

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Guilherme Kissmann

**APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA
EM UMA FÁBRICA DE PAPEL DE GUAÍBA**

Porto Alegre
dezembro 2014

GUILHERME KISSMANN

**APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA
EM UMA FÁBRICA DE PAPEL DE GUAÍBA**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Juan Martín Bravo

Porto Alegre
dezembro 2014

GUILHERME KISSMANN

**APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA
EM UMA FÁBRICA DE PAPEL DE GUAÍBA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 04 de dezembro de 2014

Prof. Juan Martín Bravo
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dieter Wartchow (IPH-UFRGS)
Dr. pela Universität Stuttgart

Eng. Paulo Rógenes Monteiro Pontes (IPH-UFRGS)
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Juan Martín Bravo (IPH-UFRGS)
Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Vanderlei Kissmann e Vera Beatriz Kissmann, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Juan Martín Bravo, orientador deste trabalho, por me auxiliar e por dedicar seu tempo para me ajudar.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt, coordenadora da disciplina, por todo seu trabalho e dedicação para melhorias deste trabalho.

Agradeço ao Roberto Soares Grando, Engenheiro da fábrica referente a este trabalho, por disponibilizar visitas e informações necessárias para a realização do mesmo.

Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino.

Leonardo da Vinci

RESUMO

Devido às condições cada vez mais precárias em se conseguir água com qualidade e em quantidade suficiente para atender diversas atividades exercidas pelo homem, neste trabalho é apresentado um projeto de aproveitamento de água da chuva em uma fábrica de papel de Guaíba, pois é um método que pode solucionar ou amenizar tais problemas. O sistema de aproveitamento de água da chuva foi dimensionado para atender a demanda de 3180 litros por dia para realizar a limpeza da fábrica e banheiros que ocorre todos dias da semana. Por ser uma edificação horizontal com grande área de cobertura para captação de água pluvial, foi possível atender a demanda com apenas uma parte da cobertura total, resultando em uma área de 3840,58 m². Para dimensionar todos componentes de captação e armazenagem foi preciso buscar dados históricos de precipitações diárias para saber as condições de chuva da região. O posto pluviométrico pesquisado foi o Porto Alegre, por ser o mais próximo da fábrica, com dados coletados desde janeiro de 1961 até junho de 2014, com alguns dias sem leitura, resultando em um histórico de quase 49 anos. Após o levantamento das informações necessárias, foram dimensionados os componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva que são as calhas, condutores verticais e horizontais, reservatórios e o sistema de recalque. Para definir os volumes dos reservatórios foi utilizado o método da simulação, buscando uma garantia de atendimento considerada satisfatória, sendo assim escolhidos os volumes de 25, 30, 35 e 40m³ com garantias de atendimento de 84,33%, 88,94%, 91,96% e 93,73% respectivamente. Para a filtragem da água coletada pelo sistema foi adotado um filtro PR-300 compatível com a área de cobertura para captação. Também foi projetado o recalque para abastecer o reservatório superior por meio de um conjunto de bombas operando apenas uma por vez. Após a elaboração do projeto foram calculados os custos de todos componentes somando 30% do custo de materiais para mão de obra resultando em valores acima de R\$ 64.000,00. No final foram calculados os tempos de retorno dos investimentos considerando a amortização devido à economia no consumo de água e verificou-se que os tempos de retorno foram superiores a 100 anos. Assim se concluiu que o sistema de aproveitamento da água da chuva não é economicamente atrativo, considerando condições atuais, para a fábrica e isso se deve ao fato do custo da água utilizada pela mesma ser muito baixo, apenas R\$0,18/m³, porque possuem uma estação de tratamento própria que capta água do Lago Guaíba.

Palavras-chave: Aproveitamento da Água da Chuva.
Implantação do Sistema numa Fábrica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de etapas do trabalho	17
Figura 2 – Analogia do volume de água no Planeta com o de um reservatório de 1.000 litros	21
Figura 3 – Distribuição dos recursos hídricos, da superfície e da população (em % do total do Brasil)	21
Figura 4 – Produção hídrica do mundo por região	22
Figura 5 – Produção hídrica no Brasil por região	22
Figura 6 – Estimativa do crescimento da extração de água para abastecimento do consumo mundial	26
Figura 7 – Contribuição das atividades no consumo doméstico em Porto Alegre	27
Figura 8 – Calha com saída em aresta viva	38
Figura 9 – Calha com funil de saída	39
Figura 10 – Foto de satélite da fábrica	43
Figura 11 – Área de captação	44
Figura 12 – Posições das calhas	46
Figura 13 – Posições dos condutores verticais	47
Figura 14 – Posições dos condutores horizontais	47
Figura 15 – Extravazão dos reservatórios	49
Figura 16 – Sistema de descarte das primeiras águas	49
Figura 17 – Posições descarte das primeiras águas	50
Figura 18 – Vista lateral fachada sul	50
Figura 19 – Vista lateral fachada norte	51
Figura 20 – Filtro PURAIN	51
Figura 21 – Posição Filtro PR-300	52
Figura 22 – Bomba BC-92 S AV	55
Figura 23 – Sistema de recalque em planta e perfil	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade igual a 0,011 (vazões em L/min)	37
Tabela 2 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min)	39
Tabela 3 – Áreas de contribuição (área utilizada para o projeto em vermelho)	44
Tabela 4 – Dimensionamento das calhas	45
Tabela 5 – Dimensionamento dos condutores verticais	46
Tabela 6 – Dimensionamento dos condutores horizontais	47
Tabela 7 – Garantias de atendimento	48
Tabela 8 – Descarte das primeiras águas	50
Tabela 9 – Especificações filtro PR-300	52
Tabela 10 – Perda de carga	54
Tabela 11 – Dados para bombeamento	54
Tabela 12 – Bomba BC-92 S AV	55
Tabela 13 – Quantitativos e preços	58
Tabela 14 – Valor total para cada garantia de atendimento	59
Tabela 15 – Economia mensal utilizando água da chuva	59

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

NBR – Norma Brasileira

Sinapi – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

A – área de contribuição (m^2)

a – largura da superfície (m)

h – altura perpendicular ao plano horizontal (m)

b – comprimento da superfície (m)

x – altura da superfície vertical (m)

y – comprimento da superfície vertical (m)

Q – vazão de projeto (L/min)

I – intensidade pluviométrica (mm/h)

C – coeficiente de *runoff*

S – área da seção molhada (m^2)

n – coeficiente de rugosidade

R_H – raio hidráulico (m)

i – declividade (m/m)

P_H – perímetro molhado (m)

H – altura da lâmina de água (mm)

L – comprimento do condutor (m)

V – volume de água da chuva aproveitável (m^3)

P – precipitação média (m)

η – fator de captação

$S_{(t)}$ – volume de água no tempo t (m^3)

$Q_{(t)}$ – volume de chuva captada no tempo t (m^3)

$S_{(t-1)}$ – volume de água no tempo $t-1$ (m^3)

$D_{(t)}$ – demanda de água no tempo t (m^3)

$I_{(t)}$ – precipitação no tempo t (m^3)

p – perdas na captação (%)

V_R – volume do reservatório (m^3)

GA_D^V – garantia de atendimento à demanda D utilizando um reservatório de volume V (%)

$At_{(t)}$ – atendimento à demanda, valor zero se não acontece, valor um se acontece, no intervalo de tempo t

N – tamanho da série temporal utilizada igual ao número de intervalos de tempo (dia)

d' – diâmetro da tubulação (m)

Q_r – vazão de recalque (m^3/s)

X – tempo de funcionamento (h)

H_{man} – altura manométrica (m)

H_g – desnível geométrico (m)

h_f – perda de carga (m)

J – perda de carga unitária (kPa/m)

l_r – comprimento real da tubulação (m)

l_e – comprimento equivalente de tubulação (m)

d – diâmetro (mm)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	15
2.2.1 Objetivo principal	15
2.2.2 Objetivo secundário	15
2.3 HIPÓTESE	15
2.4 PRESSUPOSTOS	15
2.5 PREMISSE	16
2.6 DELIMITAÇÕES	16
2.7 LIMITAÇÕES	16
2.8 DELINEAMENTO	16
2.8.1 Pesquisa bibliográfica	17
2.8.2 Consulta de dados pluviométricos	18
2.8.3 Levantamento de dados da fábrica	18
2.8.4 Dimensionamento do reservatório	18
2.8.5 Projeto do sistema	18
2.8.6 Cálculo de custos	19
2.8.7 Verificação do tempo de retorno	19
2.8.8 Considerações finais	19
3 DADOS DA ÁGUA NO PLANETA	20
3.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA NO MUNDO	20
3.2 RECURSOS HÍDRICOS AUTOSSUSTENTÁVEIS	23
3.3 CONSUMO DE ÁGUA	25
3.4 LEGISLAÇÃO DA ÁGUA	27
3.5 CHUVA	28
4 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL	30
4.1 QUALIDADE DA ÁGUA	32
4.2 PARTES DO SISTEMA	33
4.2.1 Área de captação	34
4.2.2 Calhas	36
4.2.3 Condutores verticais e horizontais	37
4.2.4 Armazenamento	40

5 MÉTODO DE PESQUISA	42
5.1 DADOS DA FÁBRICA	42
5.2 DADOS PLUVIOMÉTRICOS	43
5.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	44
5.3.1 Área de contribuição	44
5.3.2 Calhas	45
5.3.3 Condutores verticais	46
5.3.4 Condutores horizontais	47
5.3.5 Reservatório	47
5.3.6 Descarte das primeiras águas	49
5.3.7 Filtro	51
5.3.8 Sistema de recalque	52
6 ANÁLISE DE CUSTOS	57
6.1 QUANTITATIVOS E CÁLCULO DE CUSTOS	57
6.2 VERIFICAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO	59
7 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

Todo tipo de vida existente em nosso Planeta depende da água para realizar seus processos naturais garantindo o funcionamento dos ciclos do ecossistema. Os seres vivos conhecidos até hoje sempre precisaram de água direta e ou indiretamente para sobreviverem podendo ser afetados drasticamente com as mudanças nas propriedades da mesma, devido a impactos ocasionados pela poluição e exploração dos recursos naturais.

A preocupação das pessoas com os problemas devido ao impacto que o homem tem causado na Terra levou a conscientização de muitos que buscam meios de reverter e amenizar esses estragos. O uso racional da água tem como objetivo aumentar a eficiência no uso desta, evitando desperdícios e explorando de modo mais inteligente os recursos hídricos, como exemplo, implantando sistemas de aproveitamento de água da chuva.

O aproveitamento da água da chuva pode ser considerado um meio de solucionar alguns problemas da falta de água. Em cada caso, os resultados da implantação deste sistema são diferentes, porque cada um tem situações diferentes quanto à disponibilidade de outras fontes de água, às condições climáticas na região, a recursos financeiros e à capacidade de captação da água da edificação. Muitas vezes o projeto pode ser um investimento buscando economia no consumo de água e com um determinado tempo de retorno no qual o investimento se pague. Outras vezes pode ser um projeto que tem a finalidade de obter uma fonte de água alternativa amenizando a precariedade de água disponível na região. Devido aos benefícios que se pode ter com a implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais, pode-se garantir um aumento de construções que integram este projeto no futuro.

Assim, este trabalho tem como finalidade realizar um projeto de aproveitamento de água da chuva para uma fábrica de papel, para verificar, posteriormente, se o investimento compensa com bases nos resultados obtidos.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual o tempo de retorno para um investimento em um sistema de aproveitamento de água da chuva numa fábrica de papel de Guaíba Celulose Riograndense?

2.2 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo da pesquisa é a elaboração de um projeto de aproveitamento de água da chuva para a fábrica de papel Celulose Riograndense, verificando se há retorno para o investimento considerando a economia nas despesas com água.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que, com a economia no tratamento da água para utilização na fábrica de papel de Guaíba devido à implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva, o investimento tem um tempo de retorno de aproximadamente 15 anos.

2.4 PRESSUPOSTOS

O trabalho tem por pressupostos os seguintes itens:

- a) série temporal de precipitações diárias fornecida pelo posto pluviométrico próximo da região em estudo é representativa do comportamento das chuvas no local da fábrica;
- b) o método de simulação, apresentado na NBR 15527/2007 – Água da Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos, é válido para os cálculos de dimensionamento realizados ao longo do trabalho;

- c) o método de dimensionamento para elementos do sistema de captação abordado pela NBR 10.844/1989 – Instalações Prediais de Águas Pluviais, é válido.

2.5 PREMISSA

O trabalho tem por premissa, que se deve ter uma maior preocupação com os recursos naturais do Planeta, em destaque a água doce, sendo de grande importância garantir um uso racional para amenizar problemas de escassez.

