



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE
ÁGUA DE CHUVA EM UMA EMPRESA DE GALVANIZAÇÃO

DIEGO FONTES LUSTOSA

BELO HORIZONTE

2019

DIEGO FONTES LUSTOSA

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE
ÁGUA DE CHUVA EM UMA EMPRESA DE GALVANIZAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção de título de Engenheiro Ambiental
e Sanitarista.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Peixoto Amaral

BELO HORIZONTE

2018

DIEGO FONTES LUSTOSA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM UMA EMPRESA DE
GALVANIZAÇÃO**

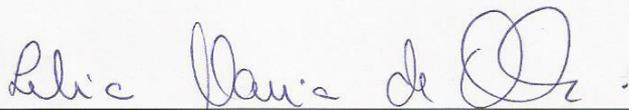
Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista.

Data de aprovação: 18/06/2019

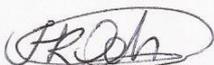
Banca Examinadora:



Luciana Peixoto Amaral – Presidente da Banca Examinadora
Prof.^a Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais



Lília Maria de Oliveira
Prof.^a Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais



Frederico Keizo Odan
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles sem os quais a conclusão deste trabalho e deste curso de graduação não seriam possíveis. Primeiramente a minha mãe pelo apoio incondicional e por ser motivação para minha vida, ao meu irmão por estar presente principalmente nos momentos de dificuldade e aos meus avós por toda a ajuda e apoio, cada um de sua maneira.

Deixo meu sincero obrigado aos professores do DCTA que contribuíram com minha formação profissional, em especial a professora Luciana, minha orientadora neste trabalho, a professora Valéria e o Professor João Maurício meus tutores do Programa de Educação Tutorial que ajudaram a manter viva minha paixão pela Engenharia Ambiental e Sanitária e aos professores Lília e Fred, membros da banca de avaliação.

Agradeço aos meus amigos do colégio e de adolescência por estarem sempre ao meu lado, a Isabella pelo companheirismo de sempre e aos amigos que fiz no CEFET, aqueles que estiveram comigo desde o começo e os que adotei ao longo do curso, deixo meu obrigado pelas risadas e os momentos de descontração, sem os quais não seria possível chegar ao final deste trabalho com sanidade mental.

Finalmente deixo meu obrigado a todos aqueles que minimamente conspiraram e contribuíram para o sucesso deste trabalho.

RESUMO

LUSTOSA, Diego Fontes. *Análise da Viabilidade Técnica e Econômica do Aproveitamento de Água de Chuva em uma Empresa de Galvanização*. 2019. 62f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

Em um cenário mundial de escassez hídrica e busca por alternativas para o abastecimento de água, o aproveitamento de água de chuva surge como uma opção de captação de água de boa qualidade e com baixo custo. No contexto industrial em diversos processos ainda é utilizada água potável para fins que não exigem tal padrão de qualidade como por exemplo em processos de lavagem de peças, resfriamento, lavagem de pisos e em bacias sanitárias. Tendo em vista que tais processos geralmente demandam grandes quantidades de água não potável e levando-se em consideração que, em áreas industriais, geralmente têm-se grandes áreas de telhado com potencial de captação de águas de chuva, existe no âmbito industrial um grande potencial para implantação destes sistemas de aproveitamento. Diante deste grande potencial, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica e economia de um sistema de aproveitamento de água de chuva dimensionado para uma empresa de galvanização na região metropolitana de Belo Horizonte. Para isto, foi feito o dimensionamento do sistema utilizando os métodos de Rippl e da Simulação, foi feita uma análise crítica dos resultados do dimensionamento para avaliar a eficácia e precisão dos métodos para o contexto do trabalho. O resultado do dimensionamento mostrou que o método de Rippl e da Simulação apresentam algumas limitações em situações nas quais a área de captação e a demanda mensal de água de chuva são consideravelmente grandes. Para os cenários estabelecido nos quais foi possível o dimensionamento do reservatório segundo o método de Rippl resultaram reservatórios extremamente grandes, os quais foram considerados tecnicamente inviáveis devido a extensa área necessária para implantação. Foram dimensionados reservatórios utilizando-se o método da simulação aplicando-se séries diárias e séries mensais. Houve uma diferença significativa no percentual de demanda suprida por água de chuva entre os

dois casos. O reservatório dimensionado pelo método da simulação com séries diárias foi utilizado como base para elaboração de um pré-projeto que possibilitasse um orçamento do sistema. Foi feito o payback do valor do orçamento a partir da economia de consumo de água da companhia que seria promovida pelo sistema, chegando-se um tempo de retorno de três meses e meio.

Palavras-Chave: Aproveitamento de Água de Chuva. Galvanização. Viabilidade Técnica.

