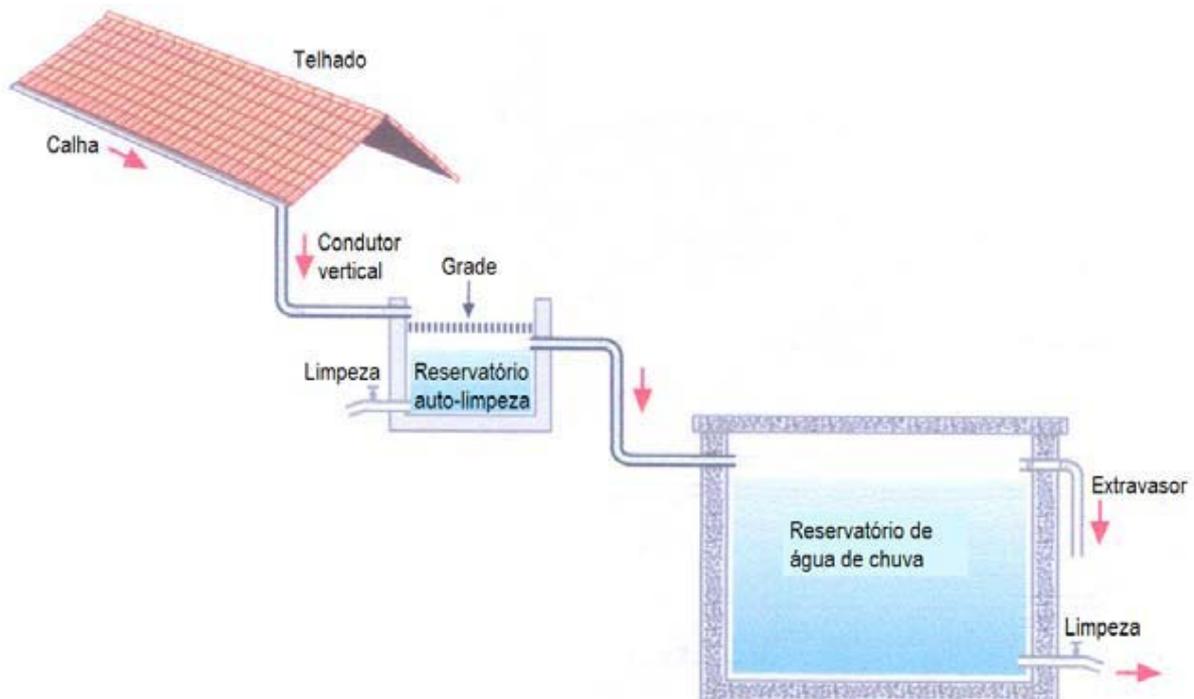


Figura 27 - Esquema de coleta de água da chuva com reservatório de auto-limpeza.

Fonte: TOMAZ (1998) apud MAY (2005)

Algumas técnicas são utilizadas para o descarte da água de limpeza do telhado, podendo ser classificadas como manuais ou automatizadas:

- **Utilização de tonel:** segundo Dacach (1990) apud May (2004), a operacionalidade dá-se da seguinte maneira: a água do telhado passa pela calha e desce pelo condutor vertical chegando até um tonel cujo volume depende da área de coleta, porém este deve conter um

pequeno orifício na parede inferior com cerca de 0,5 cm de diâmetro. Através de um ramal horizontal conectado ao condutor vertical, é feita a alimentação do reservatório de água de chuva.

Na **figura 28**, verifica-se o esquema de funcionamento do tonel para descarte da água de limpeza do telhado.

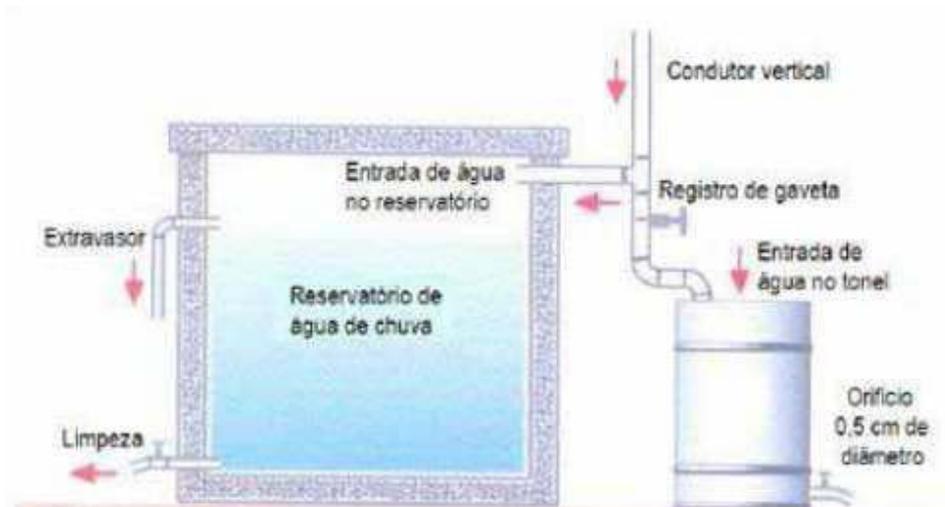


Figura 28 - Descarte de primeira água

Fonte: DARCAH, 1990.

Segundo Dacach (1990) apud May (2004), o descarte da primeira água de chuva ocorre parcialmente pelo orifício, que por permitir uma pequena vazão faz com que a água suba pelo tonel até atingir o ramal horizontal, quando começa a escoar para o reservatório de água de chuva. As chuvas de pequena intensidade não apresentam condições de aproveitamento, pois apenas atendem a vazão do orifício.

- **Reservatório de auto-limpeza com torneira bóia:** sistema cujo funcionamento ocorre pela passagem da água de chuva através da calha, seguindo-se pelo condutor vertical, chegando ao reservatório de auto-limpeza que fica localizado sobre o reservatório de água de chuva. A entrada de água no reservatório de auto-limpeza é provida de uma bóia de nível.

As primeiras águas de chuva ao entrarem no reservatório vazio atingem a posição limite do nível de água implicando o fechamento automático da torneira bóia, iniciando-se assim o escoamento para o reservatório de água de chuva. Cessada a chuva, o registro de descarte da água

do reservatório de auto-limpeza deve ser aberto para esvaziá-lo e retornar as condições de funcionamento.

Na **figura 29**, é apresentado o esquema do reservatório de auto-limpeza com torneira de bóia.

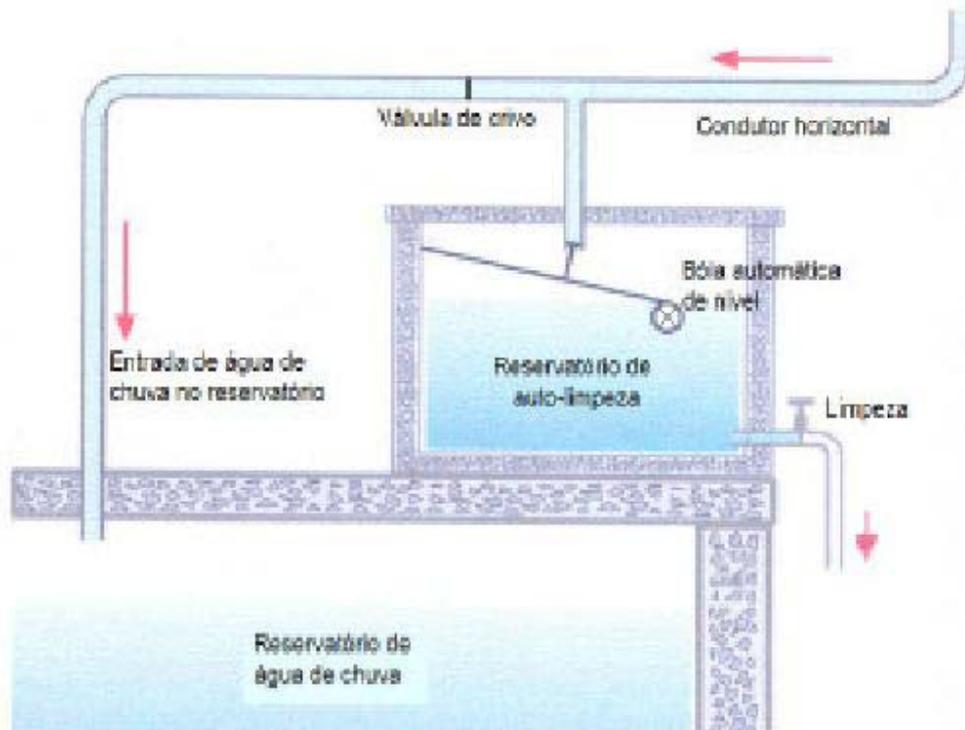


Figura 29 - Reservatório de auto-limpeza com torneira bóia

Fonte: DACACH (1990) apud MAY (2004)

Segundo Anecchini (2005), existe no mercado um outro dispositivo para descarte da primeira chuva, conforme ilustrado na **figura 30**. Segundo a autora, o funcionamento desse dispositivo se dá da seguinte maneira: quando o volume do reservatório de eliminação da primeira chuva é preenchido, a entrada de água é vedada por uma bóia flutuante que se encontra dentro do reservatório e assim a água de chuva captada passa a ser direcionada diretamente para o reservatório de acumulação.

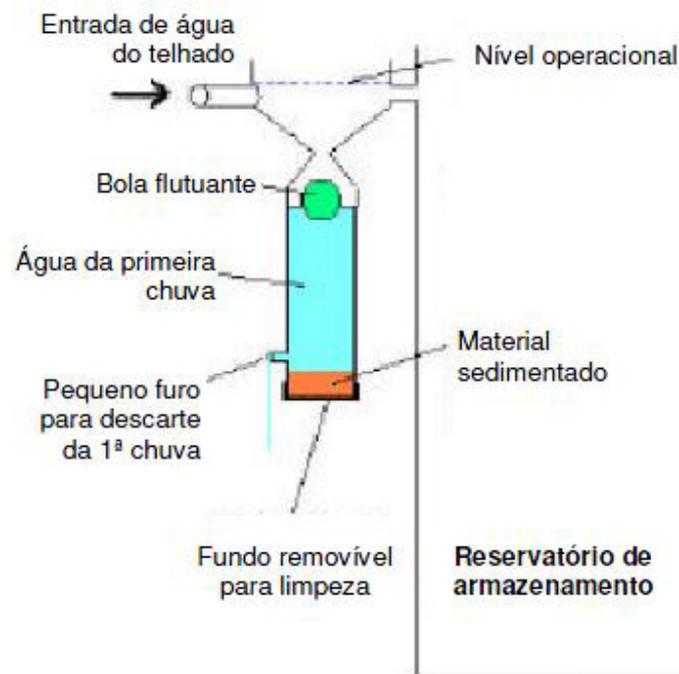


Figura 30 - Descarte da primeira chuva com sistema de bóia

Fonte: RANATUNGA (1999) apud ANNECCHINI (2005)

- **Reservatório de água de chuva com filtro de areia:** sistema em que o reservatório utilizado para armazenar a água de chuva tem ainda a capacidade de filtrar a água através de um filtro de areia. A entrada da água de chuva no reservatório é munida de um dispositivo para descarte de folhas e galhos provenientes do telhado (GARCEZ; ALVARES, 1988 apud MAY, 2004).



Nesse sistema, existem camadas de areia e pedregulhos que servem como material filtrante. A água ao passar por essas camadas é direcionada a um poço de sucção onde é bombeada até um segundo reservatório que fará a alimentação do sistema de distribuição. O filtro de areia apresenta também um dispositivo de retrolavagem do sistema.

4.3.1 Dispositivos de descarte da água de limpeza do telhado

Existem ainda dispositivos de descarte compostos de válvulas que descartam automaticamente os primeiros litros de chuva sem a intervenção humana, garantindo maior qualidade à água reservada. Nas **figuras 31 e 32** são apresentadas válvulas de descarte e seu funcionamento. Essas válvulas podem ser instaladas tanto na posição horizontal quanto na vertical, dependendo da necessidade (PAULA, 2005 apud ROGGIA, 2007).

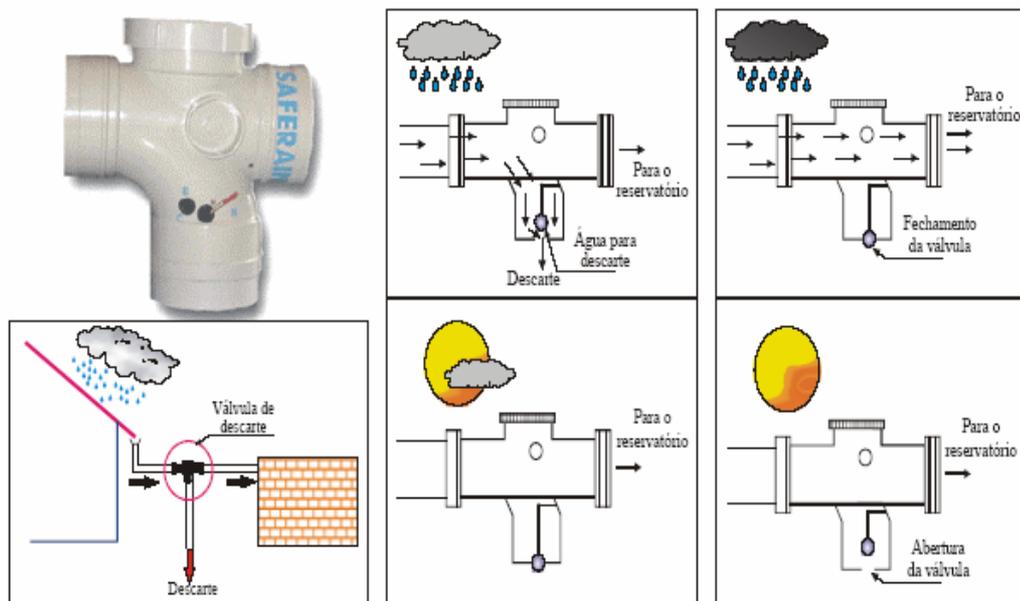


Figura 31 - Válvula de funcionamento na horizontal

Fonte: <http://www.saferain.com.au/horizon.htm> apud PAULA (2005).

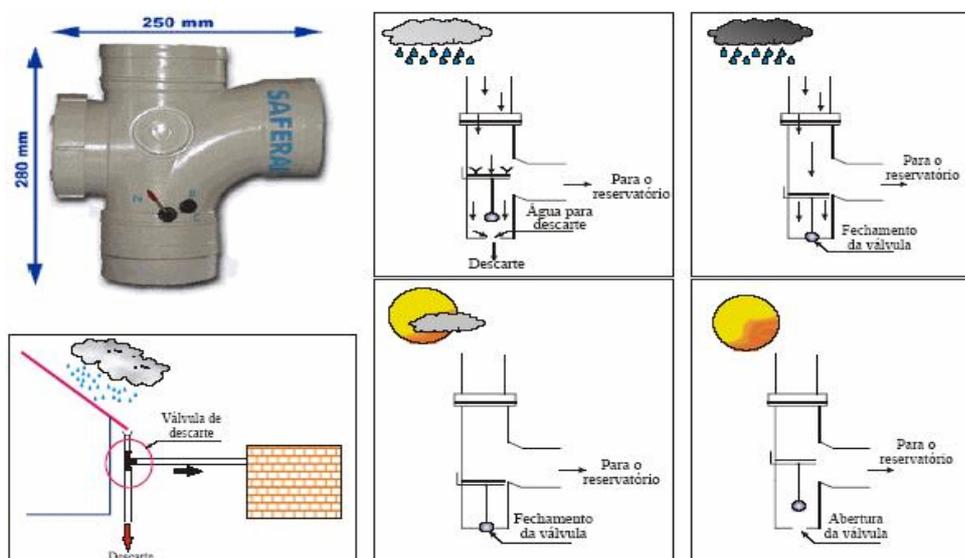


Figura 32 - Válvula de funcionamento na vertical

Fonte: <http://www.saferain.com.au/horizon.htm> apud PAULA (2005).