2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a elaboração de um projeto de aproveitamento de água da chuva para a fábrica de papel de Guaíba, seguindo recomendações de Normas Brasileiras referentes ao assunto e seus métodos de dimensionamento do sistema.

2.7 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) consideração de uma única série de chuvas diárias para representação do comportamento das chuvas no local da fábrica utilizada nos cálculos de dimensionamento;
- b) a fixação da perda de água na captação em 10%;
- c) o orçamento realizado com custos de materiais fornecidos por um único fabricante;
- d) o custo da mão de obra estimada em 30% do custo total dos materiais;
- e) o custo do tratamento de água na fábrica foi fornecido pelos seus gestores, sem haver estudo específico para isso nesse trabalho;
- f) a demanda de água para as atividades exercidas na fábrica foi estimada pela mesma.

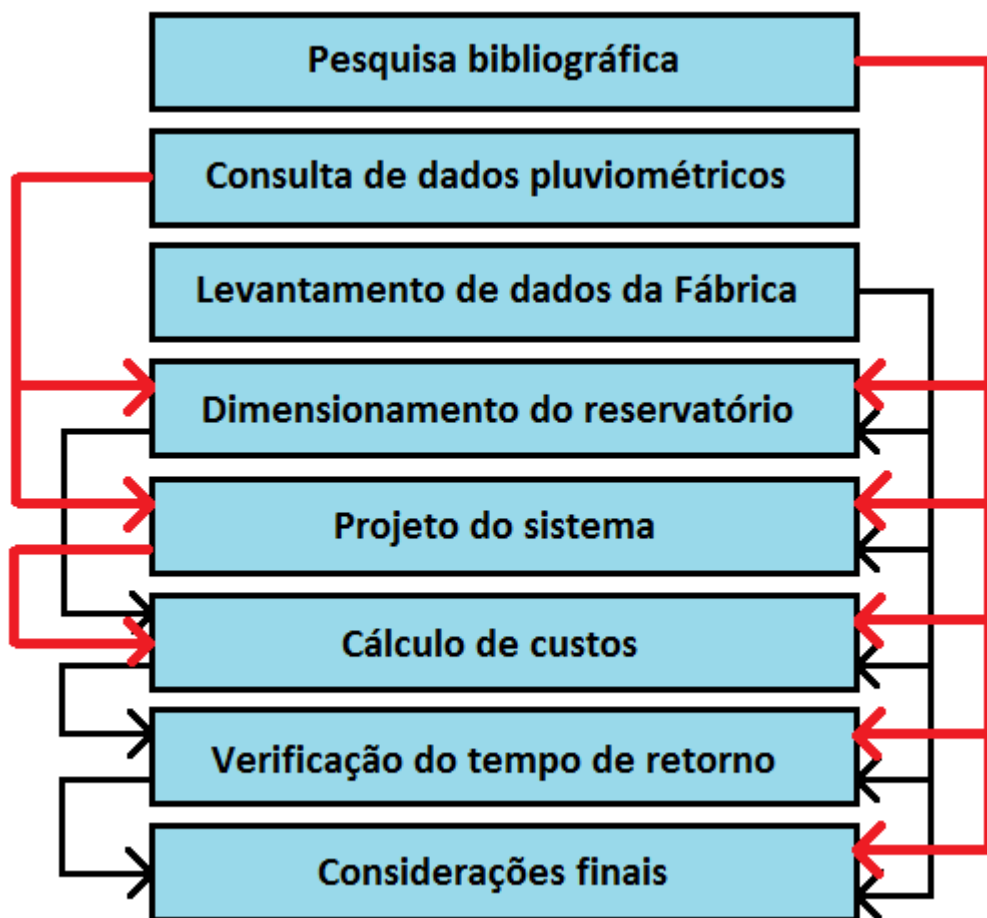
2.8 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;

- b) consulta de dados pluviométricos;
- c) levantamento de dados da fábrica;
- d) dimensionamento do reservatório;
- e) projeto do sistema;
- f) cálculo de custos;
- g) verificação do tempo de retorno;
- h) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama de etapas do trabalho



(fonte: elaborada pelo autor)

2.8.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica consiste em buscar conhecimento sobre o assunto, métodos de dimensionamento do sistema e recomendações de Normas Brasileiras para elaboração do

projeto de aproveitamento de água da chuva. Este estudo seguiu ao longo de todo tempo na realização do trabalho devido a sua grande importância.

2.8.2 Consulta de dados pluviométricos

Para o dimensionamento do sistema é necessário saber o comportamento das chuvas na região. Buscaram-se dados de um posto pluviométrico nas proximidades da fábrica e adota-se a série obtida como representação das chuvas futuras.

2.8.3 Levantamento de dados da fábrica

O trabalho é referente à fábrica de papel de Guaíba da Celulose Riograndense, sendo assim, nesta etapa, foram consultados dados que influenciam na elaboração do projeto e outras informações quanto ao tratamento da água que é realizado pela fábrica. Com a disponibilização de plantas da fábrica ficou mais consistente todo o traçado das tubulações e posicionamento dos reservatórios. Também foram consultadas as atividades exercidas que utilizam água para avaliar a demanda a ser atendida pela água captada da chuva.

2.8.4 Dimensionamento do reservatório

Após a coleta de dados como o comportamento da chuva na região, a área da cobertura que foi destinada a captação de águas pluviais e a demanda de água para determinadas atividades foi feito o dimensionamento do reservatório buscando uma determinada garantia de atendimento.

2.8.5 Projeto do sistema

Nesta parte do trabalho, determinou-se o traçado das calhas e dos condutores verticais e horizontais e foi feito o dimensionamento de cada elemento do sistema. Para isso se utilizaram métodos de cálculo recomendados pelas Normas Brasileiras. O projeto também é composto por dispositivos para filtragem da água captada da chuva e reservatório para acumulação das águas, que foram determinados nesta etapa.

2.8.6 Cálculo de custos

O cálculo de custos para implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva foi realizado com valores de um fornecedor do Rio Grande do Sul. Para o custo referente à mão de obra estimou-se em 30% do custo dos materiais.

2.8.7 Verificação do tempo de retorno

A verificação do tempo de retorno foi feita considerando a amortização do investimento no valor de custo total para implantação em parcelas representadas pela economia no tratamento da água. Essa economia foi esperada pelo fato da água da chuva ter uma melhor qualidade do que a água captada no Lago Guaíba.

2.8.8 Considerações finais

No final do trabalho dispendo de todos os resultados obtidos foram feitas as conclusões consultando a fábrica para determinar se o custo do projeto de aproveitamento de água da chuva se enquadra no valor que a Celulose Riograndense está disposta a investir.

3 DADOS DA ÁGUA NO PLANETA

A água é de extrema importância para todos habitantes da Terra, sendo assim, neste capítulo do trabalho são abordados dados referentes à água tais como disponibilidade, autossustentabilidade, consumo e legislação.

3.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA NO MUNDO

Olhando fotos da Terra tiradas pelos satélites pode-se ver a grande quantidade de água superficial presente, entretanto, nem toda essa água pode ser utilizada para atender nossas demandas com tantas atividades que a necessitam. Na maioria dos casos é necessário que a água seja doce para que se possa utilizar, e isso se torna um grande problema pelo fato de que quase a totalidade da água presente no Planeta é salgada. Conforme os dados apresentados pelo Tomaz¹ (2003 apud ROSA, 2012, p. 20):

No mundo, 97,5% da água é salgada. Água doce somente corresponde a 2,5%. Porém 68,9% da água doce estão congelados nas calotas polares do Ártico, Antártica e nas regiões montanhosas.

A água subterrânea compreende 29,9% do volume de água doce do Planeta. Somente 0,266% da água doce representa toda a água dos lagos, rios e reservatórios (significa 0,007% do total de água doce e salgada existente no planeta).

O restante da água doce está na biomassa e na atmosfera sob forma de vapor.

Infelizmente o homem depende muito desta pequena parcela de água doce, que possui propriedades únicas, o que a torna insubstituível pelos demais recursos conhecidos até hoje. A figura 2 apresenta uma analogia para representar tais proporções de água presentes no Planeta. Diversos lugares do Planeta sofrem com escassez de água devido a sua distribuição não uniforme. Inclusive dentro do Brasil, um país com grande concentração de recursos hídricos, encontram-se regiões onde as pessoas não tem acesso à água em quantidade suficiente, mas também existem casos contrários onde há grande disponibilidade de água para pequenas populações. Essas desigualdades contraditórias quanto ao número de pessoas para a disponibilidade de recursos hídricos nas regiões do Brasil são apresentadas na figura 3.

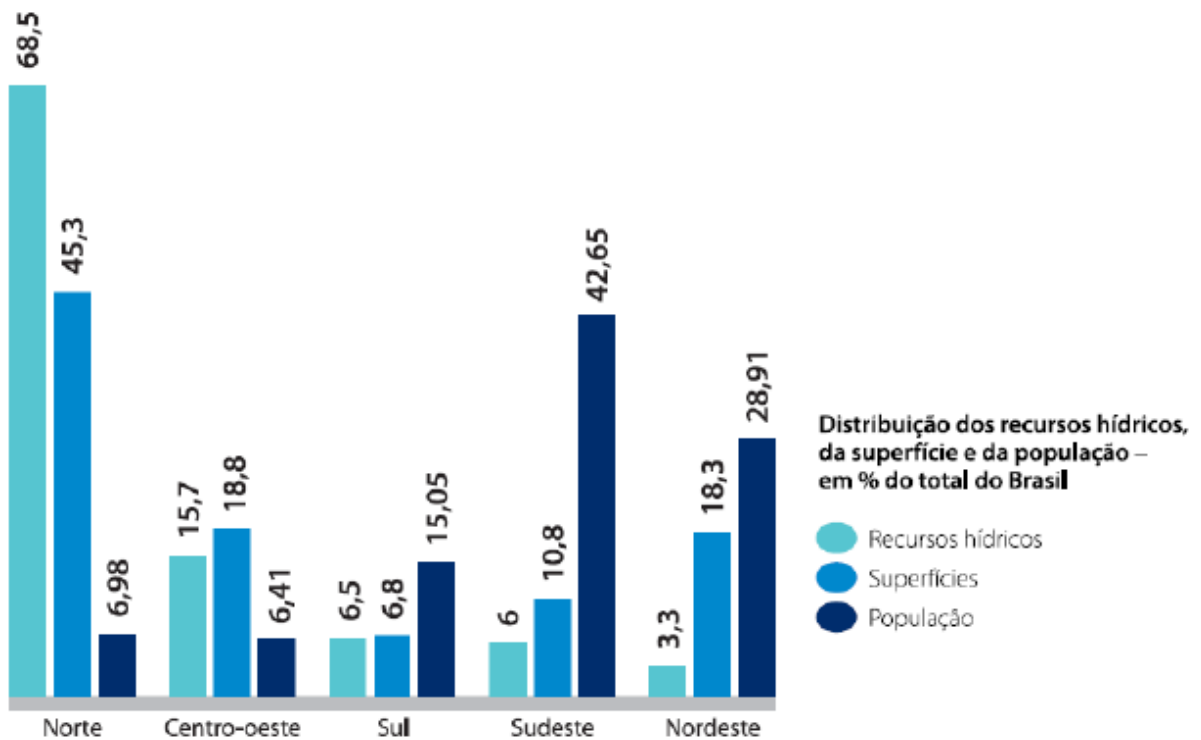
¹ TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água da Chuva**: aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2003.

Figura 2 – Analogia do volume de água no Planeta com o de um reservatório de 1.000 litros



(fonte: MANO, 2004, p. 25)

Figura 3 – Distribuição dos recursos hídricos, da superfície e da população (em % do total do Brasil)



(fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR, 2005, p. 29)

Segundo Tomaz² (2003 apud ROSA, 2012, p. 20-21) a América do Sul compreende em 23% da produção hídrica do mundo o que representa uma vazão média de 334.000 m³/s, da qual 53% é referente ao Brasil. As figuras 4 e 5 mostram as relações de produção hídrica para cada região no mundo e no Brasil respectivamente.

Figura 4 – Produção hídrica do mundo por região

Regiões do Mundo	Vazão Média (m ³ /s)	Porcentagem (%)
Ásia	458.000	31,6
América do Sul	334.000	23,1
América do Norte	260.000	18,0
África	145.000	10,0
Europa	102.000	7,0
Antártida	73.000	5,0
Oceania	65.000	4,5
Austrália e Tasmânia	11.000	0,8
Total	1.448.000	100,0

(fonte: TOMAZ³, 2003 apud IMMICH JUNIOR, 2013, p. 22)

Figura 5 – Produção hídrica no Brasil por região

Regiões do Brasil	Vazão Média (km ³ /ano)	Porcentagem (%)
Norte	3845,5	68,5
Nordeste	186,2	3,3
Sudeste	334,2	6,0
Sul	365,4	6,5
Centro-Oeste	878,7	15,7
Total	5.610	100,0

(fonte: TOMAZ⁴, 2003 apud IMMICH JUNIOR, 2013, p. 23)

² TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água da Chuva**: aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2003.