ABSTRACT

LUSTOSA, Diego Fontes. *Analysis of the Technical and Economic Viability of a Rainwater storage and reuse system in a Galvanizing Company*. 2019. 62f. Monograph (Graduate) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

In a world scenario of water scarcity and search for alternatives to water supply, the use of rainwater appears as a good quality and low cost water catchment option.

In the industrial context in several processes drinkable water is still used for purposes that do not require such quality standards as for example in parts washing processes, cooling, floor washing and flushing in sanitary basins. Considering that such processes generally demand high flows of non-potable water and taking into account that in industrial areas there are generally large roof areas with rainwater collecting potential, there is a great potential in the industrial scope for the implantation of rainwater storage and reuse systems.

In view of this great potential, the objective of this work was to evaluate the technical and economical viability of a rainwater storage and reuse system designed for a galvanization company in the metropolitan area of Belo Horizonte. For this, the system was designed using the Rippl and Simulation methods, a critical analysis of the results of the design was done to evaluate the effectiveness and precision of the methods for the work context. The scaling result showed that the Rippl and Simulation methods present some limitations in situations in which the catchment area and the monthly rainwater demand are considerably large.

For the scenarios established in which it was possible to design the reservoir according to the Rippl method resulted in extremely large reservoirs, which were considered technically unviable due to the extensive area required for implantation.

The reservoirs were designed using the simulation method, applying daily series and monthly series. There was a significant difference in the percentage of demand supplied by rainwater between the two cases. The reservoir sized by the daily series simulation method was used as the basis for preparing a pre-project that would allow a system budget. The budget value payback was made from the company's water consumption savings that would be promoted by the system, with a three and a half month return.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da água no Planeta Terra.....	6
Figura 2 - Escassez em 2010 e projeção de escassez em 2050.	7
Figura 3 - Percentual de água destinado a uso na agricultura, industrial e para abastecimento urbano de acordo com o total retirado e em média por país.	10
Figura 4 - Demandas por finalidade no Brasil, em 2016.	11
Figura 5 - Elementos do sistema de aproveitamento de águas de chuvas.	17
Figura 6 - Filtro Industrial VF12.	20
Figura 7 - Tonel manual para descarte das primeiras águas pluviais.	21
Figura 8 - Sistema automático para descarte da primeira água com boia flutuante.	22
Figura 9 - A esquerda tanques de água de lavagem, a direita tanques de ácido clorídrico para deca-pagem.	35
Figura 10 - Projeção do telhado sobre o solo.	43
Figura 11 – Reservatório de diâmetro=18 m na Área 1.	50
Figura 12 - Reservatório de diâmetro=18 m na área 2.	50
Figura 13 - Reservatório de diâmetro= 14m na área 1.	51
Figura 14 - Resultados obtidos pela aplicação do método da simulação para diversos volumes com séries mensais e diárias.	54
Figura 15 - Avaliação da implantação de reservatório de 15 m ³ na área 2.	55
Figura 16 - Posicionamento dos reservatórios, inferior e superior.	56
Figura 17 - Sistema de distribuição de água de chuva.	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	3
2 OBJETIVOS.....	5
3.1 Objetivo geral	5
3.2 Objetivos específicos	5
3 REFERENCIAL TEÓRICO	6
4.1 Disponibilidade da água no mundo e no Brasil	6
4.2 Usos da água	9
4.2.1 Usos consuntivos e não consuntivos.....	11
4.2.2 Uso da água na indústria.....	11
4.3 Sistemas de aproveitamento de água de chuva.....	14
4.2.3 Qualidade da água de chuva.....	15
4.2.4 Dimensionamento de elementos do sistema de aproveitamento de água de chuva	16
4.2.1 Sistema de Captação	16
4.2.2 Sistema de Transporte	18
4.2.3 Dimensionamento do reservatório de armazenamento	22
4.4 Aspectos legais no aproveitamento de água pluvial	27
4.4.1 Legislação federal.....	28
4.4.2 Legislação Estadual.....	29
4.4.3 Legislação Municipal (Betim-MG).....	30
4.4.4 Normas técnicas brasileiras.....	30
4.5 Vantagens e desvantagens no aproveitamento de águas de chuva....	31
4.6 Viabilidade Econômica.....	33
4.6.1 Prazo de retorno (Payback).....	33
4 METODOLOGIA	34
5.1 Caracterização do empreendimento.....	34
5.1.1 O processo de galvanização	35
5.2 Concepção do sistema de aproveitamento de água de chuva	36