Além desses dois modelos, existe ainda a válvula reversa, a qual é posicionada na entrada do tanque de armazenagem de água pluvial, conforme mostra a **figura 33**.

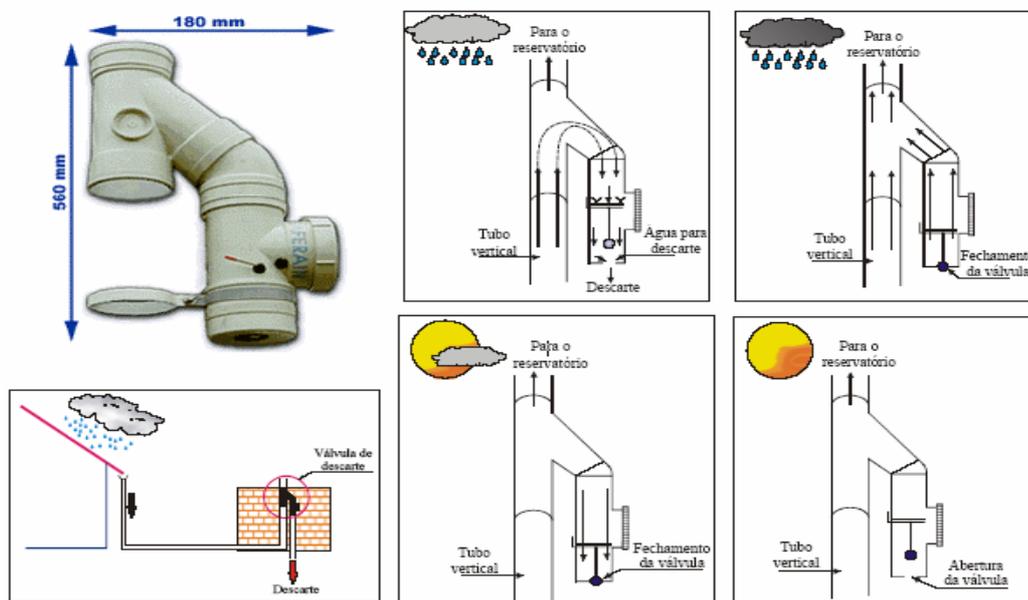


Figura 33 - Válvula de funcionamento reverso

Fonte: <http://www.saferain.com.au/horizon.htm> apud PAULA (2005)

Da mesma forma como ocorre com os outros componentes do descarte, nas chuvas intensas essas válvulas não apresentam a mesma eficiência.

De acordo com Marks (2001) apud May (2004), é utilizado na Austrália um dispositivo bastante simples para o descarte da água de limpeza do telhado, a qual é direcionada até o dispositivo através do condutor vertical e é armazenada em um pequeno reservatório composto por um pedaço de tubo (tubo de auto-limpeza). No instante em que o reservatório estiver cheio, a água começa a escoar para o reservatório de água de chuva. Face às suas dimensões, o uso desse dispositivo somente é aconselhável para pequenas áreas de coleta. A **figura 34** apresenta o esquema do dispositivo para coleta da água de limpeza do telhado.

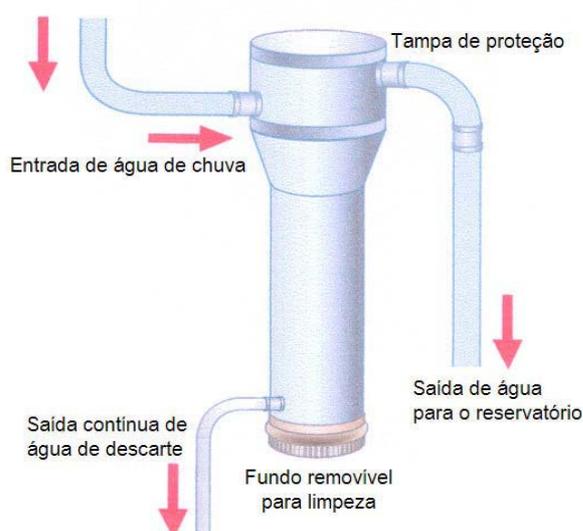


Figura 34 - Dispositivo de descarte da água de limpeza de telhado utilizado na Austrália

Fonte: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~cegak/Coombes/RainwaterScales.htm>.

apud MAY (2004)

Segundo 3PTechnik (2001) apud May (2004), pode-se utilizar para o sistema de coleta e aproveitamento da água de chuva um filtro VF1 (ver **figura 35**), em que a água de chuva passa pelo condutor horizontal e desce pelo condutor vertical, passando pelo filtro VF1 onde ocorre a separação dos detritos como folhas e galhos.

Ao sair do filtro VF1, a água é lançada no reservatório que está munido de um amortecedor de ondas para evitar marolas e não agitar a sedimentação no fundo do reservatório. Este sistema faz com que a água mais limpa seja sempre bombeada para o reservatório que abastece o sistema de distribuição.

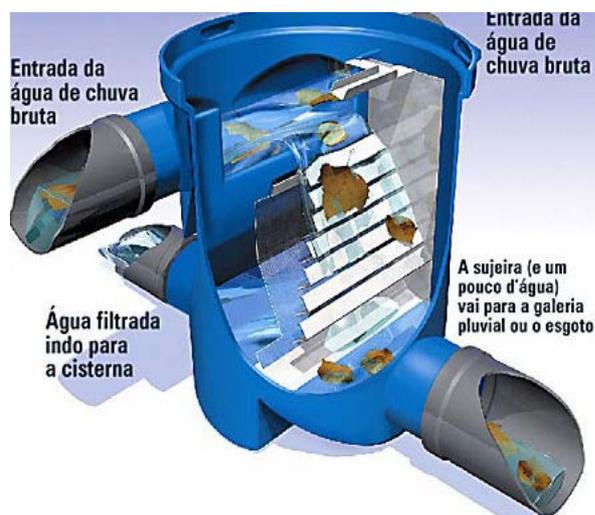


Figura 35 - Filtro Volumétrico da 3P Technik

4.4 Tratamento de água de chuva

O descarte das primeiras águas já é considerado um pré-tratamento. E dependendo da qualidade que se deseja para o uso dessa água, poderá haver ou não a necessidade de um tipo de tratamento mais aprimorado.

Dependendo do local de coleta, são aconselhados determinados usos para a água da chuva, de acordo com uma classificação do seu grau de pureza (**tabela 19**) (FENDRICH & OLIYNIK, 2002).

Tabela 19 - Usos aconselháveis para determinado tipo de área de coleta

Classificação do grau de pureza	Tipo de área de coleta	Usos aconselháveis
A	Telhados não utilizados por pessoas e animais	Sanitários e rega de jardim. E se purificadas, podem ser consumidas.
B	Telhados utilizados por pessoas e animais	Sanitários e rega de jardim. Não podem ser consumidas.

C	Estacionamentos e jardins artificiais	Sanitários e rega de jardim. Não podem ser consumidas, e a água necessita de algum tipo de tratamento mais avançado.
D	Superfícies pavimentadas (Estradas, rodovias, ruas e ferrovias)	Sanitários e rega de jardim. Não podem ser consumidas, e a água necessita de algum tipo de tratamento mais avançado.

Fonte: Fendrich; Oliynik (2002)

Dependendo do uso pretendido para a água, são indicados diferentes tipos de tratamento, de acordo com a **tabela 20**.

Tabela 20 - Tipos de tratamento para determinados usos requeridos

Usos para a água de chuva	Tratamento da água
Regar plantas	Não é necessário tratamento
Aspersores de irrigação, combate a incêndios e ar condicionado	Cuidados para manter o equipamento de estocagem e distribuição em condições de uso
Lagos, fontes, vaso sanitário, lavagem de roupas e de carros	Tratamento adequado ao uso a ser feito, devido ao possível contato do corpo humano com a água
Piscina, banho, beber e cozinhar	Desinfecção, para a água ser consumida direta ou indiretamente

Fonte: Fendrich e Oliynik, 2002.

Na **tabela 21** são apresentados métodos de tratamento em determinados pontos do sistema.

Tabela 21 - Localização indicada para as unidades de tratamento da água

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
<u>Filtração</u>		
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
<u>Desinfecção</u>		
Fervura/destilação	Antes do uso	Elimina micro-organismos
Tratamento químico (cloro ou lodo)	No reservatório ou no bombeamento (líquido, tablete/pastilha ou granulado)	Elimina micro-organismos
Luz ultravioleta	Sistemas de luz ultravioleta devem estar localizados após passagem por filtro	Elimina micro-organismos
Ozonização	Antes da torneira	Elimina micro-organismos

Fonte: Texas Guide to Rainwater, 1997 *apud* PROSAB, 2006.

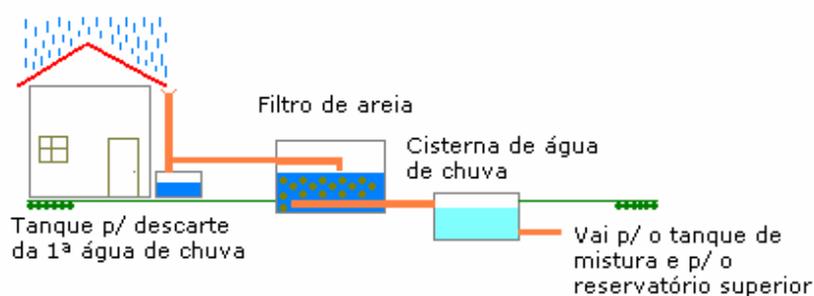
Caso a sedimentação no reservatório não seja suficiente para oferecer uma melhoria significativa na qualidade da água, adota-se filtros de areia como alternativa para a redução de impurezas, especialmente cor e turbidez.

Segundo Valle et al., (2005) apud Oliveira (2007), em pesquisas utilizando-se filtros de areia observou-se dificuldades de remoção de cor em águas provenientes de chuvas.

Para o dimensionamento dos filtros deve-se considerar os critérios estabelecidos na ABNT NBR 13.969/97 e basear-se na bibliografia sobre tratamento de água.

Na **figura 36** é apresentado um esquema com a localização do filtro de areia no sistema de aproveitamento de água de chuva da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

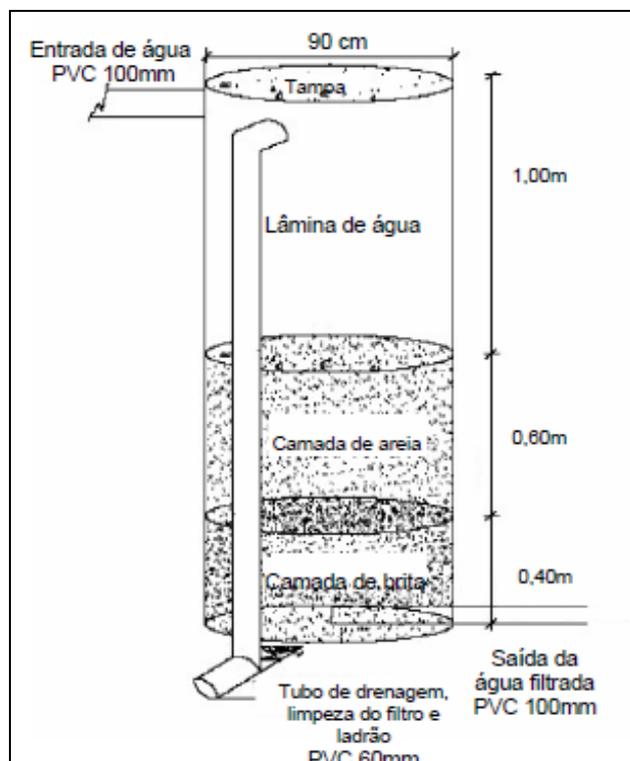
Figura 36 - Filtro de Areia para tratamento de água de chuva na UFSC



Fonte: PROSAB, 2006

A **figura 37** apresenta um filtro lento de areia projetado com base em um modelo reduzido fabricado em PVC. O protótipo deste tipo pode ser construído e testado na própria residência para ajudar na determinação da vazão de filtragem e estabelecimento da granulometria da areia e da brita para o filtro real.

Figura 37 - Filtro convencional de areia recomendado para uso doméstico



Fonte: EMBRAPA (2005)

Na **tabela 22** são apresentados resultados comparativos entre a água bruta (antes da filtração) e a água tratada através de um filtro de areia convencional para uso doméstico com as seguintes dimensões: 3,66 m de comprimento e 1,33 m de diâmetro, com granulometria do meio filtrante variando de 2,0 a 4,8 cm (BARCELLOS; FELIZZATO, 2005).

Tabela 22 - Resultados da água de chuva tratada com filtro de areia

Parâmetros/Pontos	Água Bruta	Água Tratada
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	21 - 29	34 - 40
pH	6,2 – 6,7	6,7 – 9,8
Cor (uH)	66 - 152	63 - 104
Turbidez (uT)	1,9 – 9,68	1,2 – 4,36
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	32,7 – 54,3	32,5 – 50,9
Condutividade (mS/cm)	65,4 – 108,5	65,0 – 85,7
Sólidos Suspensos (mg/L)	1,0 – 66,0	0 – 2,4
Sólidos Totais (mg/L)	64 - 225	58 - 95
DBO (mg/L)	12,0 – 28,0	4,0 – 20,0
Coliforme Fecal (NMP/100mL)	91 - 365	12,5 – 43,1

Fonte: BARCELLOS & FELIZZATO (2005)

Quanto à manutenção do meio filtrante, recomenda-se um intervalo médio entre lavagens de aproximadamente 25 dias, sendo admissível, em alguns casos, de 7 até 90 dias (CETESB, 1976).

Quando se requer a água para consumo humano, em geral, somente utilizar-se da filtração com areia não é suficiente. Nesses casos, recomenda-se a desinfecção da água através de filtros com carvão ativado, por serem mais eficientes.

De acordo com a ABNT NBR 15527/2007, para a desinfecção pode-se utilizar derivado clorado, raios ultravioleta, ozônio e outros, desde que o residual de cloro se concentre entre 0,5 mg/L e 3,0 mg/L.

A norma alemã DIN 1989-1:2001-10 (1989)(apud ABNT) indica a floculação, flotação e separação por membranas como uma sequência de etapas eficientes de tratamento até para áreas de coleta como pátios com trânsito de veículos (estacionamentos).

Ressalta-se que qualquer método de tratamento deve ser avaliado quanto à sua aplicabilidade em cada caso específico, através do planejamento, da execução e da operação, observando-se as técnicas correspondentes.

4.5 Reservatório para armazenamento da água de chuva

O sistema de armazenamento é composto por reservatório(s) com o objetivo de armazenar a água da chuva. Caso sejam conhecidas a área de coleta, a precipitação média da região e a demanda mensal, pode-se calcular o volume mínimo do reservatório. Segundo Soares et al., (2000) apud May (2004), o problema do tamanho do reservatório pode ser visto de duas maneiras:

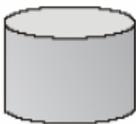
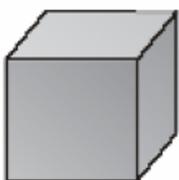
- quantidade de água necessária para suprir a demanda;
- calcular a demanda correta.