³ op. cit.

Para agravar ainda mais a situação, o consumo de água cresce desenfreadamente a cada ano que passa. Cirilo⁵ (2007 apud IMMICH JUNIOR, 2013, p. 24) comenta sobre a diminuição da quantidade de água por habitante:

[...] entre os anos de 1950 e 2000, a disponibilidade de água em milhares de metros cúbicos por habitante, por região, diminuiu de 20,6 para 5,1 na África; de 9,6 para 3,3 na Ásia; de 105,0 para 28,2 na América Latina; de 5,9 para 4,1 na Europa; e de 37,2 para 17,5 na América do Norte.

Conforme o prognóstico de Tucci⁶ (2005 apud PEDRONI, 2013, p. 24):

Em nosso Planeta, o total de água globalmente retirado de rios, aquíferos e outras fontes aumentou cerca de nove vezes, enquanto o uso por pessoa dobrou e a população está três vezes maior. Em 1950, as reservas mundiais representavam 16,8 mil m³/pessoa; atualmente esta reserva reduziu-se para 7,3 mil m³/pessoa, e espera-se que venha a se reduzir para 4,8 mil m³/pessoa nos próximos 25 anos, como resultado do aumento da população, da industrialização, da agricultura e da contaminação.

Algumas atitudes podem ser tomadas para que se preservem os recursos hídricos, afim de que no futuro as previsões mudem positivamente tendo-se um sistema mais autossustentável.

3.2 RECURSOS HÍDRICOS AUTOSSUSTENTÁVEIS

Para que exista um meio autossustentável é necessário que toda demanda possa ser atendida pelas fontes que dispõem. Em casos onde há uma grande reserva de recursos, a falta destes só é percebida depois de um longo tempo de exploração. O ideal é que a renovação ou reposição destes recursos seja superior a seu consumo garantindo-se assim a autossustentabilidade do sistema.

Sabendo dos problemas existentes quanto à escassez de água em várias partes do mundo a população vem se conscientizando e buscando meios de reverter a situação. Alguns motivos pelos quais as fontes de recursos naturais se esgotam de forma mais intensa devido ao seu uso não racional são destacados a seguir:

⁴ TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água da Chuva**: aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2003.

⁵ CIRILO, J. A. O papel da sociedade na gestão dos recursos hídricos. In: CUNHA, L. V. (Coord.) **Reflexos da Água**. Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2007. p. 68-69.

⁶ TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**: saneamento para todos. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. v. 4.

- a) desperdícios em vazamentos de sistemas hídricos;
- b) consumo acima do necessário para realizar certas atividades;
- c) poluição que afeta a qualidade da água tornando o tratamento mais complexo e mais caro;
- d) baixo índice de reaproveitamento de águas cinzas e pluviais;
- e) utilização de água potável para fins não potáveis.

Considerando essas causas, o sistema de aproveitamento de água da chuva pode ser uma solução para o uso racional da água, uma vez que, se bem projetado, ajuda a suprir as demandas de água para fins não potáveis utilizando-se uma fonte alternativa, a qual simplesmente seria descartada. Outros meios de preservar recursos hídricos são a diminuição de vazamentos, a utilização de dispositivos que reduzem consumo de água em aparelhos como torneiras, chuveiros e bacias sanitárias mais eficientes, a diminuição de emissão de poluentes principalmente em efluentes que contaminam diretamente fontes de captação de água e sistemas de reaproveitamento de águas cinzas.

A falta de água para abastecer suficientemente às populações pode ser tanto por questões quantitativas de recursos, como qualitativas considerando as propriedades que devem dispor. A qualidade da água em mananciais pode ser afetada pela poluição gerada pelo homem, sendo assim necessário um tratamento antes de sua utilização. Tucci⁷ (2005 apud SILVA, 2012, p. 22-23) comenta a respeito:

No passado, quando as cidades eram menores, a população retirava água a montante do rio e despejava, sem tratamento, a jusante, poluindo os rios e deixando para a natureza a função de recuperar sua qualidade. Os impactos eram menores em virtude do baixo volume de esgoto despejado em comparação com a capacidade de diluição dos rios. Com o aumento da urbanização e com o uso de produtos químicos na agricultura e no ambiente em geral, a água utilizada nas cidades, nas indústrias e na agricultura retorna aos rios totalmente contaminada e em grande quantidade. Além disso, com o aumento da população, sempre haverá uma cidade a montante e outra a jusante, contaminando o manancial superficial, as diferentes camadas do subsolo e o manancial subterrâneo.

Levando isso em conta, é esperado que todos os municípios, tanto no Brasil como no resto do mundo, tenham estações para o tratamento de efluentes, pois toda água retirada para ser utilizada deve retornar com qualidade igual, ou superior, para o meio ambiente.

⁷ TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**: saneamento para todos. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. v. 4.

3.3 CONSUMO DE ÁGUA

Os seres humanos são muito dependentes da água para realizar diversas atividades, como as indicadas a seguir (SILVA, 2012):

- a) hidratação (recomendação de 2 a 3 litros por dia);
- b) higienização pessoal;
- c) limpeza de ambientes;
- d) lazer;
- e) lavagem de materiais e equipamentos;
- f) irrigação na agricultura;
- g) hidratação de animais na pecuária;
- h) processos de fabricação nas indústrias;
- i) construção civil;
- j) produção de energia elétrica;
- k) navegação.

Destas, vale destacar as quais exigem água potável que são a hidratação e higienização pessoal, para que se evitem transmissão de doenças e problemas de saúde por ingestão de substâncias químicas nocivas aos seres vivos. Esse problema pode ser analisado segundo dados divulgados pela Organização Pan-Americana da Saúde et al.⁸ (2000 apud MANO, 2004, p. 26):

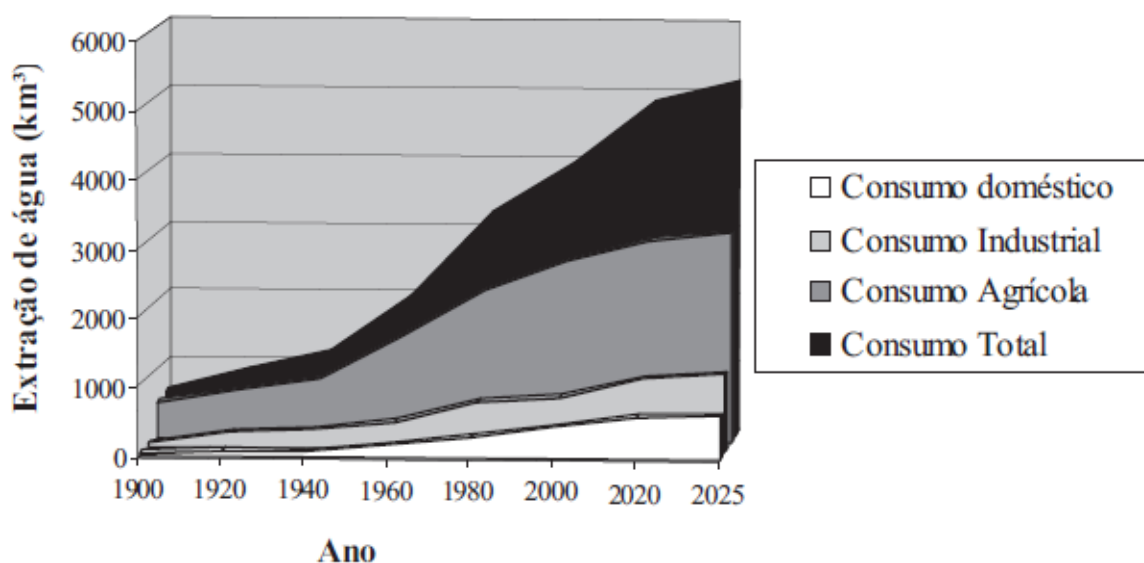
[...]

- b) as doenças diarreicas causaram mais de 3 milhões de mortes no mundo em 1995, das quais cerca de 80% foram crianças menores de 5 anos;
- c) nos países em desenvolvimento, 80% das enfermidades e 33% das mortes ocorrem por deficiências na água potável;
- d) 65% das internações hospitalares e 80% das consultas médicas se devem a doenças relacionadas com a falta ou inadequada qualidade da água e do saneamento.

⁸ ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE; ASSOCIAÇÃO INTERAMERICANA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL; ASSOCIAÇÃO CARIBENHA DE ÁGUA E ÁGUAS RESIDUAIS. **Água, cada gota conta – vamos usá-la com sabedoria:** guia de trabalho sobre a água. Lima: CEPIS, 2000.

O consumo de água pelo homem pode ser classificado em três setores, que são o consumo doméstico, o consumo industrial e o consumo agrícola. Na figura 6 podem-se ver curvas de crescimento, com projeções até o ano de 2025, da extração de água mundial.

Figura 6 – Estimativa do crescimento da extração de água para abastecimento do consumo mundial

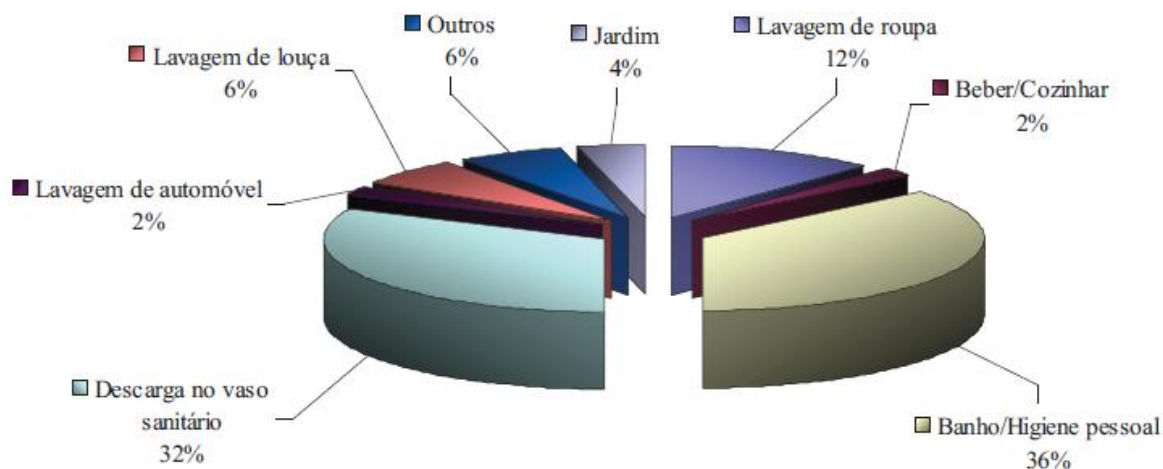


(fonte: adaptado de SHIKLOMANOV, 1998, p. 24)

Para o caso analisado, pode-se ver que o consumo mais elevado é agrícola, seguido pelo industrial e depois doméstico. Este último é um consumo mais direto realizado pela população no dia a dia e a figura 7 representa a distribuição em atividades mais comuns. Segundo esta distribuição, mais da metade da água utilizada pode ser abastecida com água não potável. Esse fato contribui para a adesão de fontes auxiliares de qualidade inferior a da fornecida por redes públicas para atender determinados pontos das redes domésticas (TOMAZ⁹, 2003 apud BUFFON, 2010). O reaproveitamento de água pluvial e água cinza, com um simples tratamento local, garante um aproveitamento mais eficiente dos recursos, diminuindo a demanda das estações de tratamento.

⁹ TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água da Chuva**: aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. 2. ed. Guarulhos: Navegar, 2003.

Figura 7 – Contribuição das atividades no consumo doméstico em Porto Alegre



(fonte: adaptado de MENEGAT¹⁰, 1999 apud BUFFON, 2010, p. 25)

Crescimento populacional implica em aumento da demanda de água e de poluição que devem ser bem gerenciadas para que não ocorram graves problemas na qualidade de vida da população. Além disso, outro fator que impacta no volume de extração de água dos mananciais são os vazamentos, que são muito excessivos no Brasil segundo Dreher (2008, p. 23):

O índice de perda na Europa está em torno de 10% e alguns países da Ásia, como Cingapura, 6%. Já o volume de perdas no Brasil é muito mais acentuado, sendo exemplo de dificuldades no controle das perdas no sistema. Estudos realizados pela Coordenação de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COOPE) na Universidade Federal do Rio de Janeiro apontam para o País o índice de perdas de 46% da água coletada: volume esse que seria suficiente para abastecer a França, a Suíça, a Bélgica e o norte da Itália ao mesmo tempo (NEUTZLING¹¹, 2004)

3.4 LEGISLAÇÃO DA ÁGUA

No Brasil, a Lei n. 9.433 (BRASIL, 1997) estabelece, no seu art. 1., que:

- a) a água é um bem de domínio público;
- b) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- c) em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

¹⁰ MENEGAT, R. (Coord.). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 2. ed, Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1999.