5.3 Dimensionamento dos elementos sistema de aproveitamento de água de chuva	37
5.3.1 Levantamento e estimativa da demanda de água de chuva	37
5.3.2 Dimensionamento das estruturas de captação e distribuição	38
5.3.3 Dimensionamento do volume do reservatório	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
6.1 Estimativa das demandas de água pluvial.....	41
6.2 Área de Contribuição e Pluviometria.....	42
6.3 Dimensionamento das calhas, condutores e dispositivos de descarte das primeiras chuvas.....	44
6.4 Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl.....	44
6.4 Análise da viabilidade técnica dos reservatórios dimensionados pelo método de Rippl	49
6.5 Limitações do método de Rippl para o problema	52
6.6 Dimensionamento do reservatório pelo método da simulação com séries mensais	52
6.7 Dimensionamento do reservatório pelo método da simulação com séries diárias	53
6.8 Avaliação econômica do sistema	55
6 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	62
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), em 2018, aproximadamente 27% da população mundial (1,9 bilhão de pessoas) vivem situação potencial de escassez hídrica pelo menos durante um mês do ano. A partir deste cenário, emergem diversas discussões sobre alternativas para a diminuição da escassez hídrica no planeta e, dentre estas, pode ser destacado o aproveitamento de águas pluviais.

A Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM) define sistemas de aproveitamento de água de chuva como “um conjunto de elementos, de tecnologia relativamente simples e econômica, que objetiva captar e armazenar a água de chuva para uso futuro”.

Existem indícios que há mais de 2000 anos a.C., sociedades no México e na Mesopotâmia já utilizavam reservatórios para captação e aproveitamento de água de chuva. Atualmente, em países como Alemanha, Japão e Estados Unidos existem diversos estudos empenhados no aproveitamento de águas de chuva para fins não-potáveis. No Brasil, as iniciativas ainda são incipientes, podendo-se destacar a construção de 20 mil novos reservatórios de captação no Nordeste entre os anos de 1997 e 1999 (THOMAS, 2010). O que é possível observar no cenário brasileiro é que prevalece a utilização de água potável para atividades que não necessitam de um padrão de qualidade tão rigoroso.

É necessário, portanto, que se proponha uma tecnologia capaz de utilizar fontes alternativas de água para suprir as demandas da indústria de maneira técnica e economicamente viável.

O aproveitamento de águas de chuva no meio industrial consiste em uma alternativa tecnológica ao consumo de água tratada ou retirada de água de corpos hídricos superficiais e lençóis freáticos. Segundo Telles e Costa (2010), o dimensionamento de reservatórios para reuso de água consiste também numa solução para a contenção de volumes precipitados na fonte, resultando assim em significativa contribuição na contenção de inundações em meios urbanos.

Desta maneira, a elaboração de um trabalho de análise de viabilidade técnica e econômica constitui um importante passo para a implantação de um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva.

No contexto da indústria da galvanização, a necessidade de formas alternativas de suprimento de água é ainda mais evidente, uma vez que o insumo é essencial para a preparação dos banhos de preparo da superfície para recebimento da camada metálica de revestimento.

O resultado da implantação desse tipo de sistema acarretaria em um aumento do desempenho ambiental da organização, na redução de custos no processo produtivo, em virtude da diminuição de custos com a aquisição de água via companhia de saneamento e, ainda, ganhos ambientais para sociedade, que se beneficiaria com a diminuição do volume escoado, contribuindo assim para redução da ocorrência de enchentes.

2 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento de água de chuva para diferentes fins dentro de uma empresa do setor de galvanização.

3.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, têm-se:

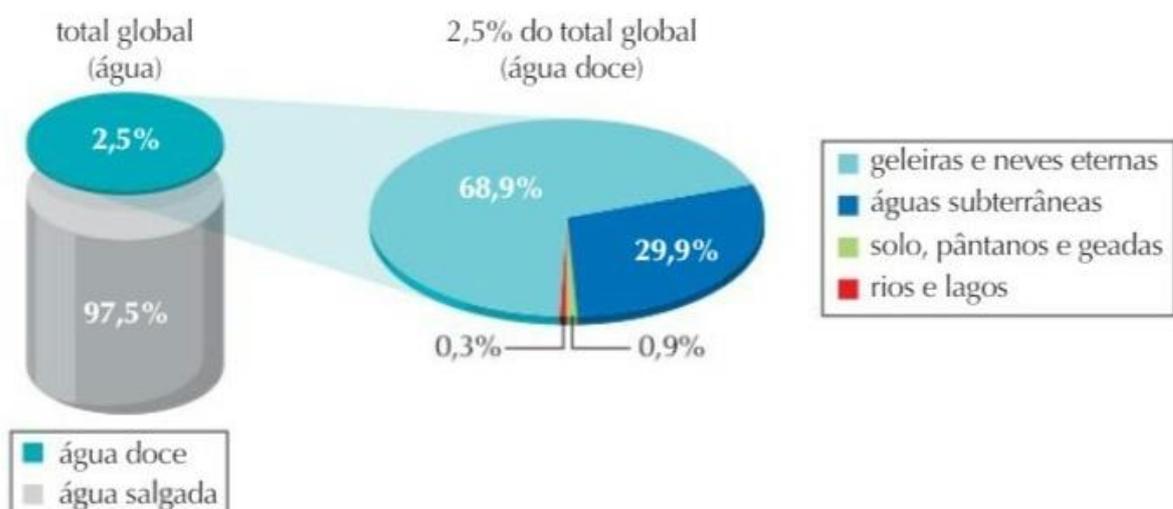
- 1) Levantar o potencial de captação de água de chuva, considerando as características das edificações presentes na indústria em estudo;
- 2) Dimensionar o reservatório de armazenamento de água de chuva, baseando-se em dados pluviométricos, vazões captadas e garantia de atendimento;
- 3) Analisar, do ponto de vista de demanda e volume, diferentes possibilidades de aplicação de águas de chuva captada, em utilizações conjuntas ou individuais;
- 4) Avaliar a eficácia e precisão dos métodos de Rippl e da Simulação no dimensionamento de reservatórios de água de chuva para o cenário escolhido; e
- 5) Analisar a viabilidade econômica da implantação do sistema, considerando-se a área de implantação, o investimento necessário e seu benefício econômico.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Disponibilidade da água no mundo e no Brasil