Em geral, o reservatório de acumulação é um dos componentes que determinará a viabilidade técnica e econômica do sistema de aproveitamento da água de chuva, devendo, portanto, ser bem dimensionado, a fim de não tornar a implantação do sistema inviável. O volume do reservatório deve ser dimensionado para atender as seguintes situações, dependendo do cálculo obtido e das condições locais:

- armazenar água para suprir a demanda por alguns dias;
- armazenar água para suprir a demanda por 1 a 2 meses;
- armazenar água para suprir a demanda por 6 meses; e
- armazenar água para suprir a demanda por 1 ano.

Como a viabilidade econômica é um fator preponderante no dimensionamento do reservatório de armazenagem da água de chuva, torna-se importante a escolha da geometria e do tipo de material a ser utilizado em sua confecção. A **tabela 23** apresenta a relação entre as diferentes geometrias e suas respectivas economias de materiais (PAULA, 2005 apud ROGGIA, 2007).

Tabela 23 - Formas geométricas ideais de tanques, aliadas à economia de materiais

Forma	Notas
<p data-bbox="240 443 336 477">Esfera</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - As esferas perfeitas são possíveis somente se forem subterrâneas ou em parte no subsolo. - Geração de baixas tensões na superfície do reservatório. - Somente apropriado para materiais possíveis de serem moldados como o cimento e a argila ou materiais flexíveis, tais como forro de plástico ou polietileno.
<p data-bbox="240 730 363 763">Cilindro</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - É a forma mais popular para os tanques de água. - As tensões são aceitáveis na lateral do tanque, porém uma junção fixa entre a parede e a base ocorre maiores tensões. - Apropriado para o uso com materiais possíveis de serem modelados ou outros materiais que podem ser dobrados em um sentido (tal como a folha de metal).
<p data-bbox="240 972 416 1005">Meia Esfera</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Uma forma popular para os tanques subterrâneos, por ser fácil de escavar e para economizar materiais. - Requer uma tampa grande, não engastada. - Os tanques subterrâneos são simples de serem construídos utilizando materiais modulares.
<p data-bbox="240 1178 320 1211">Cubo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Como as esferas, os modelos cúbicos são perfeitos somente subterrâneas ou em parte no subsolo. - As tensões nas arestas são elevadas. - Muito simples de construir usando técnica semelhante aos reservatórios de edifícios. - Apropriado para todos os materiais incluindo tijolos e blocos.

Fonte: <http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/pubs/rn/rwh/rn-rwh04.pdf> apud Paula (2005)

4.5.1 Dimensionamento do reservatório de água de chuva

De acordo com Soares et al., (2000) apud May (2005), os métodos utilizados para o cálculo do reservatório de águas pluviais podem ser classificados em quatro(4) principais grupos:

- - métodos determinísticos: os dados referentes a precipitação pluviométrica e a demanda são analisados pela curva de massa;
- - métodos aproximados: baseados em relações empíricas conhecidas;

- - métodos de modelação: são também conhecidos como método de transição probabilística da matriz;
- - método de análise de sistema: sendo linear, não linear ou de programação dinâmica.

Segundo Tomaz (2003) apud Roggia (2007), atualmente o método mais utilizado para dimensionamento do reservatório é o método de Rippl.

Existem duas maneiras de usar o método de Rippl para demanda constante. Um é o método analítico e o outro é o método gráfico. A **tabela 24** a seguir é utilizada para aplicação do método de Rippl para demanda constante (analítico) e chuvas mensais.

Tabela 24 - Dimensionamento de Reservatório pelo método de Rippl

MESES	CHUVA MÉDIA MENSAL	DEMANDA MENSAL	VOLUME ACUMULADO	ÁREA DE COLETA	COEFICIENTE DE RUNOFF	VOLUME DE CHUVA MENSAL	VOLUME ACUMULADO	VOLUME DE CHUVA DEMANDA	VOLUME DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DA CHUVA
	mm	m ³	m ³	m ²		m ³	m ³	m ³	m ³
JANEIRO									
FEVEREIRO									
MARÇO									
ABRIL									
MAIO									
JUNHO									
JULHO									
AGOSTO									
SETEMBRO									
OUTUBRO									
NOVEMBRO									
DEZEMBRO									

Fonte: adaptado de TOMAZ (2003)

- **Chuva média mensal (mm):** para um cálculo mais preciso da precipitação média mensal é aconselhável a utilização dos índices pluviométricos mensais dos últimos 10 anos.
- **Demanda mensal (m³):** a demanda mensal refere-se ao volume de água potável que pode ser substituído por água da chuva, ou seja, o volume de água necessário para alimentar os pontos onde não há necessidade da utilização de água potável no intervalo de um mês.
- **Área de coleta (m²):** soma das áreas destinadas a coletar água pluvial.
- **Coefficiente de runoff:** esse coeficiente refere-se a perda de água por evaporação, vazamentos, lavagem do telhado, etc.

- **Volume de chuva mensal (m^3):** é o volume máximo de água pluvial que poderá ser coletado no intervalo de um mês. De acordo com Tomaz (1998) apud May (2005), o volume máximo de chuva mensal que pode ser armazenado é calculado pela **equação 6**:

$$V = P \times A \times C \quad (6)$$

onde:

V = Volume anual de água da chuva (m^3);

P = Precipitação média mensal (mm);

A = Área de coleta (m^2);

C = Coeficiente de *runoff*.

- **Volume acumulado (m^3):** é o **somatório** do volume de chuva mensal nos meses de janeiro a dezembro.
- **Volume de chuva - demanda (m^3):** é a diferença entre o volume de água da chuva disponível e o volume da demanda a ser atendida.
- **Volume do reservatório de água da chuva (m^3):** é o volume adquirido no somatório da diferença negativa do volume de chuva e da demanda.
- **Número de dias que haverá suprimento com água de chuva:** é o número de dias em que o volume do reservatório sustenta a demanda do sistema sem utilizar água de outra fonte de alimentação em períodos de estiagem. Segundo Tomaz (1998) apud May (2005), o número de dias de seca que será suprido com água da chuva é calculado da seguinte maneira: volume do reservatório / volume demanda.

Segundo Tomaz (2003) apud May (2004), no método gráfico são utilizados os volumes de chuva acumulada de janeiro a dezembro, bem como a demanda acumulada de janeiro a dezembro. O volume acumulado é obtido através da inserção dos dados formando uma curva no gráfico, já a demanda constante (consumo acumulado) é obtida através de uma reta, de acordo com o gráfico da **figura 38**.

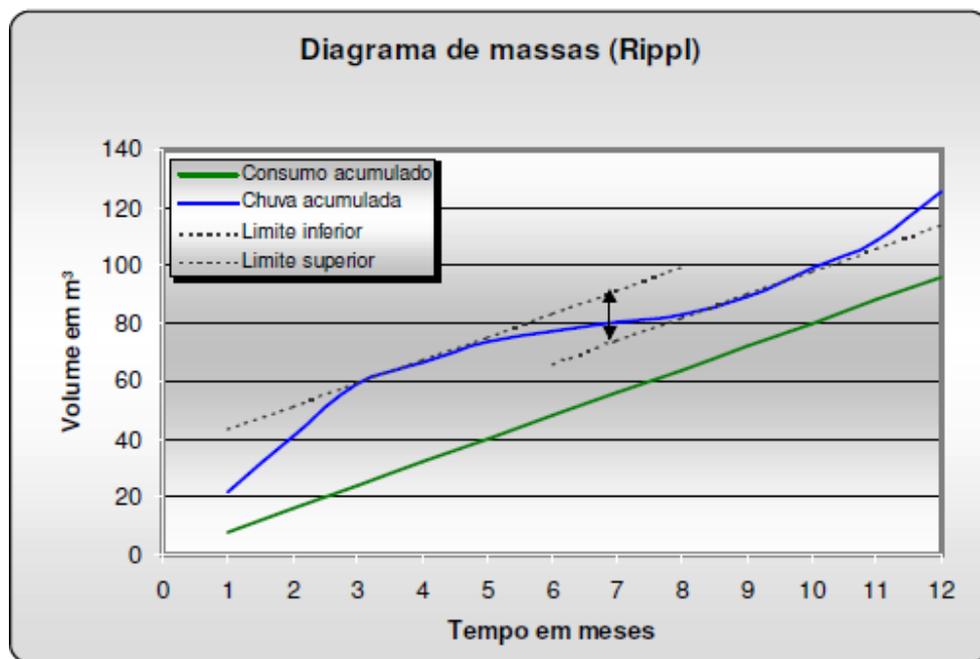


Figura 38 - Cálculo do volume do reservatório de água de chuva – Método gráfico

No gráfico acima, o eixo das abscissas indica os meses de janeiro a dezembro e o eixo das ordenadas os volumes acumulados mensais de água de chuva. O volume acumulado (consumo acumulado) da demanda mensal está representado pela reta. Para se obter o volume do reservatório, traça-se paralelas pela curva acumulada do consumo tangenciando-a pelo ponto mais alto e pelo mais baixo. A distância vertical entre as duas paralelas será o volume do reservatório.

4.5.2 Verificação do volume do reservatório de água de chuva

Segundo Chu et al., (1999) apud May (2005), no aproveitamento de água de chuva o reservatório é o componente mais dispendioso do sistema. Sua capacidade de armazenamento influencia não somente o custo, mas também a capacidade de atendimento da demanda. Segundo Cheng (2000) apud May (2005), é extremamente importante fazer a análise do volume de água de chuva a ser coletado, para que o custo final não inviabilize o uso do sistema. Na **figura 39** verifica-se o esquema de funcionamento de entradas e saídas de água do reservatório de acumulação.

Agosto									
Setem- bro									
Outu- bro									
Novem bro									
Dezem bro									

- **Chuva média mensal (mm):** como mencionado anteriormente, é aconselhável a utilização dos índices pluviométricos mensais dos últimos 10 anos.
- **Demanda mensal (m³):** é o volume de água potável que pode ser substituído por água pluvial.
- **Área de coleta (m²):** soma das áreas destinadas a coletar água pluvial.
- **Coefficiente de runoff:** este coeficiente refere-se a perda de água por evaporação, vazamentos e lavagem do telhado.
- **Volume do Reservatório (m³):** o volume do reservatório é obtido no cálculo anterior pelo método de Rippl. Pode-se também adotar um volume para o reservatório conforme necessidade de projeto e condições de local de instalação do sistema (MAY, 2005).
- **Volume de chuva mensal (m³):** é o volume máximo de água pluvial que poderá ser coletado no intervalo de um mês. O volume máximo que pode ser armazenado é calculado pela equação X, vista anteriormente.
- **Volume do reservatório no início do mês (T - 1) (m³):** é o volume de água do reservatório no início de cada mês. O primeiro mês é considerado zero, pois se supõe que o reservatório está vazio.
- **Volume do reservatório no final do mês (T) (m³):** é o volume de água da chuva no reservatório no final do mês.

- **Overflow (m³):** relativo ao extravasamento de água do reservatório.
- **Suprimento (m³):** água que pode vir do abastecimento público, de caminhão-tanque ou de outra procedência, caso o volume de água da chuva no reservatório não tenha atendido a demanda.
- **Confiança no sistema (%):** Segundo McMahon (1993) apud Tomaz (2003), a confiança no sistema é determinada pela **equação 7**:

$$Rf = (1 - Fr) \quad (7)$$

$$Fr = Nr / N \quad (8)$$

onde:

Rf = Confiança no sistema (%);

Fr = Falha no sistema (%);

Nr = Número de meses que o reservatório não atendeu a demanda;

N = Número total de meses.

- **Eficiência do sistema (%):** Segundo McMahon (1993) apud Tomaz (2003), a eficiência do sistema é determinada pela relação entre o volume anual de chuva utilizada e o volume anual de chuva.

4.6 Sistema de Bombeamento

De acordo com a ABNT NBR 15527/2007, quando necessário o bombeamento, este deve atender à ABNT NBR 12214. Devem ser observadas as recomendações das tubulações de sucção e recalque, velocidades mínimas de sucção e seleção do conjunto motor-bomba.

Pode ser instalado, junto à bomba centrífuga, dosador automático de derivado clorado, o qual convém ser enviado a um reservatório intermediário para que haja tempo de contato de no mínimo 30 min (ABNT NBR 15527/2007).

No caso de uma edificação, o sistema de bombeamento se faz necessário, pois a maioria dos reservatórios localiza-se na sua parte inferior, e é através desse sistema que a água atingirá o reservatório superior para posterior distribuição. A seguir é apresentado como deve ser dimensionado o sistema de bombeamento.

4.6.1 Determinação da vazão de recalque

De acordo com Pierezan (2005) apud Roggia (2007), para determinação da vazão de recalque utiliza-se a **equação 9**:

$$Q_{rec} = CD / NF \quad (9)$$

Q_{rec} = vazão de recalque (m^3/h);

NF = número de horas de funcionamento da bomba;

CD = consumo diário de água não potável (m^3/dia).

4.6.2 Dimensionamento do diâmetro de recalque e sucção

O diâmetro de recalque é calculado utilizando-se a fórmula de Forchmeir, segundo Roggia (2007), conforme apresentado na **equação 10**:

$$D_{rec} = 1,3 \times (Q_{rec}^{1/2}) \times X^{1/4} \quad (10)$$

onde,

D_{rec} = diâmetro de recalque (m);

Q_{rec} = vazão de recalque, converte-se o valor de Q_{rec} (m^3/h) para (m^3/s);

X = número de horas de funcionamento sobre 24 horas diárias, de acordo com a NBR 5626/98, adota-se o valor de 6 horas diárias.

Para o diâmetro de sucção adota-se um valor imediatamente superior ao dimensionado e estabelecido para o recalque.

4.6.3 Determinação da altura manométrica

Para o dimensionamento da bomba a ser utilizada, torna-se imprescindível a determinação da altura manométrica, conforme os cálculos da **equação 11**:

$$H_{man} = H_{man.rec} + H_{man.suc} \quad (11)$$

onde:

H_{man} = altura manométrica total (m);

$H_{man.rec}$ = altura manométrica de recalque (m);

$H_{man.suc}$ = altura manométrica de sucção (m).

Sendo, $H_{man.rec} = H_{rec} + \Delta H_{rec}$

onde:

H_{rec} = o desnível entre a bomba e o ponto mais alto a ser atingido pelo recalque;

ΔH_{rec} = a perda de carga no recalque.

O cálculo da perda de carga no recalque é dado por:

$$\Delta H_{rec} = j_{rec} \times L_{trec} \quad (12)$$

j_{rec} = perda unitária no recalque;

L_{trec} = comprimento real da tubulação de recalque mais os comprimentos equivalentes.

Altura manométrica de sucção:

$$H_{man.suc} = H_{suc} + \Delta H_{suc}$$

onde:

j_{suc} = a perda unitária na sucção;

L_{tsuc} = comprimento real da tubulação de sucção mais os comprimentos equivalentes.

Com o valor da altura manométrica total e a vazão de recalque, determina-se o tipo e a potência da bomba a ser utilizada.

4.7 Tubulações de distribuição da água de chuva

As tubulações de distribuição da água de chuva podem ser de PVC, aço galvanizado, ou cobre. Devem atender a ABNT NBR 5626/1998, sendo observadas as mesmas condições de dimensionamento adotadas para as tubulações de água fria potável, ou seja, devem ser concebidas e projetadas como condutos forçados em escoamento permanente e uniforme, através de um balançamento entre o diâmetro da tubulação, a vazão de projeto e as pressões necessárias, tendo em vista a carga disponível. Os seguintes parâmetros hidráulicos devem ser bem definidos: pressão; velocidade; perda de carga e a vazão.