¹¹ NEUTZLING, I. (Org.). **Água: bem público universal**. São Leopoldo: UNISINOS, 2004.

- d) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- e) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- f) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Também existem algumas exigências mais específicas em decretos e normas municipais. Em âmbito nacional também há o Decreto Federal n. 24.642 (BRASIL, 1934, p. 13) que trata do Código das Águas estabelecendo critérios a respeito das águas pluviais por meio dos artigos a seguir:

Art. 102. Consideram-se águas pluviais, as que procedem imediatamente das chuvas.

Art. 103. As águas pluviais pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo o mesmo dispor delas a vontade, salvo existindo direito em sentido contrário.

[...]

Art. 107. São de domínio público de uso comum as águas pluviais que caírem em lugares ou terrenos públicos de uso comum.

Art. 108. A todos é lícito apanhar estas águas.

Parágrafo único. Não se poderão, porém, construir nestes lugares ou terrenos, reservatórios para o aproveitamento das mesmas águas sem a licença da administração.

O sistema de aproveitamento de água da chuva traz grandes benefícios, por isso deve ganhar uma atenção maior como em outros países para incentivar mais a aplicação e desenvolvimento do mesmo. A chuva ocorre em intensidades e frequências diferentes no mundo e é abordada no capítulo a seguir.

3.5 CHUVA

A chuva é um fenômeno físico que faz parte do ciclo da água na Terra e neste trabalho é tratada com uma fonte alternativa de recurso hídrico. Em cada região do Planeta a chuva tem um comportamento diferente em questões de intensidade, duração e frequência de ocorrência, que também dependem da estação do ano. O aproveitamento deste recurso natural depende muito da cultura e política de cada cidade, tendo assim, desenvolvimento do sistema mais acentuado em alguns lugares.

O conhecimento sobre o comportamento das chuvas é muito importante para realizar projetos de drenagem e armazenamento de água, por isso, dados pluviométricos são coletados em diversos postos gerando séries históricas. Para que estes dados sejam realmente válidos é necessário que os aparelhos estejam em perfeito funcionamento e que as leituras sejam feitas da forma correta. Investimentos na implantação e manutenção destes postos são de grande importância, porque os resultados obtidos proporcionam informações que são utilizadas para o dimensionamento mais eficaz em certas obras hidráulicas ajudando no desenvolvimento do lugar.

No Brasil, têm-se séries históricas de chuvas diárias disponíveis para *download* fornecidas pela Agência Nacional das Águas (ANA). Tais dados são utilizados no dimensionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva nas próximas etapas do trabalho.

4 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

O sistema de aproveitamento de água pluvial é o tema principal deste trabalho, que tem por objetivo realizar um projeto para o caso de uma fábrica de papel de Guaíba devido aos benefícios que o sistema pode proporcionar. Alguns benefícios são indicados a seguir:

- a) redução na demanda de outras fontes de recursos hídricos;
- b) uma fonte alternativa para regiões com escassez de água;
- c) economia com despesas de água fornecidas por redes públicas;
- d) amortecimento em redes de drenagem públicas;
- e) valorização da edificação;
- f) maior autossustentabilidade para recursos hídricos.

Bohara¹² (1999 apud MANO, 2004, p. 51) também aponta vantagens na implantação do sistema:

- a) o mínimo esforço exigido para obter e manter a qualidade desta água para o uso;
- b) a independência dos sistemas de captação no nível doméstico;
- c) a simplicidade para construção e manutenção dos sistemas;
- d) os baixos níveis de impacto ambiental exigidos;
- e) a redução da erosão do solo e dos riscos de enchente pela interceptação da força das águas da chuva;
- f) o incremento dos lençóis pela redução na extração de água dos mesmos.

*Texas Water Development Board e Center for Maximum Potencial Building System*¹³ (1997 apud MANO, 2004, p. 51) menciona a conservação de energia:

¹² BOHARA, R. C. Rainwater Catchment in Nepal: an answer to the water scarcity problem of the next millennium. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA, 2.; CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA, 9. 1999, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina: ABCMAC; EMBRAPA; IRPAA; Universidade Estadual da Bahia, 1999. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/doc/strategy/1_7_Ramesh_Bohara.doc> Acesso em: 7 ma. 2003. Não é possível mais o acesso ao *site*.

¹³ TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD; CENTER FOR MAXIMUM POTENCIAL BUILDING SYSTEMS. **Texas Guide to Rainwater Harvesting**. 2. ed. Austin: B. Hoffman; K. Heroy; J. Hopkins, 1997.

[...], a coleta de água da chuva, além de representar conservação da água, promove conservação de energia, pois a necessidade energética para operar um sistema de abastecimento centralizado, desenhado para tratar e levar água através de uma vasta área de operação, é eliminada.

Entretanto, algumas desvantagens também se aplicam ao sistema de aproveitamento de água da chuva, algumas dificuldades são abordadas pelo Dornelles (2012, p. 16):

As dificuldades são por limitações de espaço disponível, pela incapacidade estrutural para suportar o acréscimo de carga de um reservatório extra e pelo fato das instalações prediais hidrossanitárias de água fria atenderem simultaneamente pontos de consumo potáveis e não potáveis.

Outros fatores que pesam contra a implantação do sistema são o custo que pode se tornar bem caro pela aquisição de grandes reservatórios e manutenção que é necessária para o bom funcionamento do sistema. Alguns aparelhos tem uma autonomia em questões operacionais, entretanto, mesmo com uma frequência menor, é importante que se verifique o bom funcionamento destes.

A prática de sistemas de aproveitamento de águas pluviais não é nova, porque, segundo Tomaz¹⁴ (2003 apud ROSA, 2012, p. 28), “Um das inscrições mais antigas do mundo é a conhecida Pedra Moabita, encontrada no Oriente Médio, datada de 850 a. C. Nela, o rei Mesha dos Moabitas sugere que seja feito um reservatório em cada casa para reaproveitamento de água da chuva.” e para reforçar Smet e Moriarty¹⁵ (2001 apud MANO, 2004, p. 48) dizem que:

Centenas de anos antes do nascimento de Cristo a coleta de água da chuva já era uma técnica comum em todo Mediterrâneo e Oriente Médio, sendo usada, por exemplo, pelos egípcios, palestinos, iranianos, iraquianos, gregos e romanos. A água era coletada dos telhados e outras superfícies impermeáveis e armazenada em tanques subterrâneos e reservatórios enterrados (cisternas), na forma de cúpulas de alvenaria.

¹⁴ TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água da Chuva**: aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2003.

¹⁵ SMET, J.; MORIARTY, P. (Coord.). **Rooftop Rainwater Harvesting**. Delft: Internacional Water Sanitation Center, 2001. DGIS Policy Supporting Paper. Disponível em: <<http://www.irc.nl/pdf.php?file=pprainwater.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2003. Não é possível mais o acesso ao *site*.

4.1 QUALIDADE DA ÁGUA

A água captada é utilizada para fins não potáveis, entretanto, *Group Raindrops*¹⁶ (2002 apud PEDRONI, 2013, p. 30) comenta que:

Pode-se obter água da chuva com uma qualidade relativamente alta se ela for coletada onde pessoas e animais não consigam se aproximar, e removendo o lixo e a poeira existentes. Dessa maneira pode-se utilizá-la como potável. De fato, a água da chuva vem sendo utilizada como potável e no uso doméstico em geral nas áreas onde não há fontes naturais, poços ou sistemas de abastecimento de água. Também pode-se obter água de chuva relativamente limpa das paredes e superfícies de vidro. A água da chuva coletada em telhados, sacadas ou terraços, onde pessoas e animais podem se aproximar, não é tão limpa. No entanto, não há nenhum problema se a finalidade desta água for para descarga nos banheiros ou para regar plantas.

A qualidade da água pode ser afetada ao escoar pela superfície de captação e Tomaz¹⁷ (2003 apud IMMICH JUNIOR, 2013, p. 26) cita “Exemplos de contaminantes são: fezes de passarinhos, pombas, fezes de ratos e outros animais, bem como poeiras, folhas de árvores, revestimento do telhado, fibrocimento, tintas, etc.”. Alves et al.¹⁸ (2009 apud IMMICH JUNIOR, 2013, p. 26) complementa com outros fatores:

[...] a incidência de raios solares sobre as coberturas, os materiais de construção nela utilizados, a localização geográfica do local e captação (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos), a estação do ano (duração de períodos chuvosos ou secos) e o nível de poluição atmosférica.

Devido a fácil contaminação da água captada da chuva Alves et al.¹⁹ (2009 apud IMMICH JUNIOR, 2013, p. 27) confirma que:

O método de desinfecção para o tratamento de águas de chuva para fins não potáveis poderá ser simples e de baixo custo, porém eficiente, garantindo a eliminação dos microorganismos patogênicos e a viabilidade do aproveitamento. Porém, se o uso for para fins potáveis recomenda-se a utilização de sistemas de filtração eficientes na remoção de partículas, sendo esta eficiência determinada através do padrão de turbidez da água, [...], garantindo a remoção de formas de resistências de microorganismos (endósporos, cistos e oocistos) e também o uso de processos de desinfecção adequados para inativação e microorganismos patogênicos.

¹⁶ GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva**. Curitiba: Organic Trading, 2002.

¹⁷ TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água da Chuva**: aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2003.

¹⁸ ALVES, W. C.; KIPERSTOK, A.; ZANELLA, L.; PHILLIPI, L. F.; SANTOS, M. F. L. dos; VALENTINA, R. S. D. V.; OLIVEIRA, L. V. de; GONÇALVES, R. F. Tecnologias de conservação em sistemas prediais. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional de Água e Energia**: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: Abes, 2009. p. 219-294.

¹⁹ op. cit.

Segundo Pio et al.²⁰ (2005 apud BUFFON, 2010, p. 25-26) para a utilização da água da chuva em atividades como:

- a) lavagem de roupas;
- b) descargas em bacias sanitárias;
- c) limpeza de pisos;
- d) irrigação e rega de jardins;
- e) lavagem de veículos;
- f) uso ornamental.

Seriam necessárias medidas para melhorar a qualidade da água captada através dos seguintes recursos:

- a) tratamento através de sistema físico de gradeamento;
- b) tratamento através de sistema físico de sedimentação e filtração simples (por meio de decantador e filtro de areia);
- c) desinfecção;
- d) correção do potencial de Hidrogênio (pH).

A Norma Brasileira (NBR) 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p.4) diz que “Os padrões de qualidade devem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista.” e indica parâmetros a serem analisados periodicamente:

- a) coliformes;
- b) cloro residual livre;
- c) turbidez;
- d) cor aparente;
- e) pH.

4.2 PARTES DO SISTEMA

O sistema de aproveitamento de água da chuva pode ser dividido em componentes como:

- a) área de captação;
- b) calhas e condutores;

²⁰ PIO, A. A. B. DOMINGUES, A. F.; SARROUF, L.; PINA, R. S.; GUSMAN JÚNIOR, U. (Coord.). **Conservação e Reúso da Água em Edificações**. São Paulo: ANA; FIESP; Sinduscon/SP, 2005.

- c) dispositivos de filtragem e descarte da água;
- d) armazenamento;
- e) bomba hidráulica;
- f) instalações de abastecimento.

4.2.1 Área de captação

A área de captação influencia diretamente no volume de água que se pode coletar dos eventos das chuvas. Normalmente são consideradas áreas de contribuição as coberturas e lajes das edificações, pelo fato de serem mais limpas do que outras superfícies como pavimentos, onde há maior deposição de sujeiras, o que implica numa qualidade inferior da água. Segundo a NBR 15.527 a área de captação é a “[...] área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2). Esta mesma norma considera um coeficiente de *runoff* o qual “[...] representa a relação entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado variando conforme a superfície.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2). Isso se deve ao fato de que há perdas de água que dependem do material da superfície.

A NBR 10.844 salienta que “No cálculo da área de contribuição, devem-se considerar os incrementos devidos à inclinação da cobertura e às paredes que interceptem água de chuva que também deva ser drenada pela cobertura.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3). No caso das superfícies inclinadas, coberturas das edificações, a área de contribuição é calculada pela fórmula 1:

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

Onde:

A = área de contribuição, em m²;

a = largura da superfície, em m;

h = altura perpendicular à ao plano horizontal, em m;

b = comprimento da superfície, em m.