Existem 1386 milhões de Km³ de água no globo terrestre, entretanto a água doce representa apenas 2,5% deste total, sendo que deste percentual 68,9% está em estado sólido em geleiras e calotas polares e 29,9% representam águas subterrâneas, estando apenas 1,2% disponível em rios lagos ou outros reservatórios (TELLES e COSTA, 2010), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Distribuição da água no Planeta Terra.



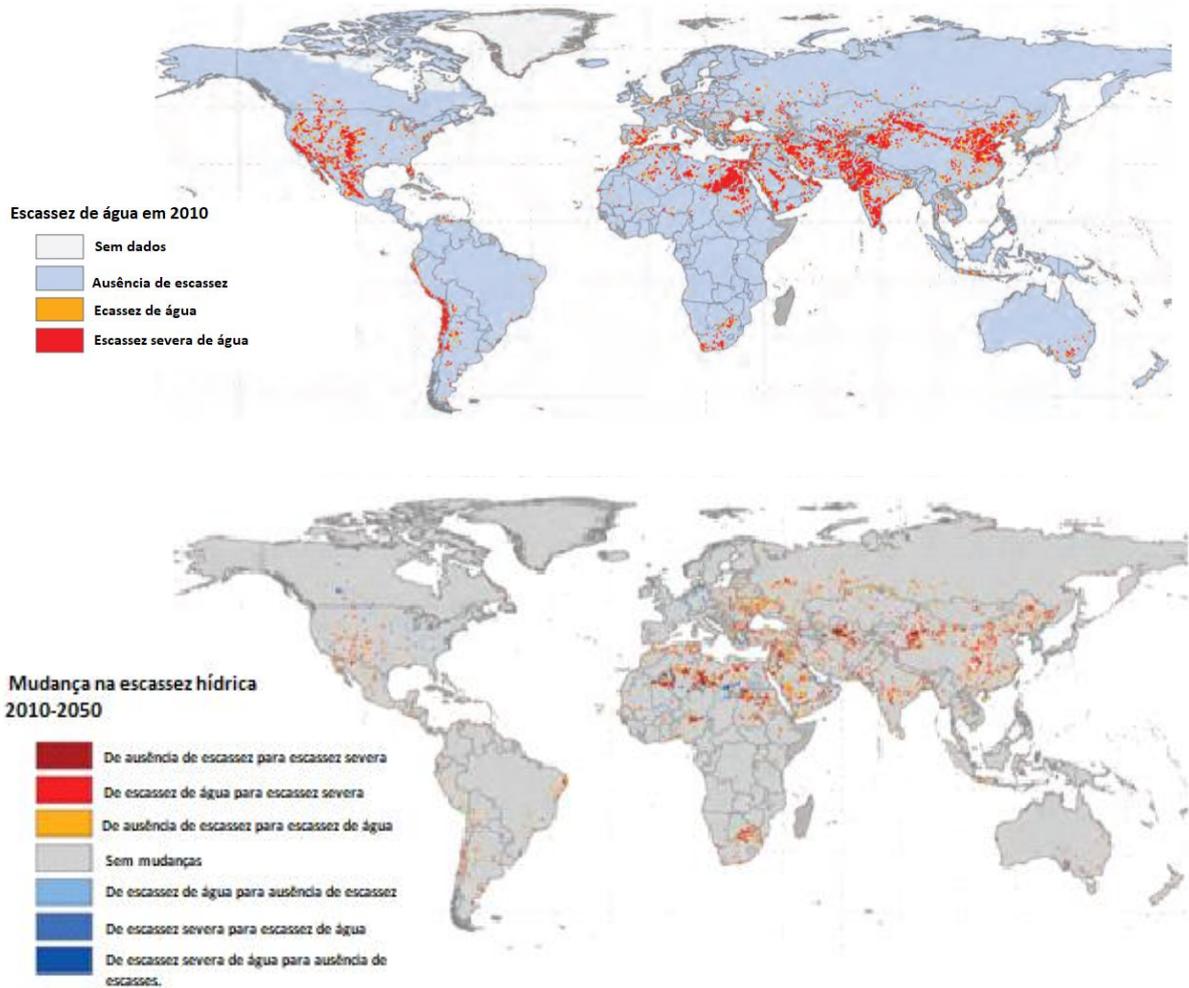
Fonte: TELLES e COSTA (2010).