4.8 Interligação entre os abastecimentos de água potável e água de chuva

De acordo com o uso pretendido para as águas pluviais, torna-se necessária a previsão de uma fonte alternativa de água potável a fim de suprir os períodos de estiagem. Em geral esta preocupação torna-se imprescindível quando as águas pluviais abastecem as descargas das bacias sanitárias ou para fins de lavagem de algum tipo de utensílio no interior das edificações. Uma das maiores preocupações que se deve ter nesta situação é a de evitar que possa ocorrer a contaminação com água pluvial entre o reservatório e/ou a rede urbana de abastecimento de água potável.

Segundo Pierezan (2005) *apud* Roggia (2007), para se evitar este problema deverá ser instalado um sensor de nível na interligação entre o reservatório de água pluvial e o de água fria, ou seja, quando o nível da água pluvial baixar no reservatório inferior, um sensor de nível aciona a entrada de água potável do reservatório superior para o reservatório inferior de água pluvial. A **figura 40** mostra o esquema da instalação.

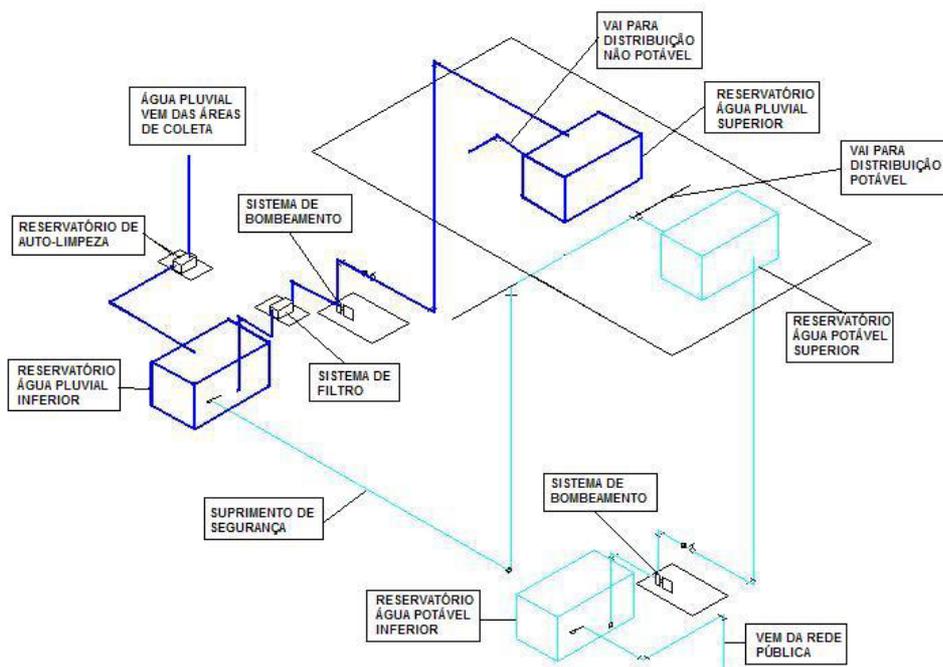


Figura 40 - Interligação do sistema de água potável com o de água pluvial

Fonte: Pierezan (2005) *apud* Roggia (2007).

4.9 Cuidados na utilização do sistema

No sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva alguns cuidados deverão ser tomados com relação à instalação e a manutenção do sistema. Eles são descritos a seguir.

- Evitar a entrada de luz do sol no reservatório para diminuir a proliferação de microorganismos.
- A tampa de inspeção deverá ficar fechada.
- A saída do extravasor deverá conter grade para evitar a entrada de pequenos animais.
- Pelo menos uma vez por ano deverá ser feita a limpeza no reservatório, removendo a lama que se acumula no fundo.
- O reservatório deverá conter uma pequena declividade no fundo para facilitar a limpeza e retirada da lama.
- É interessante localizar o reservatório próximo ao condutor vertical, podendo ele ser elevado, enterrado ou apoiado.

A água coletada deverá ser utilizada somente para consumo não potável.

O sistema deve possuir um dispositivo que possibilite o abastecimento do reservatório com água potável em caso de longas estiagens.

Deverão ser tomados os devidos cuidados para que a água de chuva não contamine o reservatório de água potável, caso os dois reservatórios estejam interligados.

A entrada de água potável no reservatório de água de chuva deverá estar acima da entrada de água de chuva, para não retornar água de chuva ao reservatório de água potável.

No fundo do reservatório deverá existir um dispositivo para evitar turbulência na água e não agitar o material sedimentado no fundo.

A tubulação de água de chuva deverá ser de outra cor para realçar o uso não potável, além disso, poderão ser utilizados roscas e torneiras diferentes para evitar uma possível interconexão com o sistema de água potável.

Próximo à mangueira do jardim ou quintal deverá existir uma placa de aviso “Água Não Potável”.

Deverá ser verificada a necessidade de filtração e cloração da água de chuva armazenada.

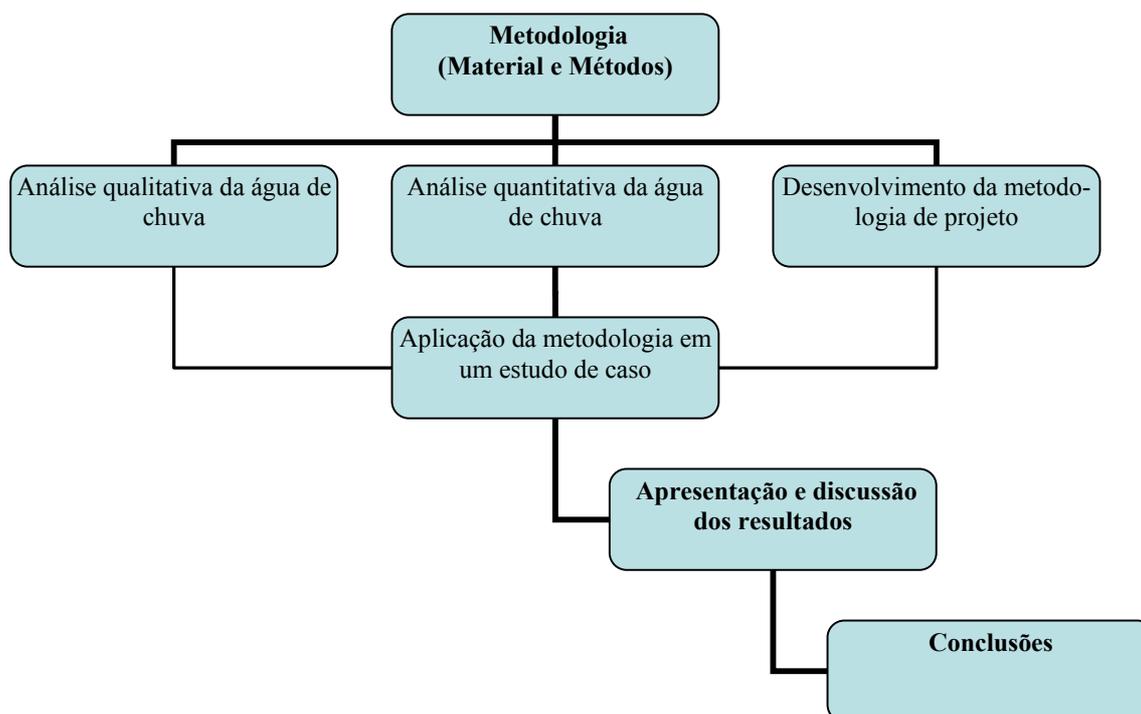
Não deverá ser feita a conexão da rede de água potável com a rede de água de chuva no sistema de distribuição.

5 ESTUDO DE CASO

Apresenta-se neste capítulo a metodologia do trabalho (tipos de materiais e métodos utilizados) e suas aplicações no estudo de caso para o aproveitamento da água de chuva.

O **fluxograma 1** mostra como foi organizado o desenvolvimento da metodologia deste estudo, contemplando a sequência entre este desenvolvimento e a apresentação e a análise dos resultados, seguido da conclusão do trabalho. A metodologia foi baseada no levantamento bibliográfico e validada através da aplicação no estudo de caso.

Fluxograma 1 - Metodologia do Projeto



5.1 Local de desenvolvimento do projeto

O local escolhido para desenvolvimento deste estudo foi uma indústria de reparo e construção naval, localizada na Ilha das Cobras no bairro do Centro na Cidade do Rio de Janeiro, RJ. O Complexo Naval da Ilha das Cobras é formado por um conjunto de Organizações Militares

(OM) da Marinha do Brasil (MB), com atividades diversas (administrativas, industriais, treinamento, saúde e apoio de ranchos).

A Ilha das Cobras localiza-se no interior da baía de Guanabara, é uma ilha de forma irregular, ligada ao continente (1º Distrito Naval) pelo lado oeste através da ponte Arnaldo Luz (Figura 19). É circundada por cais acostável e tem na parte central uma elevação em pedra. Possui uma área de 332.551,70 m² com área construída de 278.077,22 m² (DAdM, 2009).

A **figura 41** apresenta uma vista do cais sul da Ilha das Cobras e de algumas das edificações da ilha.



Figura 41 - Vista aérea da Ilha das Cobras (Wikimapia, 2009)

Na Ilha das Cobras existem duas estações geodésicas do IBGE que podem ser utilizadas como referências:

- 1ª) Na muralha da Ilha Fiscal, a leste do Castelinho, existe uma estação geodésica do IBGE, do tipo planimétrica – SAT, identificada pela gravação SAT 93517 (Latitude 22° 53' 47,9166"S, Longitude 43° 09' 57,6082"W – SIRGAS 2000).
- 2ª) Na entrada da Ilha das Cobras (Latitude 22° 53' 45"S, Longitude 43° 10' 31"W – SIRGAS 2000) defronte ao acesso ao Hospital Central da Marinha (HCM) existe ou-

tra estação geodésica do IBGE, do tipo altimétrica – RN, identificada por RN1031G, Altitude Ortométrica (m) 4,4122 m, que consiste em uma chapa cravada na soleira do busto em homenagem ao Almirante Régis Bittencourt.

A população estimada da Ilha das Cobras é de 10.000 pessoas com uma população flutuante de 1.500 pessoas/semana (AMRJ-083, 2009).

Consumo de água na Ilha das Cobras

A **tabela 26** apresenta os dados históricos de medição da água abastecida pela CEDAE para a Ilha das Cobras no período de janeiro de 2009 a janeiro de 2010, uma vez que somente após a instalação dos hidrômetros pela CEDAE, a partir de dezembro de 2008, o consumo de água passou a ser medido, sendo anteriormente a essa data considerado por estimativa de consumo.

Tabela 26 - Histórico de consumo de água da Ilha das Cobras (janeiro/2009 a janeiro/2010)

Medidor 071 e 148	Consumo (m³)
jan/09	143.140
fev/09	116.340
mar/09	110.850
abr/09	108.800
mai/09	102.140
jun/09	124.890
jul/09	115.720
ago/09	122.640
set/09	133.770
out/09	119.670
nov/09	138.170
dez/09	137.520
jan/10	129.440
médio	123.314

Fonte: AMRJ-41

Assim, o consumo médio mensal de água medido no Complexo da Ilha das Cobras foi de 123.314 m³ (janeiro/09 a janeiro/2010) e o máximo de 143.140 m³/mês. Cabe ressaltar que estão inclusos nessas medições os consumos de água dos navios docados/atracados.

O consumo de água da Ilha das Cobras envolve usos tais como: necessidades dos funcionários para fins sanitários, cozinha dos ranchos, lavagem de pisos e equipamentos, irrigação, lavagem de viaturas, refrigeração, geração de vapor, alguns processos industriais que geram efluentes que são controlados e recolhidos por empresas terceirizadas e até processo industrial cujo efluente é lançado no mar como o de hidrojateamento (limpeza de casco de embarcações), que apresenta um consumo elevado de água (aproximadamente 20 a 25 L/min.), sendo o mesmo esporádico e sua quantificação variável em função das atividades da indústria.

Dando ênfase ao objeto deste estudo de caso, vamos nos ater a um projeto para aproveitamento da água de chuva para uma nova edificação (edifício 71) a ser construída nesse complexo naval, cujo propósito é o de alojar a tripulação de navios quando docados, estimando-se uma população de cerca de 300 pessoas.

Para a definição do objetivo a ser alcançado, foi realizado um levantamento das áreas da indústria com potencial para instalação de sistemas de coleta e armazenamento da água de chuva, tendo sido consideradas as seguintes atividades:

- pesquisa junto ao setor de projetos de instalações da indústria visando à disponibilização de desenhos e plantas de localização das edificações;
- verificação do arquivo de imagens da indústria.

5.2 Manutenção do sistema de aproveitamento da água de chuva

Segundo a ABNT NBR 15527, deve-se realizar manutenção em todo o sistema de aproveitamento de água de chuva de acordo com a **tabela 27**.

Tabela 27 - 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

Caso se utilize na área de captação produtos potencialmente nocivos à saúde humana, o sistema deve ser desconectado, impedindo dessa forma a entrada desses produtos no reservatório de água de chuva. E, somente após a lavagem adequada, deve ser feita a reconexão do sistema, quando não houver mais risco de contaminação pelos produtos utilizados.

5.3 Parâmetros para o estudo da viabilidade econômica de um sistema de aproveitamento da água de chuva

Para o nosso estudo de caso, deve-se analisar a viabilidade econômica de um sistema de coleta e aproveitamento da água de chuva, considerando dados reais de precipitação, área de coleta, demanda e custos com a instalação, operação e manutenção do sistema.

Após a verificação do potencial de economia de água potável, deve-se verificar os custos para a implantação e operação do sistema e analisar sua viabilidade econômica. Os custos de implantação e operação do sistema de aproveitamento da água de chuva resumem-se basicamente em custos com materiais e equipamentos, custos de energia elétrica devido ao bombeamento de água para o reservatório e custos com mão-de-obra.

Deste modo, deve-se apresentar uma planilha de custos contendo itens de materiais e equipamentos, além da mão-de-obra necessária à implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva. Essa planilha deve ser elaborada através de uma pesquisa de preço de mercado utilizando-se, para este estudo, o *software* Volare para orçamento de obras da PINI Sistemas Ltda.

O sistema Volare elabora orçamentos com base nas composições de custo do TCPO - Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (Editora PINI) associado a composições de custos do EMOP – Empresa de Obras Públicas do Rio de Janeiro (Autarquia do Governo do Estado), ambos utilizados em orçamentos para obras públicas. Os insumos são atualizados via Internet pelo serviço PINI de cotação de preços de insumos para a construção civil. O serviço PINI de cotação de preços pesquisa mensalmente a variação dos preços de insumos de construção civil em 20 importantes cidades do Brasil e disponibiliza um arquivo eletrônico para atualizar os preços contidos no sistema. No orçamento em questão foi utilizada a pesquisa de preços da cidade do Rio de Janeiro.