No caso de contribuição devido a uma superfície vertical que escoar água da chuva para a área de coleta temos o valor dado pela fórmula 2:

$$A = (x.y)/2 \quad \text{(fórmula 2)}$$

Onde:

A = área de contribuição, em m²;

x = altura da superfície vertical, em m;

y = comprimento da superfície vertical, em m.

A NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6) recomenda para coberturas horizontais de laje:

As superfícies horizontais de laje devem ter declividade mínima de 0,5%, de modo que garanta o escoamento das águas pluviais, até os pontos de drenagem previstos.

A drenagem deve ser feita por mais de uma saída, exceto nos casos em que não houver risco de obstrução.

Quando necessário, a cobertura deve ser subdividida em áreas menores com caimentos de orientações diferentes, para evitar grandes percursos de água.

Os trechos da linha perimetral da cobertura e das eventuais aberturas na cobertura (escadas, clarabóias, ect.) que possam receber água, em virtude do caimento, devem ser dotados de platibanda ou calha.

Após a determinação da área de contribuição, a vazão de projeto pode ser calculada pela fórmula 3:

$$Q = I.A.C/60 \quad \text{(fórmula 3)}$$

Onde:

Q = vazão de projeto, em L/min;

I = intensidade pluviométrica, em mm/h;

A = área de contribuição, em m²;

C = coeficiente de *runoff*.

4.2.2 Calhas

A NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6) recomenda que:

A inclinação das calhas de beiral e platibanda deve ser uniforme, com valor mínimo de 0,5%.

[...]

Quando a saída não estiver colocada em uma das extremidades, a vazão de projeto para o dimensionamento das calhas de beiral ou platibanda deve ser aquela correspondente à maior das áreas de contribuição.

O método de dimensionamento das calhas proposto pela NBR 10.844 é através da fórmula de *Manning-Strickler*:

$$Q = K.(S/n).R_H^{2/3}.i^{1/2} \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

Q = vazão de projeto, em L/min;

S = área da seção molhada, em m²;

n = coeficiente de rugosidade;

R_H = raio hidráulico, em m;

i = declividade, em m/m;

K = 60.000.

O raio hidráulico é obtido pela fórmula 5:

$$R_H = S/P_H \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

R_H = raio hidráulico, em m;

S = área da seção molhada, em m²;

P_H = perímetro molhado, em m.

Para calhas semicirculares, com coeficiente de rugosidade igual 0,011, pode-se determinar a calha pela capacidade calculada com a fórmula 3, considerando uma lâmina de água igual à metade do diâmetro interno, utilizando a tabela 1.

Tabela 1 – Capacidade de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade igual a 0,011 (vazões em L/min)

Diâmetro interno (mm)	Declividades		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1.167	1.634

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989)

4.2.3 Condutores verticais e horizontais

A NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6-7) recomenda para condutores verticais:

Os condutores verticais devem ser projetados, sempre que possível em uma só prumada. Quando houver necessidade de desvio, devem ser usadas curvas de 90° de raio longo ou curvas de 45° e devem ser previstas peças de inspeção.

[...]

O diâmetro interno mínimo dos condutores verticais de seção circular é 70 mm.

Para o dimensionamento dos condutores verticais é recomendado, pela mesma norma, o uso de ábacos que dependem do tipo de saída das calhas e com dados de entrada: Q = vazão de projeto, em L/min; H = altura da lâmina de água na calha, em mm; L = comprimento do condutor vertical, em m. Os ábacos estão apresentados nas figuras 8 e 9.

Para os condutores horizontais a NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 7-9) recomenda:

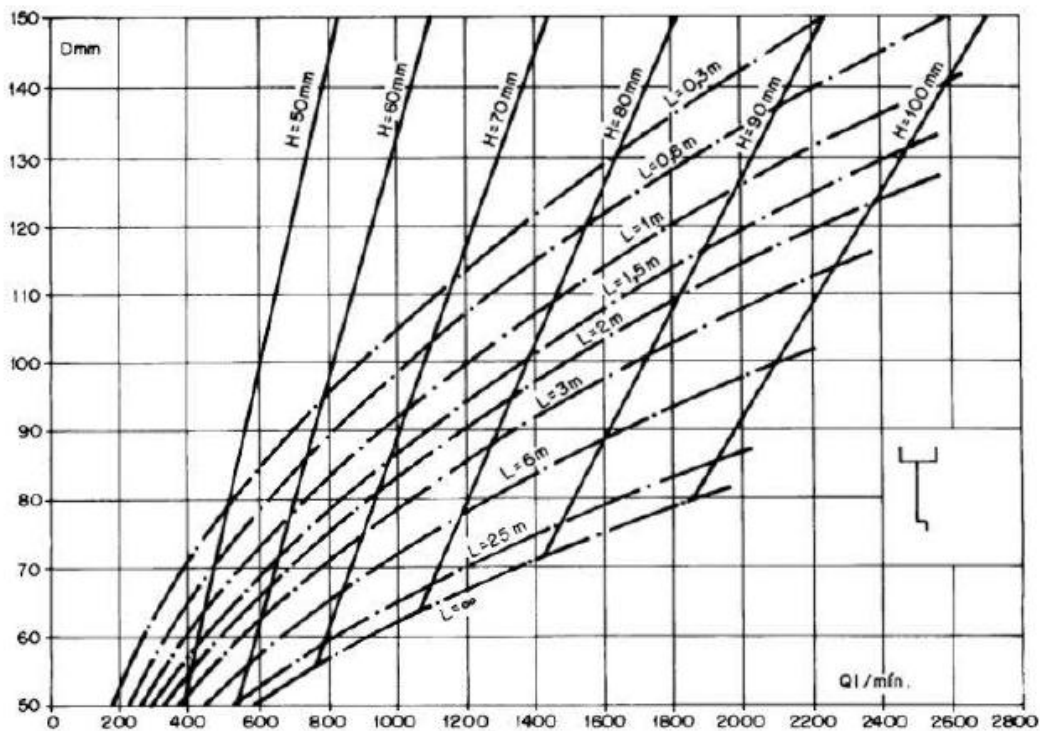
Os condutores horizontais devem ser projetados, sempre que possível, com declividade uniforme, com valor mínimo de 0,5%.

[...]

A ligação entre condutores verticais e horizontais é sempre feita por curva de raio longo, com inspeção ou caixa de areia, estando o condutor horizontal aparente ou enterrado.

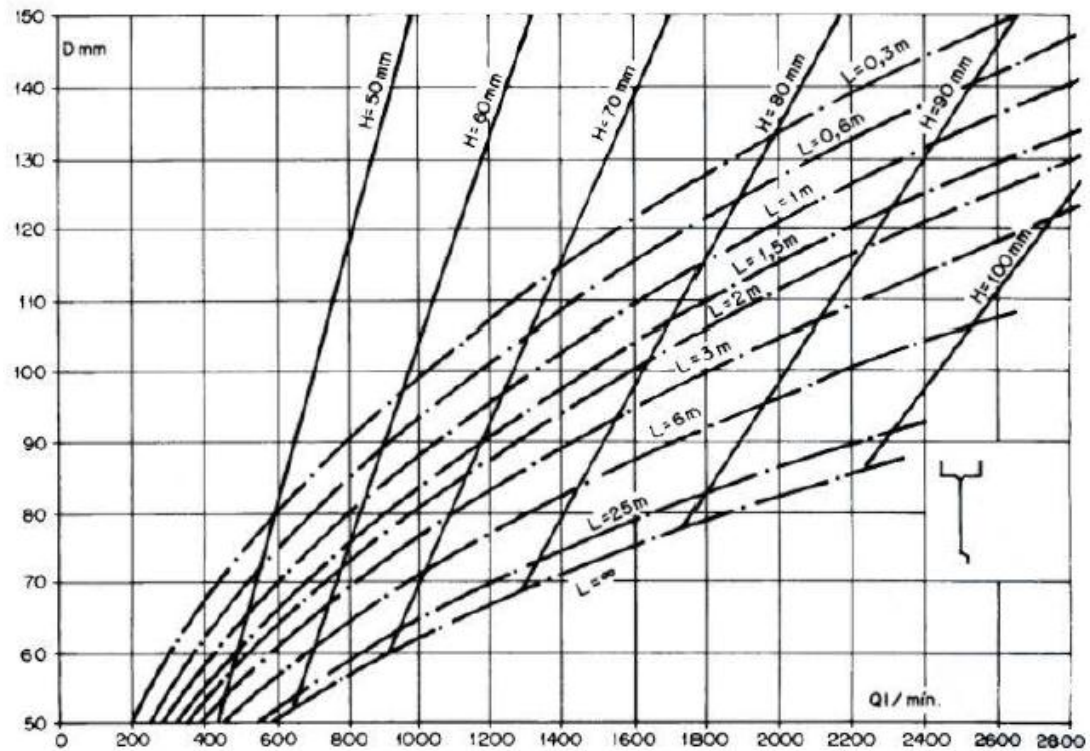
O dimensionamento proposto pela NBR 10.844, para coeficiente de rugosidade igual a 0,011, é por meio da tabela 2.

Figura 8 – Calha com saída em aresta viva



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989)

Figura 9 – Calha com funil de saída



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989)

Tabela 2 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular
(vazões em L/min)

Diâmetro interno (mm)	n = 0,011			
	0,5%	1%	2%	4%
50	32	45	64	90
75	95	133	188	267
100	204	287	405	575
125	370	521	735	1.040
150	602	847	1.190	1.690
200	1.300	1.820	2.570	3.650
250	2.350	3.310	4.660	6.620
300	3.820	5.380	7.590	10.800

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989)

4.2.4 Armazenamento

Para o armazenamento foi dimensionado um reservatório seguindo recomendações da NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) que calcula o volume aproveitável utilizando a fórmula 6:

$$V = P.A.C.\eta \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

V = volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável, em m³;

P = precipitação média anual, mensal ou diária, em m;

A = área de contribuição, em m²;

C = coeficiente de *runoff*;

η = fator de captação.

Entretanto nem todo volume é efetivamente armazenado, pelo fato da chuva ser aleatória, podendo haver grandes períodos sem chuvas, ou chuvas intensas que para serem completamente armazenadas seria necessário um reservatório muito grande. Assim para o dimensionamento do reservatório é tipicamente utilizado o método da simulação apresentado na NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), por meio das fórmulas 7 e 8:

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (\text{fórmula 7})$$

$$Q_{(t)} = C.I_{(t)}.A.(1 - p) \quad (\text{fórmula 8})$$

Sendo que $0 < S_{(t)} < V_R$

Onde:

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo t, em m³;

$Q_{(t)}$ = volume de chuva captado no tempo t , em m^3 ;

$S_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo $t-1$, em m^3 ;

$D_{(t)}$ = demanda no tempo t , em m^3 ;

C = coeficiente de *runoff*;

$I_{(t)}$ = precipitação no tempo t , em m ;

A = área de contribuição, em m^2 ;

p = perdas na captação, em %;

V_R = volume fixado para o reservatório, em m^3 .

A garantia de atendimento pode ser calculada pela fórmula 9.

$$GA_D^V = (\sum at_{(t)} / N) \cdot 100 \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

GA_D^V = garantia de atendimento à demanda D utilizando um reservatório de volume V , em %;

$At_{(t)}$ = atendimento à demanda, valor zero se não acontece, valor um se acontece, no intervalo de tempo t ;

N = tamanho da série temporal utilizada igual ao número de intervalos de tempo, em dia.

5 MÉTODO DE PESQUISA

A fábrica de papel da Celulose Riograndense é o local para o qual foi projetado o sistema de aproveitamento de água da chuva. Neste capítulo são apresentados os dados da fábrica e de precipitações e o dimensionamento do sistema seguindo as etapas do delineamento da página 17.

5.1 DADOS DA FÁBRICA

A Celulose Riograndense tem uma própria estação de tratamento de água que capta água do Lago Guaíba, para utilização em diversas atividades. No processo de fabricação de papel a água é utilizada para transporte de materiais e resfriamento das máquinas. A água também abastece a demanda decorrente da limpeza da fábrica e bacias sanitárias, sendo esta demanda utilizada para o dimensionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais. A fábrica não possui registros para medir o consumo gerado por tais atividades, sendo assim, foi estimado pelos funcionários no valor de 3.180 litros por dia de domingo a sábado.

A locação dos reservatórios e traçados do sistema foi realizada com base em plantas fornecidas pela fábrica e com dados tirados em visitas ao local. A fábrica também informou o custo para o tratamento realizado pela estação, no valor de 0,18 reais por litro, dados de agosto de 2014, para ser calculado o tempo de retorno para o investimento na implantação do sistema.