Segundo a ONU, em 2018, aproximadamente 27% da população mundial (1,9 bilhão de pessoas) viviam em situação potencial de escassez hídrica pelo menos durante um mês do ano. A demanda por água doce vem aumentando 1% ao ano em função do crescimento populacional e do desenvolvimento econômico que traz consigo novos padrões de consumo, inclusive de recursos naturais para a sociedade.

A partir deste cenário, pode se observar diversas discussões a respeito de uma eminente escassez hídrica no planeta. De acordo com previsões realizadas pela Organização das Nações Unidas, em 2050, o número de pessoas vivendo em países com cenários potenciais de escassez hídrica pode aumentar para valores entre 2,7 e 3,2 bilhões de pessoas.

Na Figura 2 são apresentados o cenário de escassez hídrica em 2010 e uma projeção de escassez de água para o ano de 2050.

Figura 2 - Escassez em 2010 e projeção de escassez em 2050.



Fonte: Adaptada de ONU (2018).

Assim, como pode ser observado Figura 2, atualmente os países que mais sofrem com a escassez hídrica no mundo são aqueles localizados em faixas de latitude entre 10 e 40° N, do México até a China (ONU, 2018), fora deste intervalo destaca-se apenas a Oceania que, segundo Telles e Costa (2010), é o continente com a menor razão entre potenciais de consumo per capita e potenciais totais de água doce.

Em 2017, a Agência Nacional das Águas (ANA), estimou que o Brasil concentra 12% da disponibilidade de água doce do planeta. Para Tucci (2001), os rios em território brasileiro representam 50% do total na América do Sul. Estes recursos podem ser divididos em oito grandes bacias hidrográficas:

“De acordo com a divisão adotada pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, são oito as grandes bacias hidrográficas no País: a do rio Amazonas, a do rio Tocantins, as do Atlântico Sul, trechos Norte e Nordeste, a do rio São Francisco, as do Atlântico Sul, trecho Leste, a do rio Paraná, a do rio Paraguai, e as do Atlântico Sul, trecho Sudeste” (TUCCI, 2001, p.32).

Tratando-se de águas superficiais, a grande produção hídrica em território brasileiro, se levada em consideração a vazão da Bacia Amazônica que se encontra em território brasileiro, é de em média 257,790 m³/s (TUCCI, 2001, p.42).

Com relação às águas subterrâneas, estima-se que estas possuem vazão de recarga no território brasileiro equivalente a 42.289 m³/s. Em 2010, existiam aproximadamente 416 mil poços de captação no Brasil e a taxa de aumento estimada era de 10,8 mil novas captações ao ano, sendo o volume retirado de poços subterrâneos responsável pelo abastecimento de 30 a 40% da população (HYATA, ZOBY e OLIVEIRA, 2010, p. 149). Vale ressaltar a importância das águas subterrâneas no que diz respeito ao abastecimento de cursos d'água superficiais. Cerca de 90% dos rios brasileiros são abastecidos pelo fluxo base provenientes de aquíferos, tornando-se perenes (ANA, 2017b, p. 37).

Apesar da grande disponibilidade hídrica existente no território brasileiro, este volume se encontra distribuído de maneira não uniforme com relação à distribuição da população brasileira no país. A região Norte, por exemplo, concentra 80% do volume total de água doce no país e sua população corresponde a 5% dos brasileiros. Já as regiões próximas ao Oceano Atlântico contam com 45% da população e apenas 3% do volume hídrico disponível no país (TELLES e COSTA, 2010).

4.2 Usos da água

De acordo com a ONU, a demanda global por água é de 4600 km³ por ano sendo que a perspectiva é que, até 2050, atinja valores entre 5500 km³ e 6000 km³ por ano. Este crescimento é função do aumento da população, desenvolvimento econômico, aumento dos padrões de consumo, entre outros fatores (ONU, 2018, p. 10). Com relação ao crescimento populacional, a ONU afirmou que:

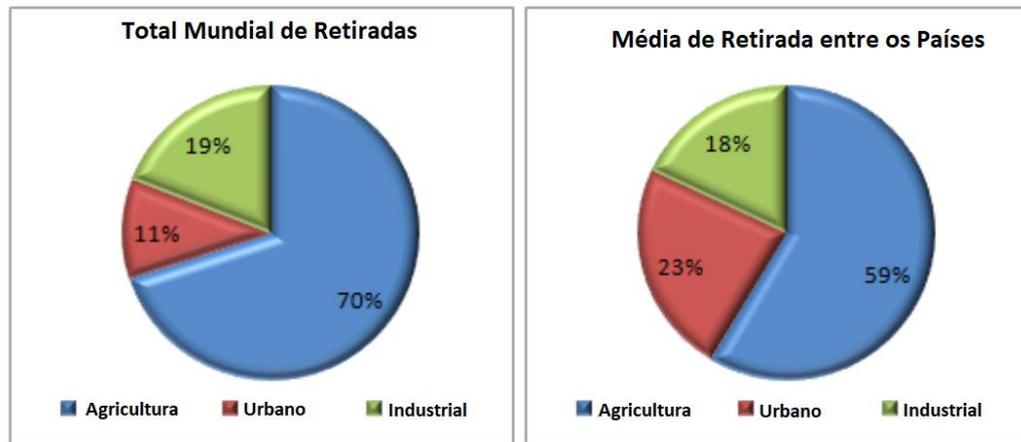
É esperado que a população mundial aumente de 7.7 bilhões em 2017 para entre 9.5 e 10.2 bilhões em 2050, sendo dois terços da população moradores de cidades [...] É esperado que a demanda global pela produção agrícola e de energia (principalmente comida e eletricidade), ambos com intensivos usos de água, deve aumentar aproximadamente para 60% e 80%, respectivamente em 2025 (ALEXANDRATOS e BRUINSMA, 2012; OECD, 2012). Ao mesmo tempo, a ciclagem global de água está se intensificando devido ao aquecimento global; as regiões úmidas estão geralmente se tornando mais úmidas e as regiões secas estão se tornando mais secas (IPCC, 2014). Estes aspectos de mudança global ilustram a necessidade de mudança no planejamento e execução de estratégias de gestão razoáveis e efetivas e medidas contra a deterioração da sustentabilidade da água (BUREK et al., 2016 *apud* ONU, 2018).

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 70% da retirada de água de rios e reservas subterrâneas é destinada à agricultura, sendo este percentual, em sua maior parte, destinado para irrigação. O setor industrial, por sua vez, é responsável pela retirada de um volume de 19% entre o total retirado. Os outros 11% do total retirado são destinados ao abastecimento urbano¹ (Figura 3).

Segundo a ANA (2017b), o Brasil é detentor de 12% de toda água doce presente no mundo. Os principais usos de recursos hídricos no Brasil são: irrigação, abastecimento urbano, uso industrial, abastecimento rural, mineração, termoelétrica e uso animal.

¹ Este percentual é avaliado com base nos países com maior índice de retirada de água, porém em uma análise isolada, os percentuais podem variar.

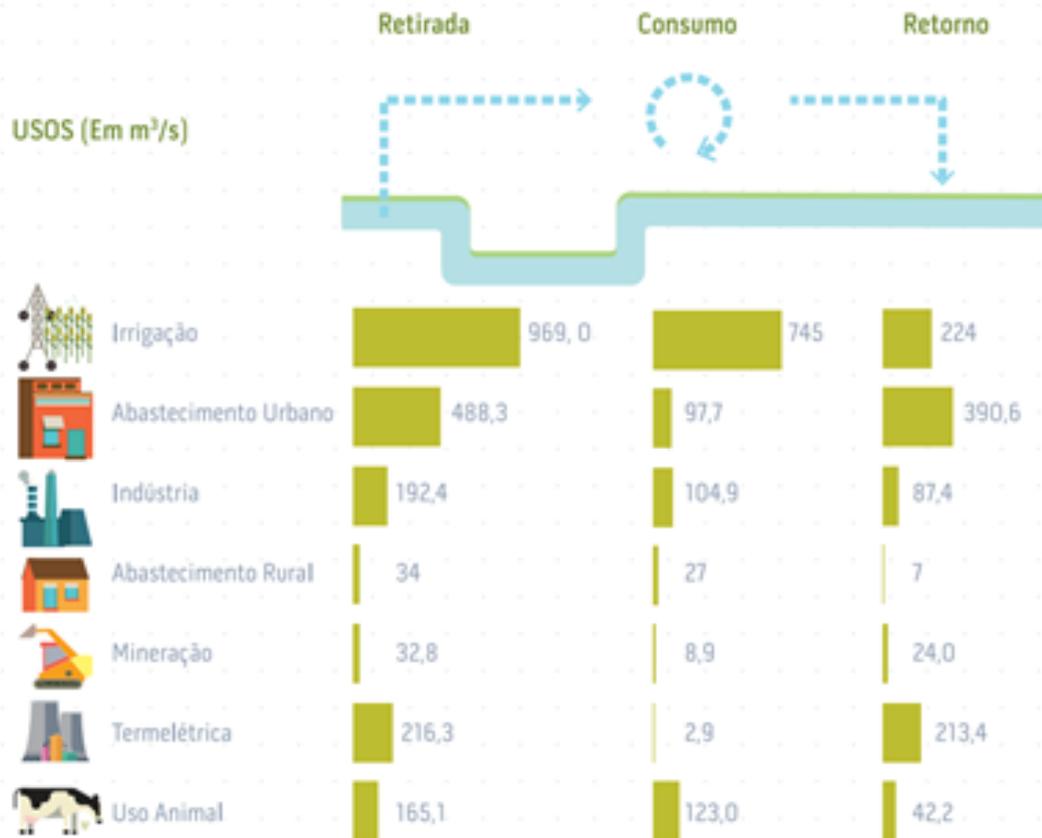
Figura 3 - Percentual de água destinado a uso na agricultura, industrial e para abastecimento urbano de acordo com o total retirado e em média por país.