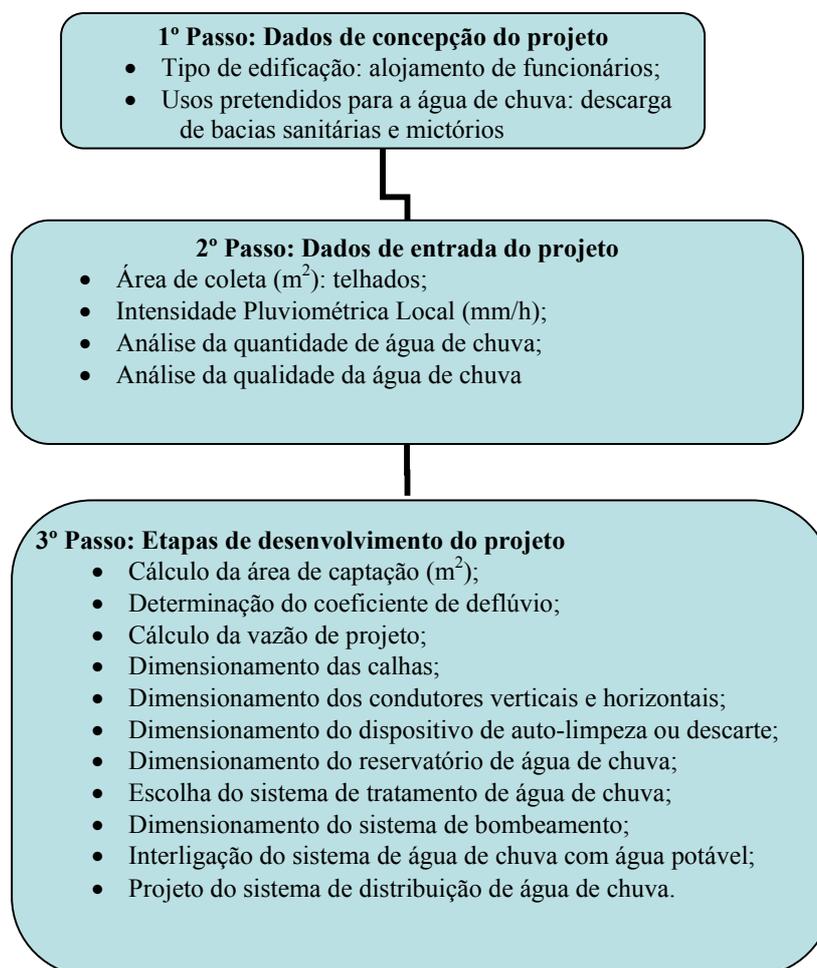
Os materiais e equipamentos utilizados para compor a planilha de custos devem ser escolhidos em função da maior facilidade e acessibilidade dos interessados, visando à instalação de produtos de boa qualidade, reduzindo assim o custo da mão-de-obra e facilitando a manutenção do sistema.

Muito embora nas edificações vizinhas à que será construída (edifício 71) já existam calhas e condutores verticais e horizontais para a drenagem da água de chuva, esses itens foram incluídos na estimativa de custo de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva, considerando-se que os referidos materiais poderão ser substituídos para atender as necessidades do estudo de caso.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No fluxograma 2 da **figura 42** é apresentada a sequência de desenvolvimento de um projeto de sistema de aproveitamento de água de chuva baseado nas considerações do arcabouço teórico-conceitual, referências bibliográficas e metodologia aplicada em um estudo de caso. A seguir, são descritos os passos para implementação do desenvolvimento do projeto.

Figura 42 - Metodologia de projeto para sistema de aproveitamento de água de chuva



Para alcançar os objetivos pretendidos com este estudo, após a estruturação da metodologia para o desenvolvimento de um projeto de sistema de aproveitamento de água de chuva, foram então coletadas e selecionadas amostras de água de chuva, visando à análise qualitativa dessas águas, fins verificação de fatores como poluição, contaminação por fezes de animais, folhas, etc.

6.1 Apresentação e caracterização das amostras

A seguir são apresentadas as principais características da amostra coletada, indicando ainda os horários das coletas enviadas para análise.

Para a análise dos parâmetros qualitativos das águas de chuva, foram realizadas coletas da amostra de água, pelo técnico de uma empresa especializada, no telhado de uma das edificações (Edifício 35B) que contribuirão como áreas de coleta, para a concepção do sistema de aproveitamento de água de chuva.

Estas coletas ocorreram no dia 01/06/2010, com início às 11:15h, sendo encaminhadas para análise em laboratório, com chegada da amostra às 14:45h do mesmo dia, visando à possibilidade de utilização dessas águas.

As análises físico-químicas e microbiológicas das águas foram realizadas no laboratório da empresa TECMA Tecnologia em Meio Ambiente, e os parâmetros analisados, de acordo com o item 4.5 da NBR 15527, foram:

- Coliformes totais;
- Coliformes termotolerantes;
- Cloro residual livre;
- Turbidez;
- Cor aparente; e
- pH

Cabe ressaltar que os ensaios de temperatura da amostra e temperatura do ar foram realizados em campo, no momento da coleta, e os demais no laboratório da empresa.

Registro dos equipamentos utilizados:

- Medidor de Cloro: LAB 448;
- pHmetro: LAB 264.

Procedimentos de referência:

- Método de Coleta e Preservação de Amostras: SM 1060;
- Instrução de Trabalho: IT.098 referente à amostragem de Águas Naturais - Águas Subterrâneas de Abril/2010 Rev. 00;
- Tipo de Amostragem: Simples;
- Condições Ambientais: tempo: chuvoso, chuvas intensas.

Na **tabela 28** são apresentados os resultados dos ensaios físico-químicos.

Tabela 28 - Resultados de Ensaio Físico-Químicos

Parâmetros	Data de início	Ponto de coleta
Alcalinidade Total, mg/L de Ca-CO ₃	02/06/10	7
Cloro Residual Livre, mg/L Cl	01/06/10	< 0,1
Cor Aparente, mg Pt/L	01/06/10	13
Demanda de Cloro, mg/ L	10/06/10	1,5
Dureza Total, mg/L de CaCO ₃	10/06/10	< 5
pH da amostra, a 25°C	01/06/10	7,44
pH do ensaio de cor, a 25 °C	02/06/10	7,40
Resíduo filtrável total a 180°C, mg/L	04/06/10	97
Temperatura da Amostra, °C	01/06/10	20,7
Turbidez, uT	15/06/10	2,3

Fonte: Resultado de Ensaio nº 908/2010 da Tecma.

Na **tabela 29** são apresentados os resultados dos ensaios microbiológicos.

Tabela 29- Resultados de Ensaio Microbiológicos

Resultados de Ensaio Microbiológicos		
Parâmetros	Data de início	Ponto de coleta
Coliformes Totais (P-A/100mL)	01/06/10	Presença
Coliformes Termo-tolerantes (NMP/100mL)	01/06/10	Presença

Fonte: Resultado de Ensaio nº 908A/2010 da Tecma

Ressalte-se que para a coleta de microbiologia a tubulação foi limpa com álcool, porém apresentava bastante lodo.

6.2 Resultados da aplicação da metodologia proposta para o estudo

A seguir será exposto o resultado da aplicação da metodologia para um projeto de sistema de aproveitamento de água de chuva para atender a uma edificação a ser construída nas instalações de uma indústria de reparo e construção naval, detalhando-se as seguintes etapas: dados de concepção do sistema; dados de entrada do projeto e desenvolvimento do projeto.

a) Dados de concepção do projeto:

a1) Nome e tipo da edificação:

O Edifício 71 será construído para fins de alojamento de funcionários, com um total de 3 pavimentos;

a2) Usos pretendidos para a água de chuva:

- Descarga de bacias sanitárias e mictórios.

b) Dados de entrada do projeto:

b1) Área de coleta:

- A área de coleta considerada para captação das águas de chuva será somente de telhados.

b2) Índices Pluviométricos Locais (mm/h):

Como o estudo foi desenvolvido numa indústria de reparo e construção naval, localizada na Ilha das Cobras, no Centro da cidade do Rio de Janeiro, foram considerados os dados de precipitação referentes aos índices pluviométricos mensais (em mm) dos últimos dez anos (2000 a 2009) do bairro da Saúde (Centro-RJ), fornecidos pelo ALERTA-RIO, conforme a **tabela 30** a seguir. Uma vez conhecidos os valores médios mensais dos últimos dez anos, pôde-se calcular a média mensal de **97 mm/h**.

Tabela 30 - Dados de precipitação do bairro da Saúde (Centro do RJ)
entre 2000 e 2009 (em mm)

Mês/Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Média
JAN	150,6	43,0	59,0	258,8	120,8	189,6	242,8	101,2	115,2	221,8	150
FEV	168,9	45,8	130,2	118,0	140,6	162,4	104,0	108,8	123,0	79,6	118
MAR	110,2	100,2	42,2	235,2	68,4	133,0	63,8	115,5	175,0	115,0	116
ABR	24,4	28,0	78,6	99,8	87,4	122,2	105,4	48,6	108,8	81,2	78
MAI	34,6	89,2	98,6	45,0	42,0	66,4	90,4	97,0	42,0	48,6	65
JUN	43,4	57,0	25,4	31,0	22,2	50,0	64,8	42,4	42,4	55,8	43
JUL	70,3	52,8	19,4	17,6	153,4	61,0	27,0	38,8	36,2	62,0	54
AGO	50,6	42,7	19,0	137,4	13,2	7,0	25,2	38,4	46,2	25,8	41
SET	88,6	43,6	80,0	81,4	14,6	134,0	80,4	10,4	99,2	75,8	71
OUT	72,8	68,8	26,6	166,0	64,0	89,8	108,4	202,4	61,0	162,8	102
NOV	78,6	134,0	172,2	207,8	155,0	147,4	177,8	125,8	193,2	115,6	151
DEZ	114,0	321,2	242,8	94,6	132,8	174,0	63,0	178,2	113,4	308,8	174
Total	1007	1026	994	1493	1014	1337	1153	1108	1156	1353	1163

Fonte: ALERTA-RIO

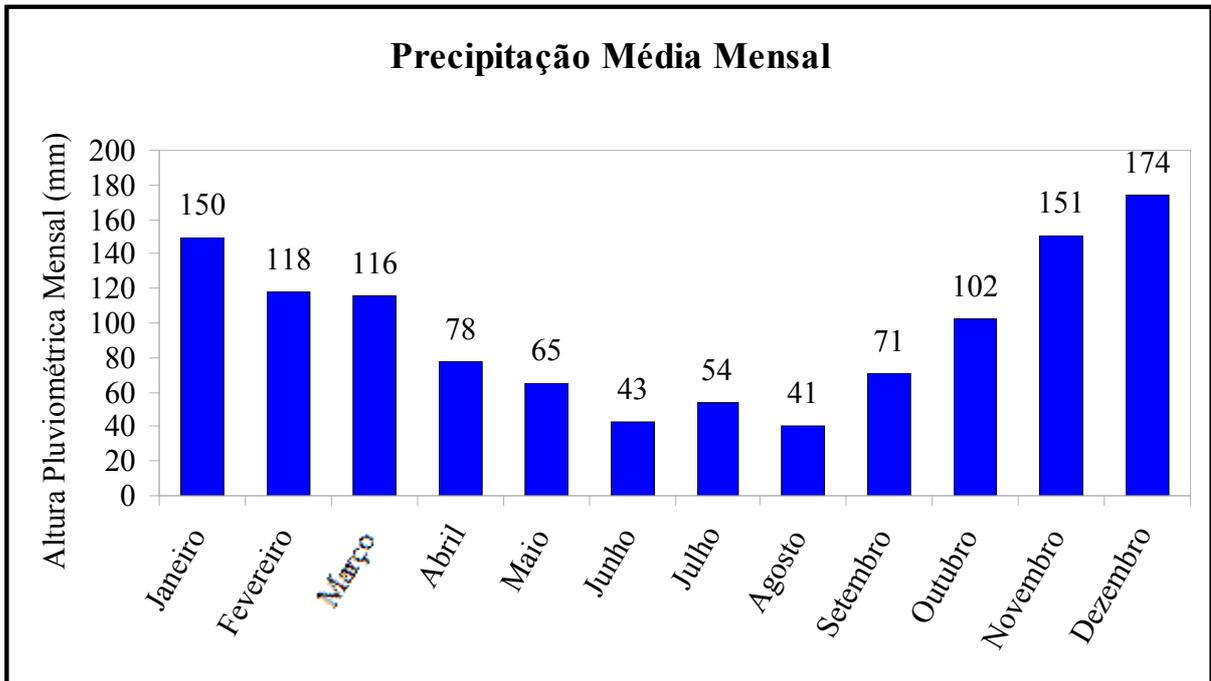


Figura 43 - Gráfico do índice pluviométrico médio mensal entre 2000 e 2009 do bairro da Saúde (Centro-RJ)

b3) Cálculo da demanda mensal (m^3):

- quantidade de funcionários: 300, sendo 210 homens e 90 mulheres;
- consumo diário (bacia sanitária): considerando-se um volume de descarga de 9L/descarga/pessoa e uma frequência de 1 vez/homens e 4 vezes/mulheres, então tem-se:

$$\text{Homens: } 210 \times 1 \times 9 = 1.890\text{L/dia;}$$

$$\text{Mulheres: } 90 \times 4 \times 9 = 3.240\text{L/dia;}$$

$$\text{Total} = 5.130\text{L/dia}$$

- consumo mensal: $5130\text{L} \times 22 \text{ dias} = 11.2860\text{L/mês}$ ou $112 \text{ m}^3/\text{mês}$, considerando-se 22 dias úteis no mês.

Além disso, considerando-se um consumo previsto de $30\text{m}^3/\text{mês}$ referente aos mictórios, teremos então uma demanda mensal de **142 m^3** .

b4) Análise da qualidade da água de chuva

Com base nos resultados apresentados na **tabela 29**, pode-se concluir que a amostra apresentou contaminação por coliformes termotolerantes e totais, não atendendo os padrões estabelecidos pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde e da NBR 15527 de 2007 – Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

A presença de bactérias na água de chuva indica que essa água deve ser tratada antes de ser utilizada. A desinfecção da água de chuva pode ser realizada através de métodos simples, desde que esse processo seja feito de forma segura e que não inviabilize economicamente o sistema.

c) Desenvolvimento do projeto

c1) Cálculo da área de captação da água de chuva (m²):

Conforme mencionado no item b1), a área de coleta a ser considerada para captação das águas de chuva será somente de telhados. Seguindo-se as recomendações preconizadas pela NBR 10844/89, foi considerada no cálculo a inclinação dos telhados e utilizada a formulação específica para o caso.

Foi considerada uma área total de telhado de 3609m², sendo 482m² referentes ao edifício 71 (a ser construído) e 3127 m² referentes aos edifícios 3, 35B e 74 (edificações vizinhas pertencentes a mesma indústria). Cabe ressaltar que houve a necessidade de inclusão das áreas de telhado desses edifícios tendo em vista que somente a área de telhado da nova edificação (edifício 71), de acordo com um cálculo preliminar do volume do reservatório, não seria suficiente para atender a demanda, inviabilizando dessa forma o projeto.

As áreas a serem consideradas são mostradas na planta de situação (**figura 44**) a seguir.