Na figura 10 pode-se ver uma imagem da fábrica que se situa na Rua São Geraldo, 1680 no bairro Ermo em Guaíba. Para este trabalho foi considerado apenas uma parte de toda a fábrica, delimitada em vermelho, por ter a maior área de cobertura e por ser o local onde as atividades consideradas na demanda são realizadas.

Figura 10 – Foto de satélite da fábrica



(fonte: adaptado de GOOGLE MAPS, 2014)

5.2 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Tendo a localização da fábrica se procurou o posto de dados pluviométricos mais próximo, sendo identificado o posto Porto Alegre, latitude -30:3:13, longitude -51:10:24 e altitude 46,97 m localizado em Porto Alegre. A série temporal do histórico de precipitações diárias foi baixado do site de Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados disponíveis são do período desde 02 de janeiro de 1961 até 30 de junho de 2014 com falhas nos períodos de junho de 1967, junho a setembro de 1980, dos anos de 1985 a 1987 e de janeiro a novembro de 2001. O número total de precipitações diárias medidas é de 17.812 resultando em mais de 48 anos de dados.

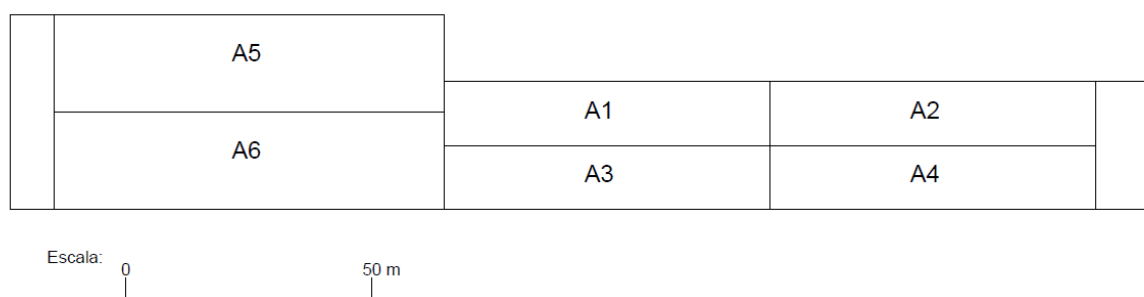
5.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Para o dimensionamento do sistema foram elaborados desenhos utilizando o programa *AutoCAD* com referências em plantas da fábrica e para memória de cálculo foram utilizadas planilhas de *Excel*.

5.3.1 Área de contribuição

Para determinar as áreas de contribuição foram utilizadas as fórmulas 1 e 2. A cobertura foi dividida em partes para definir a contribuição de água da chuva que escoaria em cada elemento do sistema. Na figura 11 está representada cada subdivisão.

Figura 11 – Área de captação



(fonte: elaborada pelo autor)

A área de contribuição calculada para cada parte está indicada na tabela 3.

Tabela 3 – Áreas de contribuição (área utilizada para o projeto em vermelho)

Áreas (m ²)	
A1	861,30
A2	923,38
A3	1027,95
A4	1027,95
A5	1572,79
A6	1572,96
Atotal	6986,33
Aproj.	3840,58

(fonte: elaborada pelo autor)

Verificou-se que não seria necessário considerar toda cobertura do local devido a sua grande área, resultando em grandes dimensionamentos dos componentes do sistema e elevado custo, resultando em um ganho pequeno na garantia de atendimento à demanda. Assim foram adotadas apenas as áreas A1, A2, A3 e A4 que estão mais próximas do reservatório superior da fábrica resultando numa área de contribuição de 3.840,58 m².

5.3.2 Calhas

Utilizou-se a fórmula 3 para o cálculo das vazões de projeto para cada uma das áreas de contribuição. Posteriormente se determinaram os diâmetros e inclinações segundo a tabela 1 para calhas semicirculares resultando nos valores apresentados na tabela 4. Enquanto ao cálculo da intensidade da precipitação, foi verificado que a precipitação em 99% dos dias que chovem, é menor que 48mm. A partir dessa informação, apesar de não se conhecer a distribuição temporal desses totais diários, adotou-se esse valor como sendo a intensidade, ou seja, como se todo o evento diário acontecesse no período de uma hora. Assim, ficando a intensidade sendo 48mm/h.

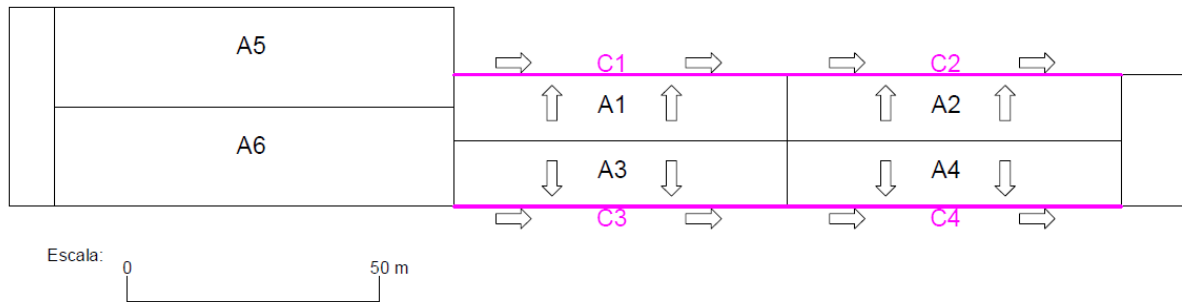
Tabela 4 – Dimensionamento das calhas

Calhas	Vazão de projeto (L/min)	Diâmetro (mm)	Declividade (%)	Comprimento (m)
C1	689,04	200	0,5	66,00
C2	738,70	200	0,5	66,00
C3	822,36	200	0,5	66,00
C4	822,36	200	0,5	66,00

(fonte: elaborada pelo autor)

A figura 12 apresenta a posição de cada calha e o sentido de escoamento das vazões de projeto. A declividade adotada para as calhas foi a mínima de 0,5%, porque são de grande comprimento e maiores declividades resultariam em desníveis consideravelmente elevados.

Figura 12 – Posições das calhas



(fonte: elaborada pelo autor)

5.3.3 Condutores verticais

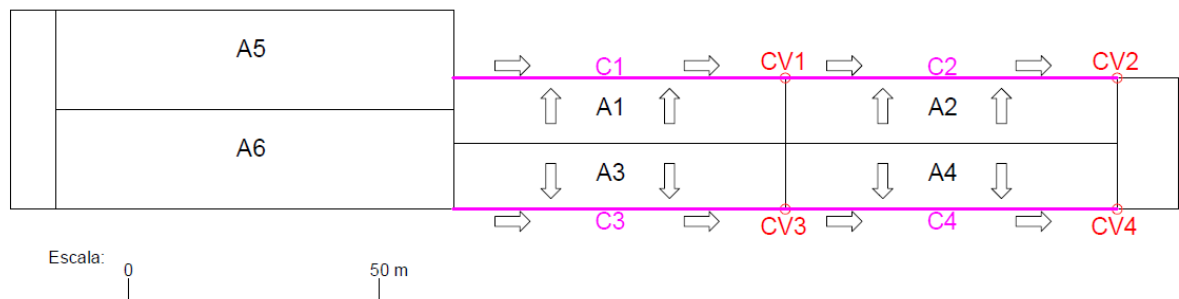
Para o dimensionamento dos condutores verticais foi utilizado o ábaco da figura 8 e os diâmetros e comprimentos estão representados na tabela 5 considerando diâmetro mínimo de 70mm. A posição de cada condutor vertical está apresentada na figura 13.

Tabela 5 – Dimensionamento dos condutores verticais

Condutores verticais	Vazão de projeto (L/min)	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)
CV1	689,04	10,30	70
CV2	738,70	11,00	70
CV3	822,36	5,30	70
CV4	822,36	6,00	70

(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 13 – Posições dos condutores verticais



(fonte: elaborada pelo autor)

5.3.4 Condutores horizontais

Considerando que o reservatório para armazenamento não seria enterrado, os condutores horizontais foram posicionados elevados a uma altura média de 6m do solo. O dimensionamento foi realizado utilizando a tabela 2 e os resultados são apresentados na tabela 6.

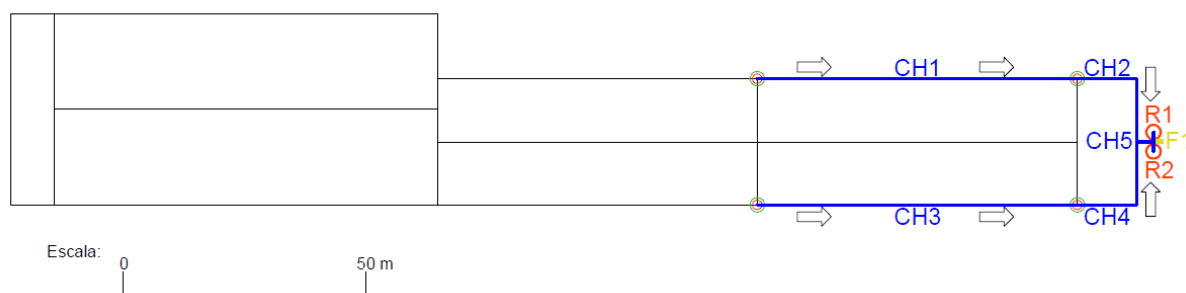
Tabela 6 – Dimensionamento dos condutores horizontais

Condutores horizontais	Vazão de projeto (L/min)	Díâmetro (mm)	Declividade (%)	Comprimento (m)
CH1	689,04	150	1	66,00
CH2	1427,74	150	4	25,20
CH3	822,36	150	1	66,00
CH4	1644,72	150	4	25,20
CH5	3072,46	200	4	3,60

(fonte: elaborada pelo autor)

Adotaram-se declividades de até 4%, porque era possível ter maiores desníveis e para permitir menores diâmetros, sendo assim uma solução mais econômica. Na figura 14 está a posição dos condutores horizontais e o escoamento.

Figura 14 – Posições dos condutores horizontais



(fonte: elaborada pelo autor)

5.3.5 Reservatório

Utilizando uma planilha de *Excel* e os dados pluviométricos coletados, foi aplicado o método da simulação através das fórmulas 7 e 8 e realizando verificações para que o volume de água não fique negativo nem com valor superior ao do volume do reservatório adotado.

Considerou-se uma taxa de 10% de perdas devido aos descartes de primeiras águas e resíduos escoados pelo filtro. Precipitações diárias com valores medidos inferiores a 0,2mm foram desconsiderados, porque maior parte da água seria descartada ou perdida.

Após o desenvolvimento do modelo matemático, este foi utilizado para estimar os volumes de reservatórios que apresentassem garantia de atendimento acima de 80% calculadas pela fórmula 9. Foram identificados quatro valores de volumes de reservatórios considerados satisfatórios: 25, 30, 35 e 40 m³. A garantia de atendimento para os quatro casos está indicado na tabela 7. Durante a análise de custos e verificação do tempo de retorno do investimento, quatro análises foram feitas enquanto aos volumes dos reservatórios.

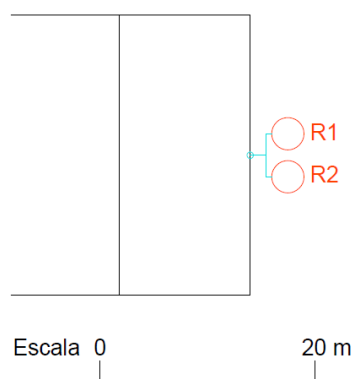
Tabela 7 – Garantias de atendimento

Volume reservatório (m ³)	Garantia de atendimento (%)
25	84,33
30	88,94
35	91,96
40	93,73

(fonte: elaborada pelo autor)

Foram adotados sempre pares de reservatórios de fibra de vidro da Plastifibra para que possam ser feitas as manutenções desativando um reservatório e mantendo outro em funcionamento. Verificou-se que com precipitações diárias de 8,15mm já eram o suficientes para encher um reservatório de 25 m³ e atender a demanda do dia e que com precipitações diárias superiores a 12,5mm atendiam a demanda de 3180 litros e enchem um reservatório de 40m³. Assim todo excedente seria extravazado dos reservatórios até o sistema de escoamento de águas pluviais por tubulações de 20mm ilustradas na figura 15.