Fonte: Adaptado da ONU (2018).

Na Figura 4 é apresentado o percentual de utilização de cada um destes usos, destacando-se a agricultura como o maior usuário de água no Brasil, 969 m³/s.ano, representando 46,19% do total.

Figura 4 - Demandas por finalidade no Brasil, em 2016.



Fonte: ANA (2017b).

4.2.1 Usos consuntivos e não consuntivos

O uso de água pode ser classificado em dois diferentes tipos: uso consuntivo e uso não consuntivo. Os usos consuntivos são aqueles que retiram água do corpo hídrico para utilização como, por exemplo, o abastecimento humano, a irrigação, usos industriais e a dessedentação de animais. Já os usos não consuntivos são aqueles que aproveitam a água no próprio corpo hídrico, não fazendo a retirada do recurso para utilização. Dentre estes usos podemos destacar: a navegação, produção de energia hidrelétrica e o lazer (ANA, 2017a).

4.2.2 Uso da água na indústria

A utilização industrial é a que compromete a terceira maior vazão dentre os diversos usos no Brasil. A utilização de água em processos produtivos pode ser feita

em diversas atividades como: matéria-prima e reagentes; solventes de substâncias sólidas, líquidas e gasosas; lavagem e retenção de materiais contidos em misturas; veículo de suspensão; e operações envolvendo transmissão de calor (ANA, 2017b).

Sobre o uso de água na indústria, em 2017, a Agência Nacional das Águas afirmou que: “A intensidade do uso da água depende de vários fatores, dentre eles, o tipo de processo e de produtos, tecnologias empregadas, boas práticas e maturidade da gestão”.

A água pode ser aplicada de diversas formas em processos produtivos, tanto em usos consuntivos quanto não consuntivos. A aplicação do recurso pode ser dividida em 5 grandes grupos:

- Consumo humano: a água é utilizada em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas e refeitórios, bebedouros, equipamentos de segurança (lava-olhos, por exemplo) ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto;
- Matéria-prima: a água pode ser incorporada ao produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cervejas e refrigerantes, de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, de cosméticos, de alimentos e conservas e de fármacos, ou então, é utilizada para a obtenção de outros produtos, por exemplo, o hidrogênio por meio da eletrólise da água;
- Uso como fluido auxiliar: a água, como fluido auxiliar, pode ser utilizada em diversas atividades, destacando-se a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem;
- Uso para geração de energia: para este tipo de aplicação, a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia cinética, potencial ou térmica, acumulada na água, em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica;
- Uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento: nestes casos, a água é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento devido à geração de calor, ou então, devido às condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento; e

- Outros Usos: utilização de água para combate à incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa (FIESP/CIESP, 2004).

O consumo de água em uma instalação industrial é influenciado por diversos fatores, dentre eles: o ramo de atividade, a capacidade de produção, as condições climáticas da região, o método de produção, a idade da instalação industrial (devido às alternativas tecnológicas adotadas), as práticas adotadas e a cultura da empresa e da comunidade local (FIESP/CIESP, 2004).

4.2.2.1 Uso da água no processo de galvanização

O processo de galvanização consiste na deposição de camada metálica de zinco em uma peça metálica para proteção contra corrosão (PANNONI, 2015). Apesar de serem processos semelhantes e com mesmo objetivo, a galvanização se diferencia da galvanoplastia. Na galvanização ou zincagem por imersão a quente, a peça metálica é submersa em um banho constituído pelo zinco aquecido em fase líquida (PANNONI, 2015). Já no processo de galvanoplastia ou eletrodeposição de metais, a peça é banhada em solução de íons metálicos que são aderidos a peça através de um campo elétrico.

O processo de galvanização pode ser dividido em quatro grandes etapas: limpeza, fluxagem, galvanização e passivação. Destes quatro, três utilizam grandes volumes de água (ICZ, 2010).