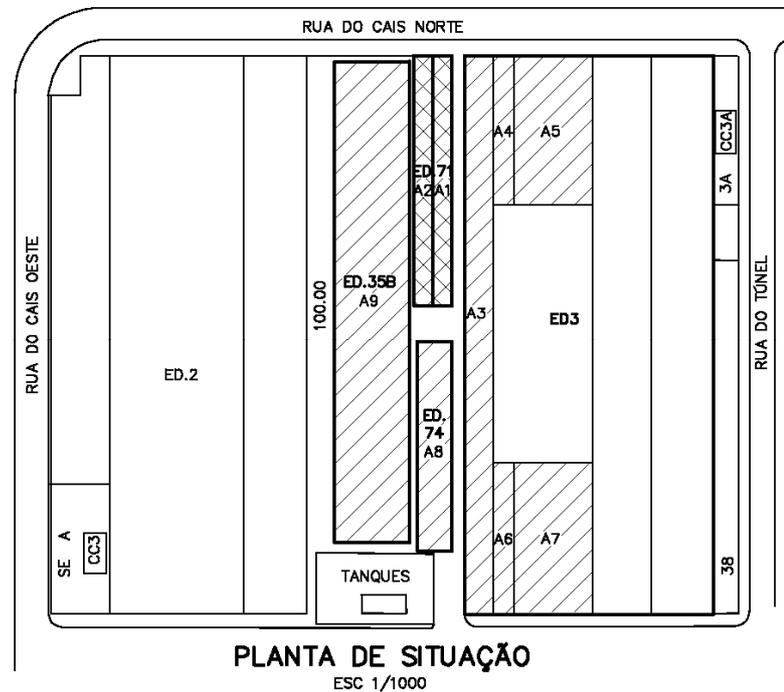


Figura 44 - Planta de Situação com a localização dos telhados dos edifícios 3, 35B, 71 e 74

A captação foi dividida em áreas de coleta conforme o número de calhas constante nos desenhos dos telhados, resultando em nove áreas de coleta cujos valores são os seguintes:

Área de coleta 1 (A1): 241,00 m²

Área de coleta 2 (A2): 241,00 m²

Área de coleta 3 (A3): 825,00 m²

Área de coleta 4 (A4): 106,00 m²

Área de coleta 5 (A5): 248,00 m²

Área de coleta 6 (A6): 106,00 m²

Área de coleta 7 (A7): 248,00 m²

Área de coleta 8 (A8): 294,00 m²

Área de coleta 9 (A9): 1300,00 m²

Área total de coleta: 3609,00 m²

c2) Determinação do coeficiente de deflúvio ou coeficiente de Runoff (C):

Segundo a ABNT NBR 15527, este coeficiente representa a relação entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado, variando conforme a superfície. Se consi-

derarmos ainda a eficiência do sistema de captação (η), levando em conta o descarte do first flush, podemos adotar como valor prático $C \times \eta = 0,8$, de acordo com os dados da **tabela 15** (item 5.2), sendo este o valor adotado no cálculo do volume de água a ser armazenada.

c3) Cálculo da vazão de projeto da água de chuva:

Ressalta-se que para o cálculo da vazão de projeto adotou-se o valor de coeficiente de deflúvio igual a **1**, ou seja, toda a água que precipitar sobre os telhados irá escoar pelas calhas e demais componentes do sistema de coleta de água de chuva, em conformidade com a **equação 2** do item 3.1.1.3.

- Vazão de projeto para A1:

i =	97 mm/h
A =	$241,00 \div 4 = 60,25 \text{ m}^2$
Q _p =	390 L/min

Obs: A área de coleta foi dividida por quatro porque a vazão desta parte do telhado será escoada por quatro condutores verticais. O mesmo raciocínio será utilizado para o cálculo das demais áreas a seguir

- Vazão de projeto para A2:

i =	97 mm/h
A =	$241,00 \div 4 = 60,25 \text{ m}^2$
Q _p =	390 L/min

- Vazão de projeto para A3:

i =	97 mm/h
A =	$825,00 \div 8 = 103,13 \text{ m}^2$
Q _p =	167 L/min

- Vazão de projeto para A4 e A5:

i =	97 mm/h
A =	$354,00 \div 3 = 118,00 \text{ m}^2$
Q _p =	191 L/min

- Vazão de projeto para A6 e A7:

i =	97 mm/h
A =	$354,00 \div 3 = 118,00 \text{ m}^2$
Q _p =	191 L/min

- Vazão de projeto para A8:

i =	97 mm/h
A =	$294,00 \div 4 = 73,50 \text{ m}^2$
Q _p =	119 L/min

- Vazão de projeto para A9:

i =	97 mm/h
A =	$1300,00 \div 5 = 260,00 \text{ m}^2$
Q _p =	420 L/min

c4) Dimensionamento das calhas:

As calhas são calculadas de acordo com a **equação 4** do item 5.2.

- Áreas de coleta A1 e A2: calha de 30 x 20cm

De acordo com a **tabela 11** do item 5.2, considerando-se para uma nova construção:

- calha de seção retangular;
- material da calha: concreto alisado;
- declividade da calha: 0,5%; e
- calha trabalhando a ½ seção.

Então, as dimensões da calha para escoar essa vazão são:

a =	0,30 m (largura)
b =	0,20 m (altura)
Q _{calha}	1626 L/min

Pode-se comprovar esses dados aplicando-se a **equação 4**:

K =	60000
S =	$0,30 \times 0,20 \div 2 = 0,03$
n =	0,012
R _H =	$0,10 + 0,30 + 0,10 =$

S/P P =	0,50
d =	0,5% = 0,005
Q_{calha} =	1626 L/min

$Q_{calha} > Q_p$ (390 L/min), portanto atende às especificações do projeto.

Caso se deseje escoar essa vazão por meio de calha semicircular (lâmina d'água igual a $\frac{1}{2}$ do diâmetro interno), de acordo com a **tabela 12** do item 5.2:

Q =	390 L/min
D =	200 mm

Área de coleta A3: calha de 20 x 10cm

K =	60000
S =	0,20 x 0,10 = 0,02
n =	0,011
$R_H = S/P \text{ ---- } P =$	0,10 + 0,20 + 0,10 = 0,40
d =	0,5% = 0,005
Q_{calha} =	1051 L/min

$Q_{calha} > Q_p$ (167 L/min), portanto atende às especificações do projeto.

Áreas de coleta A4 e A5: calha de 20 x 10cm

K =	60000
S =	0,20 x 0,10 = 0,02
n =	0,011
$R_H = S/P \text{ ---- } P =$	0,10 + 0,20 + 0,10 = 0,40
d =	0,5% = 0,005
Q_{calha} =	1051 L/min

$Q_{calha} > Q_p$ (191 L/min), portanto atende às especificações do projeto.

Áreas de coleta A6 e A7: calha de 20 x 10cm

K =	60000
S =	0,20 x 0,10 = 0,02
n =	0,011
$R_H = S/P$ ---- P =	0,10 + 0,20 + 0,10 = 0,40
d =	0,5% = 0,005
Q_{calha} =	1051 L/min

$Q_{calha} > Q_p$ (191 L/min), portanto atende às especificações do projeto.

Área de coleta A8: calha de 10 x 5cm

K =	60000
S =	0,20 x 0,10 = 0,02
n =	0,011
$R_H = S/P$ ---- P =	0,05 + 0,10 + 0,05 = 0,20
d =	0,5% = 0,005
Q_{calha} =	165 L/min

$Q_{calha} > Q_p$ (119 L/min), portanto atende às especificações do projeto.

Área de coleta A9: calha de 20 x 10cm

K =	60000
S =	0,20 x 0,10 = 0,02
n =	0,011
$R_H = S/P$ ---- P =	0,10 + 0,20 + 0,10 = 0,40
d =	0,5% = 0,005
Q_{calha} =	1051 L/min

$Q_{calha} > Q_p$ (420 L/min), portanto atende às especificações do projeto.

c5) Dimensionamento dos condutores verticais:

O diâmetro dos condutores verticais será determinado através dos ábacos das figuras 24 e 25 do item 5.2, a partir dos dados de vazão do projeto (Q_p), altura da lâmina de água na calha (H) e do comprimento do condutor vertical (L).

Áreas A1 e A2 (Edifício 71):

$Q_p =$	390 L/min
$H =$	100 mm
$L =$	10,20 m
$D =$	100 mm

Estipulando-se uma taxa de ocupação (T_o) de 30% da área da seção transversal do condutor vertical, de acordo com a **tabela 13** do item 5.2, então:

Para $Q_p = 390$ L/min e $T_o = 30\%$, tem-se **$D = 100$ mm**, portanto em conformidade com o valor encontrado.

Área A3 (Edifício 3 – Ala lateral):

$Q_p =$	167 L/min
$H =$	50 mm
$L =$	9,90 m
$D =$	75 mm

Áreas A4, A5, A6 e A7 (Edifício 3 – Ala lateral e ala central):

$Q_p =$	191 L/min
$H =$	50 mm
$L =$	9,90 m
$D =$	75 mm

Área A8 (Edifício 74):

$Q_p =$	119 L/min
$H =$	25 mm
$L =$	5,60 m
$D =$	75 mm

Nos casos das áreas A3 a A8, foi considerado o diâmetro mínimo de **75 mm**, pelo fato da menor vazão para aplicação dos ábacos ser de 200 L/min.

Área A9 (Edifício 35B):

Q_p	420 L/min
$H =$	50 mm
$L =$	3,40 m
$D =$	60 mm

Neste caso, de acordo com a tabela 19 do item 5.2, deverá ser considerado o diâmetro de **100 mm**.

c6) Dimensionamento dos condutores horizontais:

Cabe ressaltar que foi adotado um único diâmetro para todos os trechos do condutor horizontal de uma mesma área, ou seja, foi considerada apenas a vazão total de saída de cada área e aplicada a tabela 24 do item 3.6.

Áreas A1 e A2 (Edifício 71):

$Q_p =$	390L/min x 4 = 1560 L/min
$n =$	0,011
$d =$	1,0 %
$D =$	200 mm

Área A3 (Edifício 3 – Ala lateral):

$Q_p =$	167 L/min x 8 = 1336 L/min
$n =$	0,011
$d =$	1,0 %
$D =$	200 mm

Áreas A4/A5 e A6/A7 (Edifício 3 – Ala lateral e ala central):

$Q_p =$	191 L/min x 3 = 573 L/min
$n =$	0,011
$d =$	1,0 %
D =	150 mm

Área A8 (Edifício 74):

$Q_p =$	119 L/min x 4 = 476 L/min
$n =$	0,011
$d =$	1,0 %
D =	125 mm

Área A9 (Edifício 35B)

$Q_p =$	420 L/min x 5 = 2100 L/min
$n =$	0,011
$d =$	1,0 %
D =	250 mm

c7) Dimensionamento do dispositivo de auto-limpeza ou descarte:

Para o cálculo do volume do reservatório de descarte, pode-se utilizar a relação de 1 litro de água/ m² de área de coleta, tendo como resultado:

$$1 \text{ L} \text{ ----- } 1 \text{ m}^2$$

$$x \text{ L} \text{ ----- } 3609 \text{ m}^2, \text{ onde o volume do reservatório de descarte é de } \mathbf{3.609 \text{ litros.}}$$

c8) Dimensionamento do reservatório de água de chuva:

Para o cálculo do volume do reservatório de água de chuva foi aplicado o método analítico de Rippl para demanda constante, em conformidade com a **tabela 24** do item 5.5.1.

Tabela 31 - Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl para demanda constante de $142 \text{ m}^3/\text{mês}$, sendo utilizadas as chuvas médias mensais para uma área total de coleta de água de chuva de 3609 m^2

Me ses	Chuva média mensal	De- man- da men- sal	Volu- me acu- mula- do	Área de cole- ta	Coef. de <i>ru- noff</i>	Vo- lume de chu- va men- sal	Volu- me acu- mula- do	Vo- lume de chuva - de- man- da	Volume do reser- vatório de água de chuva
	(mm)	(m^3)	(m^3)	(m^2)		(m^3)	(m^3)	(m^3)	(m^3)
Jan	150	142	142	3609	0,8	433	433	291	
Fev	118	142	284	3609	0,8	341	774	199	
Mar	116	142	426	3609	0,8	335	1109	193	
Abr	78	142	568	3609	0,8	225	1334	83	
Mai	65	142	710	3609	0,8	188	1522	46	
Jun	43	142	852	3609	0,8	124	1646	- 18	18
Jul	54	142	994	3609	0,8	156	1802	14	4
Ago	41	142	1136	3609	0,8	118	1920	- 24	28
Set	71	142	1278	3609	0,8	205	2125	63	
Out	102	142	1420	3609	0,8	295	2420	153	
Nov	151	142	1562	3609	0,8	436	2856	294	
Dez	174	142	1704	3609	0,8	502	3358	360	

O volume máximo obtido pelo método de Rippl é de 28 m^3 . Portanto, o reservatório para regularizar a demanda constante de $142 \text{ m}^3/\text{mês}$ deverá ter **28 m^3** de capacidade.

Supondo-se que inicialmente o reservatório está cheio, de acordo com a **tabela 31** deduz-se que nos meses de janeiro a maio a água está escoando pelo extravasor. Já nos meses de junho, julho e agosto, o nível de água do reservatório está baixando, e a partir de setembro o volume de água passa a extravasar novamente.

O volume do reservatório de 28m^3 corresponde a um suprimento de **6 dias** de seca.

Cabe ressaltar que geralmente o método de Rippl fornece valores muito elevados para os reservatórios, sendo que na prática o método mais usado é o da simulação, que se faz por tentativas. Na **tabela 32** a seguir utilizaremos esse método de verificação.

Tabela 32 - Verificação do volume do reservatório de água de chuva: 28 m^3

Me- ses	Chuva média men- sal	De- man- da men- sal	Á- rea de cole- ta	Volume de chu- va (C = 0,80)	Volume do re- servató- rio fixa- do	Volume do re- servató- rio (t - 1)	Volume do re- servató- rio (t)	Over- flow	Supri- mento de água externo
	(mm)	(m^3)	(m^3)	(m^3)	(m^2)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	(m^3)
Jan	150	142	3609	433	28	0	28	263	0
Fev	118	142	3609	341	28	28	28	199	0
Mar	116	142	3609	335	28	28	28	193	0
Abr	78	142	3609	225	28	28	28	83	0
Mai	65	142	3609	188	28	28	28	46	0
Jun	43	142	3609	124	28	28	10	0	0
Jul	54	142	3609	156	28	10	24	0	0
Ago	41	142	3609	118	28	24	0	0	0
Set	71	142	3609	205	28	0	28	35	0
Out	102	142	3609	295	28	28	28	153	0
Nov	151	142	3609	436	28	28	28	294	0
Dez	174	142	3609	502	28	28	28	360	0
To- tal	1163	1704		3358				1626	0

No processo de verificação foi fornecido o volume de 28m^3 e a chuva média mensal adotada. Durante o ano verificamos que haverá overflow de 1626m^3 e que não será necessária água de outra fonte para suprir o reservatório. O volume de água de chuva considerando o coeficiente de *runoff* de 0,80 será de $3358\text{ m}^3/\text{ano}$, portanto, maior que a demanda anual de 1704 m^3 .

Após o dimensionamento do reservatório, cujo volume de 28m^3 podemos aproximar para 30m^3 por razões comerciais, o mesmo é distribuído entre reservatório inferior (60% do volume total) e reservatório superior (40% do volume total), da seguinte forma:

Reservatório inferior = 20.000 litros

Reservatório superior = 10.000 litros

c9) Escolha do sistema de tratamento da água de chuva:

Em razão dos resultados apresentados nas tabelas 24 e 25, o sistema proposto para o tratamento das águas de chuva é um sistema composto por um filtro de areia, acompanhado de um dispositivo separador de folhas e galhos. Após o sistema de filtragem, recomenda-se um sistema de desinfecção simples, como um dosador de cloro.

A desinfecção é recomendada porque a água será conduzida para o interior da edificação para uso em bacias sanitárias e mictórios, o que aumenta muito o risco de uma possível contaminação.

c10) Dimensionamento do sistema de bombeamento:

Para o cálculo do sistema de bombeamento, foram observadas as recomendações constantes do item 5.5 do Capítulo 5, e apresentados os resultados conforme a seguir.