Figura 15 – Extravazão dos reservatórios

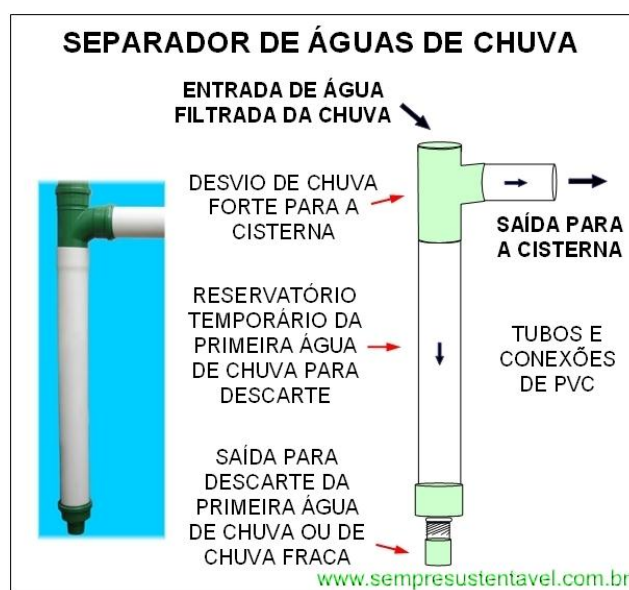


(fonte: elaborada pelo autor)

5.3.6 Descarte das primeiras águas

O descarte das primeiras águas de chuva é recomendado devido a baixa qualidade que ela possui, pois carrega muita sujeira e impurezas que estavam depositadas nas superfícies de captação. No sistema projetado para a fábrica foram adotados quatro tubos de descarte com diâmetro de 200mm para os primeiros 0,2mm de chuva. O modelo apresentado na figura 16 mostra como funciona.

Figura 16 – Sistema de descarte das primeiras águas



(fonte: URBANO, 2013)

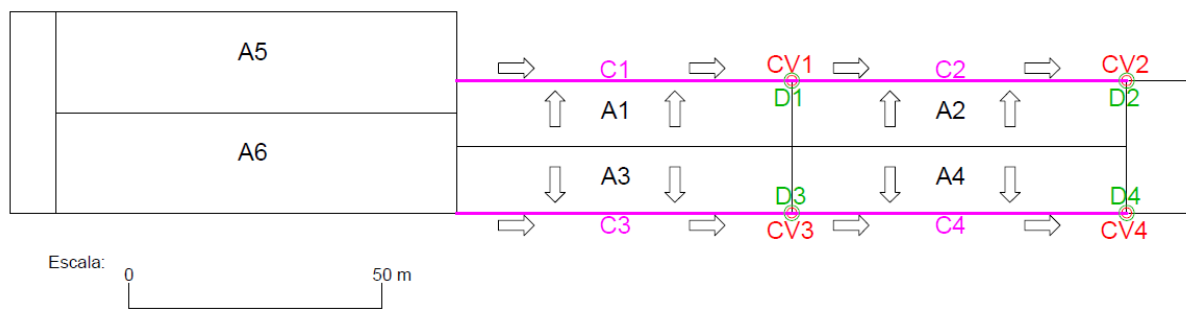
A tabela 8 indica o dimensionamento de cada tubulação do sistema de descarte e a figura 17 representa o posicionamento de cada um.

Tabela 8 – Descarte das primeiras águas

Descarte primeiras águas (0,2 mm)	Comprimento (m)	Volume (L)	Altura do chão (m)
D1	5,35	171,6	1,00
D2	5,35	171,6	0,30
D3	5,35	171,6	1,00
D4	5,35	171,6	0,30

(fonte: elaborada pelo autor)

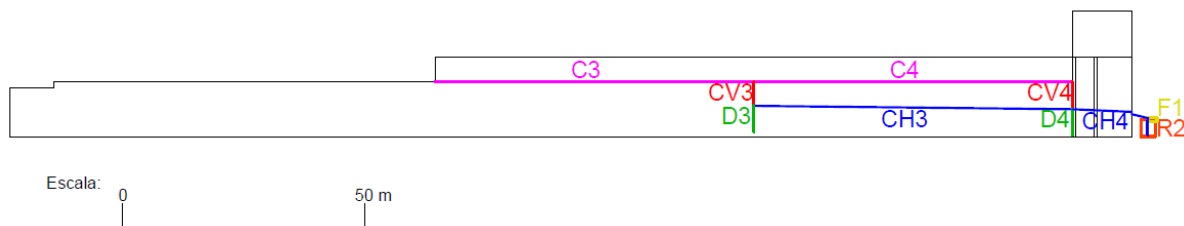
Figura 17 – Posições descarte das primeiras águas



(fonte: elaborada pelo autor)

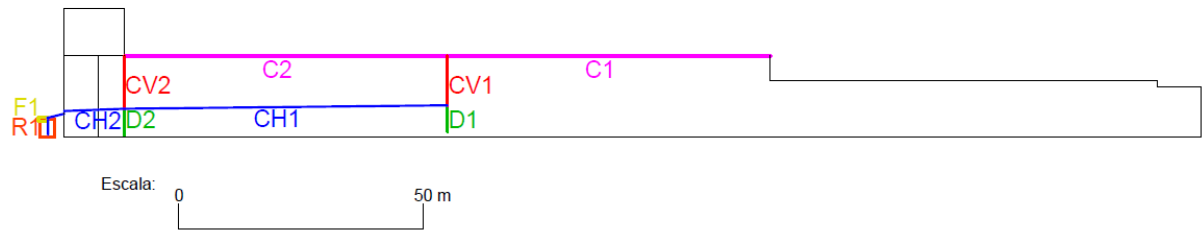
Para representação em perfil foram feitos dois desenhos, figuras 18 e 19, com vistas laterais contendo todos elementos já dimensionados.

Figura 18 – Vista lateral fachada sul



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 19 – Vista lateral fachada norte



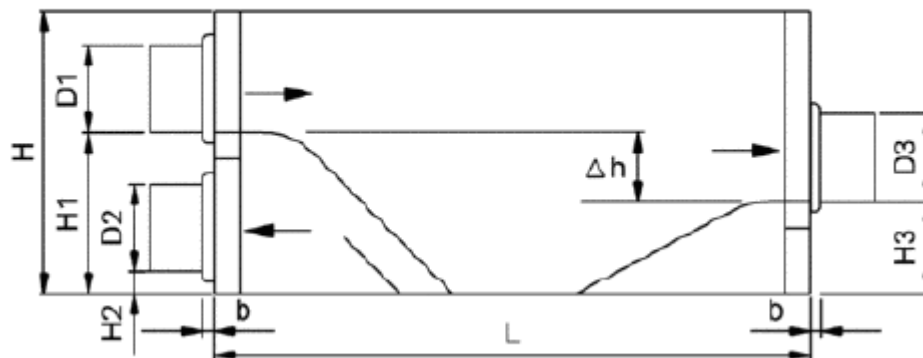
(fonte: elaborada pelo autor)

5.3.7 Filtro

No sistema de aproveitamento de águas pluviais é utilizado um filtro para melhorar a qualidade da água coletada. Neste trabalho foi adotado o filtro da PURAIN fornecido pela GB Eco Solutions do modelo PR-300. O fabricante garante uma eficiência de 98%, logo, está dentro dos 10% de perdas consideradas anteriormente e o modelo escolhido pode tratar a água coletada de coberturas com até 4.422m² para telhados inclinados duros. O catálogo apresenta especificações do filtro indicados na figura 20 com os dados fornecidos na tabela 9.

Figura 20 – Filtro PURAIN

Dimensões PURAIN PR-150 à PR-400



(fonte: GB ECO SOLUTIONS, 2014, p. 8)

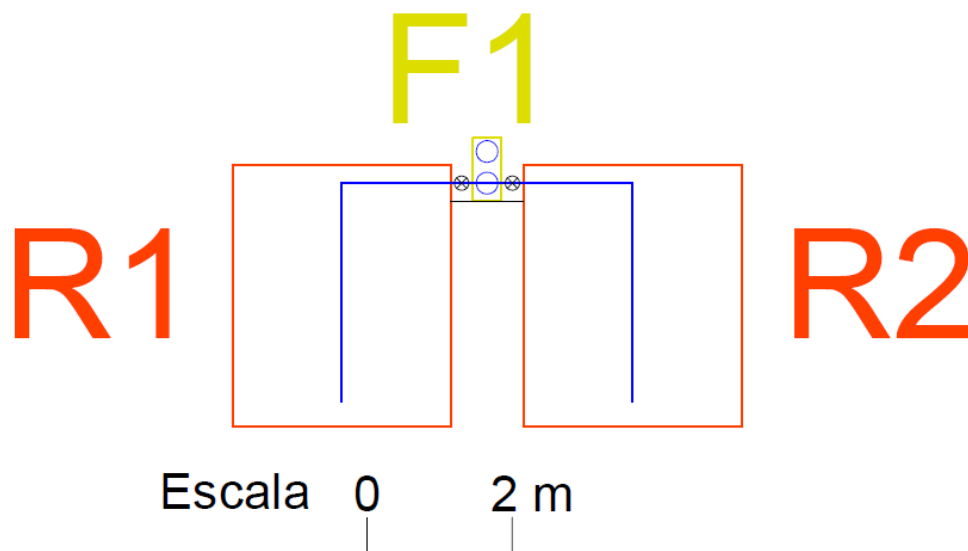
Tabela 9 – Especificações filtro PR-300

Dimensões do filtro PR-300	
Entrada D1	300 mm
Dreno D3	300 mm
Saída D2	300 mm
H (altura)	866 mm
L (comprimento)	1786 mm
Peso	48 Kg

(fonte: adaptada de GB ECO SOLUTIONS, 2014)

O filtro foi posicionado entre os reservatórios sendo necessário um suporte com base inclinada de 2 a 5% sendo necessária uma escada para acesso ao filtro e registros nas tubulações que levam água filtrada até os reservatórios para realizar manutenções. A figura 21 indica o posicionamento do filtro PR-300 com tubulações de 200mm.

Figura 21 – Posição Filtro PR-300



(fonte: elaborada pelo autor)

5.3.8 Sistema de recalque

Após a água de chuva ser captada e armazenada em um reservatório inferior, o sistema de aproveitamento de águas pluviais conta com o recalque para um reservatório superior a partir do qual inicia a distribuição para os pontos de utilização. Neste trabalho foi considerado que o reservatório superior fosse abastecido com 5000 litros por meio de um conjunto de bombas

que funcionaria 3 horas por dia. Utilizando a fórmula 10 foi possível dimensionar o diâmetro das tubulações para recalque.

$$d' = 1,3 \cdot Q_r^{(1/2)} \cdot (X/24)^{0,25} \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

d' = diâmetro da tubulação, em m;

Q_r = vazão de recalque, em m^3/s ;

X = tempo de funcionamento, em h.

Adotou-se um diâmetro interno de 20,8mm e depois foi calculada a altura manométrica necessária para o bombeamento utilizando as fórmulas 11, 12 e 13.

$$H_{\text{man}} = H_g + h_f \quad (\text{fórmula 11})$$

Onde:

H_{man} = altura manométrica, em m;

H_g = desnível geométrico, em m;

h_f = perda de carga, em m.

$$h_f = J \cdot (l_r + l_e) \quad (\text{fórmula 12})$$

Onde:

h_f = perda de carga, em m;

J = perda de carga unitária, em kPa/m ;

l_r = comprimento real da tubulação, em m;

l_e = comprimento equivalente de tubulação, em m.

$$J = 8,69 \cdot 10^6 \cdot Q^{1,75} \cdot d^{-4,75} \quad (\text{fórmula 13})$$

Onde:

J = perda de carga unitária, em kPa/m;

Q = vazão de projeto, em L/s;

d = diâmetro, em mm.

Para determinar as perdas de carga foi feita a tabela 10.

Tabela 10 – Perda de carga

Perda de carga (m.c.a.)		
Singuladidade 20mm	le (m)	Quantidade
Válvula pé e crivo	13,3	1
Registro gaveta	0,3	2
Tê saída de lado	3,1	3
Válvula de retenção	3,8	1
Joelho 90°	1,5	2
Saída canalização	1,3	1
Comprimento equivalente total (m)		31,3
Comprimento da tubulação real (m)		33,8
Perda de carga total (m.c.a.)		9,97

(fonte: elaborada pelo autor)

Continuando nos cálculos foram encontrados os parâmetros indicados na tabela 11.

Tabela 11 – Dados para bombeamento

Bomba recalque	
d'calc.	16,58 (mm)
Qr (L/min)	27,60
X (horas)	3
d'proj.	20,8 (mm)
Hg (m)	17,80
hf (m.c.a.)	9,97
J (Kpa/m)	1,5321
lr (m)	33,80
le (m)	31,30
Hman. (m)	27,77

(fonte: elaborada pelo autor)

Com base nesses dados foi procurada uma bomba que atendesse a vazão de 27,6 litros por minuto e altura manométrica de 27,77 metros. Foi pesquisada a bomba da marca Schneider fornecida pela Elétrica Florida do modelo BC-92 S AV com as especificações indicadas na tabela 12 e ilustrada na figura 22. Com a vazão de recalque obtida o reservatório superior seria enchido com 5000 litros em uma hora e 20 minutos de funcionamento da bomba. A figura 23 apresenta o sistema de reaque em planta e perfil.