Vazão de recalque:

$$Q_{rec} = CD / NF$$

$CD =$ consumo diário de água não potável (m^3 / dia)	$7 \text{ m}^3 / \text{dia}$
$NF =$ número de horas de funcionamento	5 horas (dado prático)
$Q_{rec} =$ vazão (m^3 / h)	$1,4 \text{ m}^3 / \text{h} \Rightarrow \mathbf{0,00038 \text{ m}^3 / \text{s}}$

Dimensionamento do diâmetro de recalque:

$$D_{rec} = 1,3 \times Q_{rec}^{1/2} \times X^{1/4}$$

$Q_{rec} =$ vazão de recalque (m^3 / s)	0,00038
$X = NF / 24$	5
$D_{rec} =$ Diâmetro de recalque (m)	$0,017\text{m}$ ou $17\text{mm} \Rightarrow \mathbf{20\text{mm}}$

Dimensionamento do diâmetro da sucção:

Adotando-se para o diâmetro da sucção um valor imediatamente superior ao dimensionado e estabelecido para o recalque, então:

D_{rec} = Diâmetro de recalque	20 mm
D_{suc} = Diâmetro da sucção	25 mm

Cálculo da altura manométrica:

$$H_{man} = H_{man\ suc} + H_{man\ rec}$$

Altura manométrica da sucção:

H_{suc} – altura estática da sucção		1,30 mca
Comprimento real do encanamento 1”	2,80 m	
Comprimentos equivalentes da sucção	14,80 m	
Perda de carga na sucção		0,35 mca
Altura representativa da velocidade		0,02 mca
$H_{man\ suc}$		1,67 mca

Altura manométrica do recalque

H_{rec} – altura estática do recalque		11,00 mca
Comprimento real do encanamento 3/4”	12,00 m	
Comprimentos equivalentes do recalque	1,50 m	
Perda de carga no recalque		0,95 mca
$H_{man\ rec}$		11,95 mca

Portanto, a altura manométrica $H_{man} = 13,62\text{ m}$

Cálculo da potência motriz (N)

Arbitrando-se o valor de 50% para o rendimento, a potência do motor que acionará a bomba será:

$$N = \frac{1.000 \times Q \times H_{man}}{75 \times \eta}$$

Q_{rec} = vazão de recalque (m ³ /s)	0,00038
H_{man} = altura manométrica (m)	13,62
η = rendimento	0,5
N = potência motriz (cv)	0,14

Por razões comerciais, o conjunto motor-bomba a ser adotado em atendimento aos valores calculados terá as seguintes especificações:

- Conjunto motor-bomba centrífuga de 0,5 cv, 3500 rpm, tensão nominal de 220V, frequência de 60Hz, diâmetro do rotor de 100 mm, diâmetro da sucção de 1 ½” e diâmetro do recalque de 1”, conforme modelo GF 25-12 do catálogo da GLASS.

c11) Abastecimento do sistema de água de chuva com água potável:

Conforme apresentado na figura 40 do item 5.8, será realizado um suprimento de segurança alternativo para o sistema de água de chuva através do abastecimento de água potável proveniente do reservatório superior, interligando-o com o reservatório inferior de água de chuva. Isto ocorrerá através de um sensor de nível (bóias de controle de níveis de água) que acionará a entrada de água potável do reservatório superior para o reservatório inferior de água de chuva.

c12) Projeto do sistema de distribuição de água de chuva do Edifício 71:

No anexo A é apresentado o projeto de distribuição da água de chuva do Edifício 71.

c13) Análise da viabilidade econômica para implantação do sistema de aproveitamento da água de chuva:

Para o embasamento do estudo da viabilidade econômica de instalação deste sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva, foi considerada uma área total de captação (telhado) de 3609,00 m², levando-se em conta além da área do edifício 71 (482,00 m²) outras contribuições de áreas vizinhas a essa edificação (3127,00 m²).

Além disso, foi adotado o valor de demanda de 142 m³/mês e o índice pluviométrico médio mensal de 97mm/h, relativo aos últimos dez anos (2000 a 2009).

Nos custos dos materiais planilhados foram considerados também os custos de mão-de-obra da instalação.

No custeio de operação e manutenção, foram considerados os custos da mão-de-obra e acessórios referentes a reparos do sistema, além do consumo de energia elétrica do bombeamento, adotando-se para tal o percentual de 20% sobre o total dos custos dos materiais planilhados.

Na **tabela 33**, é apresentada a planilha de custo de implantação do sistema de coleta e aproveitamento da água de chuva.

Tabela 33 - Custo de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva

Especificação	Quantidade	Preços(R\$)
Reservatório Glassmar de fibra com tampa de 20000 L	1 (un)	19.000,00
Reservatório Glassmar de fibra com tampa de 10000 L	1 (un)	9.500,00
Calha de seção retangular de concreto alisado de 0,30 x 0,20 m	112 m	8.137,92
Calha semicircular Aquapluv-Beiral de 20 x 10 cm	298 m	4.648,80
Calha semicircular Aquapluv-Beiral de 10 x 5 cm	42 m	798,00
Tubo de PVC rígido de 250 mm	115 m	14.835,00
Tubo de PVC rígido de 200 mm	210 m	24.360,00
Tubo de PVC rígido de 150 mm	56 m	3.221,68
Tubo de PVC rígido de 100 mm	140 m	4.601,80
Tubo de PVC rígido de 75 mm	241 m	6.697,39
Conjunto motor-bomba centrífuga de 0,5 cv, 3500 rpm, tensão nominal 220V, frequência 60 Hz, modelo GF 25-12 da Glass	1 un	5.200,00
Filtro volumétrico/freio d'água/conjunto aspiração para o reservatório inferior	1 un	980,00
Extravasor sifonado com bitola de 200 mm	1 un	2.500,00
Válvula solenóide	1 un	750,00
Reservatório de auto-limpeza com capacidade de 3,6 m ³	1 un	2.850,00
Conexões e demais acessórios		15.350,00
Mão-de-obra para operação e manutenção do sistema (20%)		24.686,11
	Total:	148.116,70

Considerando-se a demanda das bacias sanitárias e mictórios do edifício 71 (edificação a ser construída) de 142 m³, tem-se uma despesa mensal com consumo de água potável de R\$ 691,54 (referente a abril/2010). No entanto, a partir de maio de 2011, por ocasião da conclusão das obras de interligação da rede de esgoto desta indústria com o tronco coletor da CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgotos da cidade do Rio de Janeiro), este valor dobrará - será incluída a parcela de esgoto, que tem o mesmo valor da água consumida - para **R\$ 1.383,08**, valor este que representa a receita mensal gerada pela economia de água potável com o aproveitamento da água de chuva, considerando-se os valores de tarifas atualmente praticados.

Tarifa de água – Serviço Público Federal	
Custo do consumo de água na faixa de 0 – 15 m ³ = 2,33 R\$/m ³	
Custo do consumo de água na faixa de >15 m ³ = 5,17 R\$/m ³	
Consumo mensal = 142 m ³	
15 x 2,33 = R\$ 34,95	127 x 5,17 = R\$ 656,59
Receita mensal = R\$ 691,54 (em abril/2010)	
Receita mensal = R\$ 1.383,08 (a partir de maio/2011)	
Receita anual = 1.383,08 x 12 = R\$ 16.596,96	

A receita anual gerada pela economia de água potável com o aproveitamento da água de chuva, no valor de R\$ 16.596,96, proporcionará um período de retorno correspondente a oito anos e onze meses.

7 CONCLUSÃO

A água da chuva é uma importante fonte alternativa de suprimento de água para fins não potáveis, pois reduz o consumo de água potável, preservando, dessa forma, esse recurso natural tão essencial para todos. Ela tem potencial para ser utilizada como por exemplo na irrigação, na lavagem de veículos, na lavagem de calçadas e pátios, em bacias sanitárias, em sistemas de refrigeração, em sistemas de combate a incêndio e em outros usos menos nobres da água.

Não havendo a necessidade da utilização da água potável para tais atividades, a coleta e o aproveitamento da água de chuva apresentam como principais benefícios:

- redução do consumo de água potável fornecida pela companhia de saneamento;
- conservação de água;
- redução do risco de enchentes.

Este estudo teve como objetivo o projeto de um sistema de coleta e aproveitamento da água de chuva para uma edificação a ser construída nas instalações de uma indústria de reparo e construção naval, localizada no entorno da Baía de Guanabara, bem como avaliar a viabilidade técnica e econômica dessa instalação. A água de chuva deve ser aproveitada para a descarga de bacias sanitárias e mictórios dessa edificação.

A viabilidade do sistema depende dos seguintes fatores: precipitação, área de coleta e demanda. O prazo de retorno do investimento é indiretamente proporcional a esses fatores, isto é, quanto mais elevados forem esses fatores, menor será o prazo de recuperação do investimento.

Quanto à quantidade de água de chuva, verificou-se ser insuficiente considerar apenas como área de coleta o telhado da edificação a ser construída (edifício 71), e, por essa razão, foram consideradas as áreas dos telhados das edificações vizinhas que pudessem contribuir para o sistema, totalizando uma área de 3609 m² para atender a um consumo mensal estimado em 142 m³.

No que se refere à qualidade da água de chuva coletada, pelos resultados dos ensaios realizados, percebe-se a presença de uma concentração de bactérias, sendo necessário que esta seja submetida a um processo simples de desinfecção, isto é, através da adição de cloro, a fim de que não proporcione riscos à saúde dos seus usuários e não inviabilize economicamente o sistema proposto.

Através da análise da amostra da água de chuva, pode-se constatar que a mesma pode ser utilizada após desinfecção, para consumo não potável, e que o seu uso deve ser estimulado.

Para o dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl, utilizam-se valores médios mensais de intensidade pluviométrica que, por vezes, acarretam o superdimensionamento da sua capacidade, encarecendo, dessa forma, o projeto. Isto ocorre em razão dos valores médios mensais não representarem de forma satisfatória as variações diárias do balanço hídrico. Sendo assim, o ideal é simular, com dados históricos diários, o comportamento do reservatório com diferentes dimensões, observando-se os volumes de extravasamento e de suprimento complementar de água potável. Dessa forma, obedecendo-se a critérios estabelecidos no projeto, é possível adotar o volume final otimizado do reservatório.

A metodologia foi baseada no levantamento bibliográfico e validada através da aplicação em um estudo de caso. Através dela, buscou-se indicar as diretrizes que pudessem nortear o dimensionamento de um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva, descrevendo passo a passo as etapas para implantação do sistema.

Por fim, a viabilidade econômica também é comprovada mediante a economia anual com água potável no valor de R\$ 16.596,96, proporcionando um período de retorno do investimento correspondente a oito anos e onze meses.

REFERÊNCIAS

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *Água de chuva- Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos*, setembro de 2007. NBR 15527/07.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *Instalação predial de água fria*. NBR 5626 de setembro de 1999.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *Instalações prediais de águas pluviais*. NBR 10844 de dezembro de 1989.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público*. NBR 12213 de abril de 1992.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público*. NBR 12214 de abril de 1992.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público*. NBR 12217 de julho de 1994.
- ABREU, M. L. **Ocorrência de Chuva Ácida em Unidades de Conservação da Natureza Urbana – Estudo de Caso no Parque Estadual da Pedra Branca – Rio de Janeiro, RJ**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, 2005.
- ALERTA RIO. Disponível em <http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/dados/acumuladas.asp>. Consultado em 08/03/2010.
- ALVES DA CUNHA, O. A. **Resinas de troca iônica para tratamento de água industrial**. In: CONGRESSO DE UTILIDADES IBP, 5., 1989, São Paulo. Anais... São Paulo: Instituto Brasileiro de Petróleo, 1989.
- AMIRTHARAJAH, A. e O'MELIA, C.R. **Coagulation Processes: Destabilization, Mixing and Flocculation**, Chapter 6, Water Quality and Treatment – A Handbook of Community Water Supplies, American Water Works Association, Edited by Frederick W. Pontius, 4^o edition, McGraw-Hill Inc., 1990, 1194 AMIRTHARAJAH e O'MELIA, 1990p.
- ANGELAKIS, A. N.; BONTOUX, L. Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. Water Policy Journal, Alexandria, v. 3, 2001.
- ANNECCHINI, K. P. V., **Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na Cidade de Vitória (ES)**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFES. 2005.

- AZEVEDO NETTO, J.M. de (et al.), **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água – Volume 2 – Tratamento de Água**, 3ª edição, São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987, 317p.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**, 2ª Edição, Porto Alegre: Bookman, 2002, 622p.
- BELLA CALHA (2008). Obras de referência. Disponível em: <http://www.bellacalha.com.br/acqua.php3?pg=obras>, acesso em 05/09/2010.
- BRAGA, B. et al. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 2ª Edição. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRUNET, Gwen. *Rainwater Harvesting: a Win-win Option*. Austin. Texas State University. 2004. Disponível em < <http://www.arcsa-usa.org> >. Acesso em: 19 de setembro de 2010.
- CARVALHO, J. H. da SILVA, *Dissertação de Mestrado – Conservação de água, tratamento, reúso e reciclo de efluentes em refinaria de petróleo*, 85 f., 2006.
- CENTI, G.; PERATHONER, S. (1999) **Recycle rinse water: problems and opportunities**. *Catalysis Today*, v.53, p.11-21, 1999.
- CLIFFORD, D. A. **Íon exchange and inorganic adsorption**. In: PONTIUS, F.W. (Ed.) **Water quality and treatment – a handbook of community water supplies**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1990.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, Artigo nº 4*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em 15 de maio de 2010. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, ANA, MMA, WWW.ana.gov.br, 2009.
- CONLON, W.J. **Membrane processes**. In: PONTIUS, F.W.(Ed.) *Water quality and treatment – a handbook of community water supplies*. 4. Ed. New York: McGraw-Hill, 1990.
- COSTANZI, R. C.; DANIEL L. (2002). Metodologia para implantação de programas de fechamento de circuito de água no processo industrial. In: *Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*, 3, 2002, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre, 2002. 1 CD-ROM.
- CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**, 6ª Ed., ed. Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 2006.p.271-280.
- CROOK, J. *Water Reclamation and Reuse*, Chapter 21 of *Water Resources Handbook*, Larry W. Mays, McGraw-Hill, 1996. p.21.1 – 21.36.
- DACACH, N. G., **Saneamento básico**. 3 ed. Rio de Janeiro: Didática e Científica. 1990.

DAVIS, M.L.; CORNWELL, D.A. **Introduction to environmental engineering**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1998.

Declaração Universal dos Direitos Humanos (ONU, 1992).

DOW EUROPE SEPARATION SYSTEMS. FILMTEC membranes: technical manual. Rheinmunster, 1993.

DREW. **Princípios de Tratamento de Água Industrial**, (Tradução Thomas J. Buchard; Revisão Técnica Charles R. Lehwing) – São Paulo: DREW Produtos Químicos, 1979, 331p.

DYER, R. Promotion of rainwater catchment in Southern Africa. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 1999, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina: EMBRAPA, 1999. Disponível em <http://www.cpatas.embrapa.br/catalogo/start_inicio.html>. Acesso em: 04/09/2010.

EMBRAPA, **Seminário: Planejamento, Construção e Operação de Cisternas para Armazenamento da Água da Chuva**. Universidade de Concórdia, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Regional de Concórdia. Concórdia, 2005.

Encyclopedia of the Atmospheric Environment, 21/11/2003, <http://www.doc.mmu.ac.uk/aric/eae/english.html>, 2003

FERREIRA FILHO, S. S.; SOBRINHO, P. A. Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. ABES – Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 3, n. ¾, jul-dez. 1998, p. 128-136.

FIESP/CIESP, Manual de Conservação e Reúso de Água para a Indústria, ANA, MMA, 2005.

FIORI, S. *Avaliação Qualitativa e Quantitativa do Potencial de Reuso de Água Cinza em Edificações*. 2005. Dissertação - Mestrado em Engenharia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

FLUES, M., HAMA, P., LEMES, M.J.L., DANTAS, E.S.K., FORNARO, A., 2002. Evaluation of the rainwater acidity of a rural region due to a coal-fired power plant in Brazil. *Atmospheric Environment*, 36, 2397-2404.

FORNARO, A., GUTZ, I., Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo metropolis, Brazil: Part 2 – contribution of formic and acetic acids. *Atmospheric Environment*, 37, 117-128. 2003.

FENDRICH, R., OLIYNIK, R., **Manual de Utilização das Águas Pluviais – 100 Maneiras Práticas** / Roberto Fendrich, Rogério Oliynik. 1ª Ed. – Curitiba: Livraria do Chain Editora, 2002. (Tradução do original Rainwater & You 100 Ways to Use Rainwater, 1995).

GARDUÑO, M. A. (1977). Technology and desertification. In: Desertification: its causes and consequences. Pergamon Press. Oxford, England. Pag 319-448.

GARDUÑO, M. A. (1998). Sistemas de Captación de Agua de Lluvia en América Latina y el Caribe: Base para el Desarrollo Sostenible. Manual Técnico. IICA. México, D.F. 96 pags.

GERSTON, J. **Rainwater harvesting: a new water source**, Texas Water Savers, V.3, Número 2, 1997.

GIORDANO, G. Tratamento de Efluentes Industriais, Apostila do autor, Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), p. 15-19, 2008.

GNADLINGER, João. *Colheita de água de chuva em áreas rurais*. Haia. 2000. Disponível em < <http://www.abcmac.com.br>. Acesso em 04 de setembro de 2010.

GNADLINGER, João. *Impressões e lições da Oficina Internacional de Captação e Manejo de Água de Chuva*. Oficina Internacional de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2004, Landzou. Anais...Landzou: Associação Brasileira de captação e manejo de Água de Chuva, 2004.

GONÇALVES, O. M. *Apostila Sistemas Prediais de Águas Pluviais*- Universidade de São Paulo – disponível em: http://pcc2465.pcc.usp.br/materiais_notas%20de%20aula.htm. Acesso em 04 de junho de 2010.

GREGORY, R. e ZABEL, T.F. **Sedimentation and Flotation**, Chapter 7, Water Quality and Treatment – A Handbook of Community Water Supplies, American Water Works Association, Edited by Frederick W. Pontius, 4^a edition, McGraw-Hill, Inc., 1990, 1194p.

HAAS, C.N. **Desinfection**, Chapter 14, Water Quality and Treatment – A Handbook of Community Water Supplies, American Water Works Association, Edited by Frederick W. Pontius, 4^a Edition, McGRAW-HILL, Inc., 1990, 1194 p.

HARUVY, N. Wastewater reuse – regional and economic considerations. Resources, Conservation and Recycling, Amsterdam, 23, 1998.

HERRMANN, Thilo; SCHMIDA, Uwe. *Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects*. Elsevier. 1999. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/urbwat>>. Acesso em : 04 de setembro de 2010.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.7, n.4, 2002. P. 75-95.

HEYWORTH, J.S.; ROWE, T. Consumption of tank rainwater and influence of recent rainfall on the risk of gastroenteritis among young children in rural South Australia. In: PROCEEDINGS OF

THE 12th INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS CONFERENCE. Índia, 2005.

<http://meumundosustentavel.blogspot.com/2008/04/casa-ecologicamente-correta-2.html>, acessado em 05/09/2010.

<http://www.catalisa.org.br/site/noticias/495-captao-de-gua-de-chuva-jobrigatia-no-estado-sp>, acessado em 12/09/2010.

IBGE, Anuário Estatístico do Brasil – 1997, Rio de Janeiro: IBGE, V. 57, 1998.

IDAHO (NATIONAL ENGINEERING LABORATORY). **Waste treatment technologies**. EGG-WMO-10244, v. 13. Idaho Falls, 1992.

IRCSA – INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS ASSOCIATION, 2007, “**About IRCSA**”. Disponível em: <http://www.ircsa.org/index.htm>. Acesso em 05/09/2010.

JÖDICKE, G.; FISHER, U.; HUNGERBÜHLER, K. Wastewater reuse; a new approach to screen for designs with minimal total costs. **Computers and Chemical Engineering**, n. 25, p. 203-215, 2001.

KAWAMURA, S. **Specific Water Treatment Processes**, Chapter 7 – Integrated Design of Water Treatment Facilities, Susumo Kawamura – John Wiley & Sons, Inc., 1991, p. 488-567.

KIANG, Y.H. e METRY, A.A. **Hazardous Waste Processing Technology**, ANN ARBOR SCIENCE: Michigan, 1982. 549p.

KRAISSE, C. B., BASTOS, L., Sustentabilidade e Arquitetura: a ecohouse Urca. PROARQ. FAU/UFRJ, 2005.

LEONG, S. T.; MUTTAMARA, S.; LAORTANAKUL, P. Reutilization of wastewater in a rubber-based processing factory: a case study in Southern Thailand. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 37, p. 159-172, 2003.

LU, W.; LEUNG, A. Y. T. A preliminary study on potential of developing shower/laundry wastewater reclamation and reuse system. **Chemosphere**, n. 52, p. 1451-1459, 2003.

LUZ, L. A. R. da, A reutilização da água , mais uma chance para nós, Rio de Janeiro: Quality-mark, p.29-30, 2005.

LUZ, L. A. R. da, A reutilização da água , mais uma chance para nós, Rio de Janeiro: Quality-mark, p.93-94, 2005.

MACINTYRE, A. J. *Manual de Instalações Hidráulicas e Sanitárias*, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 1990.

MAIA, L.F.P.G e DE MELLO, W.Z., Monitoramento da Qualidade das Águas das Chuvas na Cidade do Rio de Janeiro – Relatório Final, Fundação José Pelúcio Ferreira – PCRJ/SMAC, 2004.

MANN, J.G.; LIU, Y.A. Industrial water reuse and wastewater minimization. New York: McGraw-Hill, 1999.

MAY, S., Dissertação de Mestrado “Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações”, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2004.

MENDONÇA, T.R.L.de; Conservação de Água em Residências Unifamiliares, Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em ENG. Civil pela UFS, 2009.

MIELI, J. C. de A. *Reúso da água domiciliar*. Dissertação de Mestrado. Niterói, abr. 2001.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I., “Água na Indústria, uso racional e reúso”, Oficina de Textos, SP, 2005.

Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. GEO Brasil: recursos hídricos. Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: MMA; ANA, 2007. Disponível em: <HTTP://www.ana.gov.br/salaimprensa/projetos/livro-GEO.pdf>

MONTGOMERY, J.M. Consulting Engineers, Inc. **Facilities Design**, Chapter 21- Water Treatment Principles and Design, John Wiley & Sons, 1985. p. 491-580.

MORAN, J. M.; MORGAN, D. M.; WIERZMA, J. C. Introduction to environmental science. 2. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1985.

NALCO The Nalco Water Handbook, Second Edition, Nalco Chemical Company – Editor Frank N. Kemmer, McGraw-Hill Book Company, 1988.

NANDY, T.; KAUL, S. N.; SHASTRY, S. Upgrading a paper industry effluent treatment plant for capacity expansion with recourse to recycling effluent. **Resources, Conservation and Recycling**. n.34, p. 209-228, 2002.

NEMEROW, N. L and DASGUPTA, A. **Industrial and Hazardous Waste Treatment**, Van Nostrand Reinhold; New York, 1991, 743p.

NEVES, M., V.; BERTOLO, E.; ROSSA, S.; **Aproveitamento e reutilização da água para usos domésticos**. Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente: FEUP. Portugal, 2006. Disponível em: <http://www.unizar.es/fnca/docu/docu160.pdf>. Acesso em 12/09/2010.

NORDELL, E. **Water Treatment for Industrial and Other Uses**, Second Edition – Reinhold Publishing Corporation: New York, 1961, 598p.

OLIVEIRA, F., M., B. “Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no campus da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais”. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade de Ouro Preto, MG, 2008.

OLIVEIRA, C., L. DE, “Aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis no município do Rio de Janeiro”, Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado em Ciências em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2007.

OSMONICS. **Pure water handbook**. 2. Ed. Minnetonka: Osmonics Inc., 1997.

PANDEY, R. A.; SANYAL, P. B.; CHATTOPADHYAY, N.; KAUL, S. N. Treatment and reuse of wastes of a vegetable oil refinery. *Resources, Conservation and Recycling*, n. 37, p. 101-117, 2003.

PAREKH, B.S. **Reverse osmosis technology applications for high-purity-water production**. New York: Marcel Dkker, 1988.

PAULA, H. M. *Sistema de aproveitamento de água de chuva na cidade de Goiânia: avaliação da qualidade da água em função do tempo de detenção no reservatório*. 215 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2005.

- Portaria nº 05/89 da Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Sul, de 16 de março de 1989.

- Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (norma de qualidade de água para consumo humano) de 25 de março de 2004.

PROSAB. **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

REBOUÇAS, A., “**Uso inteligente da água**”, São Paulo: Escrituras Editora, p. 71-80, 2008.

REBOUÇAS, A., “**Água e desenvolvimento rural**”, São Paulo, p.331, 2001.

REIS, R. P. A. **Sistemas Prediais de Águas Pluviais (SPAP)**, professor da Escola de Engenharia Civil – UFG, www.revistas.ufg.br/index.php/reec/about/.../6992, **Goiânia, Brasil, 2007**.

RIBEIRO. S. K et al., Transporte e mudanças climáticas, Rio de Janeiro, Mauad, 108 pg, 2000.

ROGERS, P. “Facing the Freshwater Crisis”. *Scientific American*. August 2008.

ROGGIA, M.N., **Estruturação de uma metodologia para projeto de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edificações** Dissertação de Mestrado em Engenharia – Universidade de Passo Fundo, 2007.

SANEAGO, Disponível em: <<http://www.saneago.com.br/informativo/amostragem.html>> Acesso em 19 de maio de 2010.

SEARNET. **Southern and Eastern Africa Rainwater harvesting network - About Searnnet.** Disponível em:<http://www.searnet.org/about.asp>. Acesso em 05/09/2010.

SHIKLOMANOV, I. A. “World fresh water resources”, in *Water in Crisis: A Guide to the World’s Fresh Water Resources*, P. H. Gleick, ed. (Oxford University Press, New York. 13-24 p, 1993).

SHIKLOMANOV, I. A. **World water resources** : a new appraisal and assessment for the 21st Century. Paris: UNESCO, 1998. 37p.

SHIKLOMANOV, I. A. Revista MultiCiência (Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da Unicamp), “O Futuro dos Recursos Hídricos”, <http://www.multiciencia.unicamp.br/art03.htm>, 1998.

SHREVE, R. N. e BRINK Jr, J. A. **Indústrias de Processos Químicos**, 4ª Edição, Editora Guanabara Dois, 1980, 717p.

SILVA, A. G. e SIMÕES, R.A.G. **Água na Indústria, Capítulo 10 de Águas doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação**: Academia Brasileira de Ciências – Instituto de Estudos Avançados da USP, Escrituras Editora: São Paulo, 717p, 1999.

SILVA, D. J. P.da, Introdução da Tese “Diagnóstico do consumo de água e de geração de efluentes em uma indústria de laticínios e desenvolvimento de um sistema multimídia de apoio.”, Universidade Federal de Viçosa, 2006.

SILVEIRA, B. Q. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG “**Reúso da água pluvial em edificações residenciais**”, BH, 2008.

SMA (Secretaria do Meio Ambiente). Agenda 21 – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, 3-14 de junho de 1992. Documentos Ambientais. Governo do Estado de São Paulo, 1997b.

SMITH, Henry H., *Development of a Methodology for Integration of Water From Several Limited Sources in the Caribbean Islands*, Ph.D. Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1985.

SMITH, Henry H., et. al., *A Survey of Products Used in Rainwater Catchment Systems*, Water Resources Research Institute, UVI, St. Thomas, VI, 1996.

SOARES, D. A. F; GONÇALVES, O. M., Fuzzy sets applied to the building reuse systems design. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. **Proceedings**. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v.1, p. B3-1B1-8, 2001.

SOARES, D. A. F. et al. Considerações a respeito da reutilização das águas residuárias e aproveitamento das águas pluviais em edificações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., Vitória, 1999. **Anais**. Vitória: ABRH, 1999. p.7.1 CD-ROM.

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

TECHNIK, *Soluções para o Manejo Sustentável das Águas Pluviais*. Disponível em <<http://www.3ptechnik.de/brazil/index.php>> Acesso em 15 de fevereiro de 2010.

TIGRE S.A. Ábaco para cálculo de perdas de carga em tubulações de PVC rígido. Disponível em: <http://www.sociedadedosol.org.br/dicas/dicas-05.htm>, consultado em 21/04/2010.

TOMAZ, P. *Previsão de Consumo de Água*. São Paulo: Navegar Editora, 2000.

TOMAZ, P. *Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais*. São Paulo: Navegar Editora, 2002.

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

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001.156p.

UNESCO. Programa hidrológico internacional. *Paris, Relatório técnico*, 1998, 240 p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP, 2007, **Examples of Rainwater Harvesting and Utilisation Around the World**. Disponível em: <http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Urban/UrbanEnv-2/9.asp>. Acesso em 05/09/2010.

VAN DER LEEDEN, F.; TROISE, F.L. and TODD, D.K. **The Water Encyclopedia**, Second Edition, Lewis Publishers, Inc., Michigan, USA, 1990, 808P.

VIGGIANO, M. **Bases Conceituais do Projeto Casa Autônoma**. In: VI ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Pedro-SP. Anais em CD. ANTAC. 2001. Disponível em: <http://www.casaautonoma.com.br>, acesso em 04/09/2010.

VILLIERS, M.. *Água: Como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

WAGNER, J. **Membrane filtration handbook practical tips and hints**. 2. Ed. Minnetonka; Osmonics Inc, 2001. Revision 2.

WERNECK, G. A. M., **Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações: o estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Pirai**. Rio de Janeiro: UFRJ/ FAU, 2006. xxxii, 283f.: il.; 31 cm.

WERTHEIN, J. Diretor da UNESCO no Brasil, 2004.

WESTERHOFF, G.P.; CHOWDHURY, Z.K. **Water Treatment Systems**, Chapter 17, Water Resources Handbook, Larry W. Mays, McGraw-Hill, 1996. p. 17.1-17.41.

WORKSHOP, **O uso racional da água no comércio e na indústria – Um caminho para redução de custos**, realizado no dia 21/10/2009, Rio de Janeiro-RJ.

YANG, Y. H.; LOU, H. H.; HUANG, Y. L. **Synthesis of an optimal wastewater reuse network**. *Waste Management*, n. 20, p. 311-319, 2000.

YOU, S.; TSENG, D.; GUO, G. A case study on the wastewater reclamation and reuse in the semiconductor industry. *Resources, Conservation and Recycling*, n. 32, p. 73-81, 2000.

YOU, S.; TSENG, D.; GUO, G.; YANG, J. The potential for the recovery and reuse of cooling water in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, n. 26, p. 53-70, 1999.

ZAIZEN, T. *et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan*. Elsevier. 1999. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/urbwat>>. Acesso em: 04 de setembro de 2010.

ZBONTAR, L.; GLAVIC, P. Total site: wastewater minimization Wastewater reuse and regeneration reuse. *Resources, Conservation and Recycling*, n. 30, p. 261–275, 2000.

Zhu, Qiang and Yuanhong, Li: **Rainwater Harvesting in the Loess Plateau of Gansu, China and its Significance**. 9ª. Conferência Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva, Petrolina, Brasil, 6 - 9 de Julho de 1999.