Tabela 12 – Bomba BC-92 S AV

Modelo	BC-92 S AV
Potência	1 cv
Ø sucção	25 mm
Ø recalque	25 mm
Hman. máx.	30 m
Vazão para 28 m.c.a.	63,33 L/min
Voltagem	127/220 V

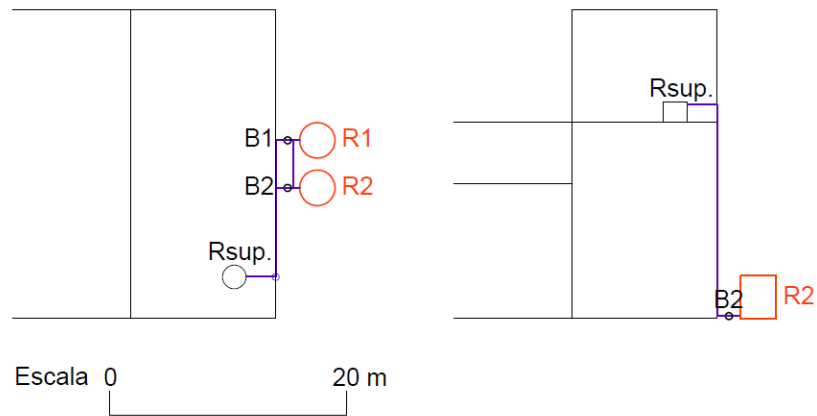
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 22 – Bomba BC-92 S AV



(fonte: SCHNEIDER, 2013, p. 12)

Figura 23 – Sistema de recalque em planta e perfil



(fonte: elaborada pelo autor)

6 ANÁLISE DE CUSTOS

Neste capítulo foi realizado o cálculo de custos para implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva para fábrica Celulose Riograndense e também se verificou o tempo de retorno para o investimento.

6.1 QUANTITATIVOS E CÁLCULO DE CUSTOS

Após o dimensionamento de todas partes do sistema foram realizados o quantitativo e o levantamento dos preços de cada componente. Para determinação dos preços foram adotados valores do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi)²¹ na versão de junho de 2014 para Porto Alegre. Componentes mais específicos que não estavam no Sinapi foram pesquisados por fornecedores do mercado. Os quantitativos e preços estão indicados na tabela 13. Foram calculados 4 valores totais para cada volume de reservatório escolhido somando a mão de obra sendo estimada em 30% dos valores dos materiais e a média dos valores de reservatórios e estão apresentados na tabela 14.

²¹ Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – Preços de insumos junho de 2014 Porto Alegre – RS. Disponível em: <http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/sinapi/rel_ins_com_jun_2014/PRECOES_INSUMOS_RS_JUN_2014_COM_DESONERA%C7%C3O.pdf> Acesso em: 10 nov. 2014.

Tabela 13 – Quantitativos e preços

Código Sinapi	Componentes	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)	Custo total (R\$)
Fabricante					
Captação e Descarte Primeiras Águas					24933,36
Gera Sul Calhas	Calha Metálica corte 32cm diâmetro 200mm	m	264	35,00	9240,00
20071	Tubo PVC p/ Esgoto ou Águas pluviais 75mm	m	33	10,38	342,54
20073	Tubo PVC p/ Esgoto ou Águas pluviais 150mm	m	183	37,15	6798,45
9819	Tubo PVC p/ Esgoto 200mm	m	36	33,09	1191,24
20131	Joelho 90° PVC 150mm	Unidade	2	46,86	93,72
20132	Joelho 90° PVC 200mm	Unidade	2	131,92	263,84
20174	Tê PVC curto 150mm	Unidade	7	41,89	293,23
7061	Tê PVC p/ Esgoto 300mm	Unidade	1	370,51	370,51
20137	Junção Redução PVC 150x75mm	Unidade	4	33,14	132,56
20053	Redução Excêntrica PVC 200x150mm	Unidade	5	49,68	248,40
20037	Redução Excêntrica PVC 250x200mm	Unidade	4	180,36	721,44
20038	Redução Excêntrica PVC 300x250mm	Unidade	4	332,79	1331,16
Pivodrip	Registro de Gaveta FL DIN C/Volante 200mm	Unidade	2	1855,00	3710,00
Tropicalrio	Colarinho com Registro Borboleta PVC 200mm	Unidade	4	22,00	88,00
306	Anel Borracha p/ Tubo PVC 200mm	Unidade	2	8,79	17,58
308	Anel Borracha p/ Tubo PVC 300mm	Unidade	3	30,23	90,69
Recalque					3264,90
9859	Tubo PVC Roscável 3/4"	m	40	4,80	192,00
10229	Válvula Pé c/ Crivo 3/4"	Unidade	2	32,41	64,82
73	Adaptador PVC Roscável c/ Flanges e Anel Vedação 3/4"	Unidade	3	8,87	26,61
7123	Tê PVC c/ Rosca 3/4"	Unidade	3	1,76	5,28
3505	Joelho 90° PVC c/ Rosca 3/4"	Unidade	3	1,35	4,05
6016	Registro Gaveta 3/4"	Unidade	4	26,61	106,44
10412	Válvula de Retenção c/ Rosca 3/4"	Unidade	2	113,85	227,70
Schneider	Motobomba Centrífuga 1cv Monofásico 3/4" x 3/4"	Unidade	2	1319,00	2638,00
Filtragem					14776,00
PURAIN	Filtro PR-300	Unidade	1	14776,00	14776,00
Extravazão					71,55
9859	Tubo PVC Roscável 3/4"	m	10	4,80	48,00
73	Adaptador PVC Roscável c/ Flanges e Anel Vedação 3/4"	Unidade	2	8,87	17,74
7123	Tê PVC c/ Rosca 3/4"	Unidade	1	1,76	1,76
3505	Joelho 90° PVC c/ Rosca 3/4"	Unidade	3	1,35	4,05
Reservatórios					
Plastifibra	25m³ - Reservatórios Fibra de Vidro (15m³ mais 10m³)	Unidade	1	5859,90	5859,90
Plastifibra	30m³ - Reservatórios Fibra de Vidro (15m³ mais 15m³)	Unidade	1	6721,80	6721,80
Plastifibra	35m³ - Reservatórios Fibra de Vidro (20m³ mais 15m³)	Unidade	1	8039,90	8039,90
Plastifibra	40m³ - Reservatórios Fibra de Vidro (20m³ mais 20m³)	Unidade	1	9358,00	9358,00
Mão de Obra (30% dos Materiais)					15162,21

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 14 – Valor total para cada garantia de atendimento

Garantia de atendimento	Volume do reservatório	Valor total
84,33%	25m ³	R\$ 64.067,92
88,94%	30m ³	R\$ 64.929,82
91,96%	35m ³	R\$ 66.247,92
93,73%	40m ³	R\$ 67.566,02

(fonte: elaborada pelo autor)

6.2 VERIFICAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO

Tendo os valores totais para implantação do sistema de aproveitamento para cada garantia de atendimento à demanda, foram calculados os tempos de retorno para o investimento. A economia com as despesas de água, devido a utilização da água coletada pelo sistema, foi considerada como amortização do investimento. Então foi realizada uma análise por meio do Valor Presente Líquido (VPL), que aplica uma taxa mensal nos valores devido a desvalorização do dinheiro no tempo. A taxa adotada foi de 0,5874% ao mês, correspondendo a 7,28% ao ano, sendo a média do rendimento das poupanças de julho a início de novembro de 2014. Para cada garantia de atendimento foram calculadas as economias mensais na utilização da água considerando uma demanda de 3,18m³ por dia e o custo da água para fábrica de 0,18 reais/m³ e os resultados estão na tabela 15.

Tabela 15 – Economia mensal utilizando água da chuva

Garantia de atendimento	Demanda mensal de água (m ³)	Custo mensal com água	Economia mensal com aproveitamento de água da chuva	Custo total de implantação do sistema
84,33%	95,4	R\$ 17,17	R\$ 14,48	R\$ 64.067,92
88,94%	95,4	R\$ 17,17	R\$ 15,27	R\$ 64.929,82
91,96%	95,4	R\$ 17,17	R\$ 15,79	R\$ 66.247,92
93,73%	95,4	R\$ 17,17	R\$ 16,10	R\$ 67.566,02

(fonte: elaborada pelo autor)

Devido ao alto custo para implantação do sistema e ao baixo custo da água utilizada pela fábrica Celulose Riograndense os investimentos não apresentaram tempo de retorno aceitável, resultando em valores superiores a 100 anos.

7 CONCLUSÃO

A fábrica Celulose Riograndense apesar de ter grande área de cobertura para coleta de águas pluviais, não teria um retorno quanto ao investimento em um sistema de aproveitamento de água da chuva. Isso se deve ao fato da fábrica ter uma estação de tratamento da água própria e ter um custo do metro cúbico de água tratada para utilização, muito baixo. A água recebe um tratamento simples devido a sua destinação em atividades onde não necessita água potável e atualmente não existe nenhuma taxa para extração de água do Lago Guaíba cobrada da Celulose Riograndense.

O sistema apresentou um elevado custo para implantação, acima de R\$64.000,00 dos quais aproximadamente 50% associado ao filtro mais mão de obra. Os benefícios seriam apenas quanto aos impactos ambientais devido à extração de água do Lago Guaíba, reduzindo em aproximadamente 95,4m³ de água por mês que poderia ser atendida pelo sistema. Também é importante salientar que o custo encontrado para as calhas no valor de 9.240,00 reais pode ser considerado como um gasto fora ao de implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva, porque a fábrica não possui calhas, projetando água da chuva diretamente do telhado, o que não está correto.

Considerando a situação atual da água no Planeta e levando em conta a diminuição dos recursos hídricos com o passar dos anos, devido ao crescente consumo e poluição da água, pode-se esperar que no futuro o sistema de aproveitamento de água da chuva possa ter um tempo de retorno mais próximo do esperado. Sabemos que o Lago Guaíba tem apresentado uma qualidade da água cada vez pior e se por algum motivo no futuro a Celulose Riograndense tenha que procurar outras fontes para suprir sua demanda de água, poderá contar com o aproveitamento de água pluvial.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 15.527**: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Decreto n. 24.643**, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Rio de Janeiro, 1934. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>. Acesso em: 10 jun. 2014.

_____. Congresso Nacional. **Lei n. 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1 da Lei n. 8011, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n. 7990, 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997. Não Paginado. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 04 jun. 2014.

BUFFON, F. T. **Aproveitamento de águas pluviais**: efeito sobre o sistema de drenagem urbana. 2010. 59 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

DORNELLES, F. **Aproveitamento de água da chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

DREHER, V. L. P. **Possíveis soluções para o uso racional da água na edificação da câmara municipal de Porto Alegre**. 2008. 102 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GB ECO SOLUTIONS. **Filtros de água de chuva – PURAIN** dimensionamento, instalação e manutenção. 8 f. 2010.

IMMICH JUNIOR, E. G. **Eficácia de sistemas de aproveitamento da água da chuva**: efeito do tamanho das séries de precipitação. 2013. 89 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. **Consumo sustentável**: manual de educação. Brasília. 2005. Disponível em: <http://www.idec.org.br/uploads/publicacoes/publicacoes/Manual_completo.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2014.

MANO, R. S. **Captação residencial de água da chuva para fins não potáveis em Porto Alegre**: aspectos básicos da viabilidade e benefícios do sistema. 2004. 175 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PEDRONI, G. P. **Aproveitamento de água da chuva em uma escola pública de Caxias do Sul**. 2013. 85 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ROSA, T. M. **Reaproveitamento de águas pluviais**: custo de implantação deste sistema no prédio central de Porto Alegre. 2012. 72 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SCHNEIDER. **Lista de preços Schneider**. 45 f. 2013. Disponível em:
<<http://www.eletricaflorida.com.br/lista-precos/schneider-ago-2013.pdf>> Acesso em 10 nov. 2013.

SHIKLOMANOV, I. A. **World Water Resources: a new appraisal and assessment for the 21st century**. Paris: UNESCO, 1998. Disponível em:
<www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/Papers/Shiklomanov.pdf> Acesso em: 05 jun. 2014.

SILVA, L. F. S. da. **Aproveitamento de águas pluviais**: ferramentas para tomadas de decisões em projetos. 2012. 121 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

URBANO, E. **Separador de águas de chuva de baixo custo para casa popular**. [S.I.], 2013. Disponível em:
<<http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/minicisterna/separadordeaguasdachuva.jpg>>. Acesso em: 10 nov. 2014.