O processo de limpeza pode ser dividido em duas etapas: desengraxe e decapagem. O processo de desengraxe consiste em submergir a peça que será limpa em um tanque contendo solução de desengraxante. Já o processo de decapagem é realizado através da submersão da peça em tanque contendo solução ácida. Os ácidos mais comumente utilizados são o clorídrico, o sulfúrico e o fluorídrico. Após a submersão das peças nos tanques de desengraxante e de solução ácida, elas são banhadas em água para que seja retirado o excesso de ácido antes que a peça siga para etapa de decapagem (CAMPANHER, 2009).

4.3 Sistemas de aproveitamento de água de chuva

Segundo a FEAM, “O sistema de aproveitamento de água de chuva para consumo não potável consiste de um conjunto de elementos, de tecnologia relativamente simples e econômica, que objetiva captar e armazenar a água de chuva para uso futuro”.

Existem evidências de que o aproveitamento de água de chuva é uma técnica utilizada desde os anos de 2750 a.C. pelas sociedades mesopotâmicas que possuíam reservatórios de 98,93 m³, para captação de água de chuva e utilização para abastecimento público (ANAYA-GARDUÑO, 2001 *apud* THOMAZ, 2010).

Devido aos crescentes problemas de escassez que vem surgindo em virtude de alterações significativas no ciclo hidrológico, o aproveitamento de águas pluviais vem ganhado ênfase como uma alternativa de obtenção de água doce em diversos países como Alemanha, Estados Unidos e Japão (MAY, 2004).

O aproveitamento de água de chuva pode ser visto como um atrativo para a redução de custos de produção. A exploração desta fonte de captação de água, em substituições as técnicas tradicionais, além de minimizar a escassez de recursos hídricos, também resultará em um impacto econômico, diminuindo o preço final dos produtos. No caso das indústrias, a aplicação da técnica torna-se ainda mais relevante, dada à presença de fatores que favorecem a implantação deste tipo de sistemas e a existência de processos que demandam alto consumo de água (MAY, 2004).

Estima-se que até 50% da água utilizada em habitações pode ser substituída por água não potável. No que diz respeito a usos industriais, este percentual tende a subir, uma vez que, além da utilização de águas pluviais em regas, bacias sanitárias, há também a possibilidade da aplicação do recurso em sistemas de combate a incêndio, lavagem de veículos, abastecimento de caldeiras, limpeza de pátio, aspersão de vias, entre outras.

O funcionamento de sistemas de captação de água de chuva geralmente consiste na captação da água por meio das superfícies de telhados, condução da água através de tubos e calhas, passagem por dispositivos de desvio das primeiras chuvas e equipamento de filtração, caso necessário, e armazenamento em

reservatório superficial ou subterrâneo, de onde a água já pode ser diretamente bombeada ou não para utilização (NASCIMENTO, 2014).

4.2.3 Qualidade da água de chuva

Para Thomaz (2010), no âmbito do aproveitamento de águas pluviais, a qualidade de água pode ser encarada em quatro diferentes etapas: a) antes de atingir o solo; b) após escoar pela superfície de captação; c) no reservatório de armazenamento; e d) no ponto de uso.

Com relação à qualidade de águas de chuvas antes de atingir o solo, pode-se afirmar que esta tende a variar de acordo com a localização, bem como os possíveis contaminantes presentes na água. Nas regiões mais próximas do litoral, a tendência é que se encontre água pluvial com maior presença de potássio, magnésio, sódio e cálcio. Em regiões mais distantes da costa, há tendência de que as águas pluviais contenham sílica, ferro e alumínio. Com relação aos grandes centros urbanos, o maior problema está relacionado com a diminuição do pH da água de chuva através da reação da água com elementos como dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (THOMAZ, 2010).

De acordo com a norma ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR (Norma Brasileira) 15572:2007, para utilização de água de chuva para fins não potáveis devem ser respeitados os parâmetros de qualidade conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros de qualidade de águas de chuva para usos não potáveis.

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^b , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH ^c
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
NOTA Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
^a No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.		
^b uT é a unidade de turbidez.		
^c uH é a unidade Hazen.		

Fonte: Norma ABNT NBR 15572:2007.

Conforme estudo realizado por Cardoso (2009), em que analisou a qualidade de água da chuva após escoar pela superfície de captação em dois pontos da cidade de Belo Horizonte/MG, a água de chuva atendeu aos parâmetros preconizados pela ABNT NBR 15572:2007 e, para a maioria das amostras, atingiu inclusive os parâmetros de potabilidade previstos pelo Ministério da Saúde na Portaria 518/2004.²

4.2.4 Dimensionamento de elementos do sistema de aproveitamento de água de chuva

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial podem ir desde simples baldes a coletar a água da chuva que cai dos tubos de queda, até sistemas muito complexos com reservatórios de grandes dimensões, sistemas de filtragem, sistemas de bombeamento e unidades de controle que regulam as redes hídricas (NASCIMENTO, 2014).

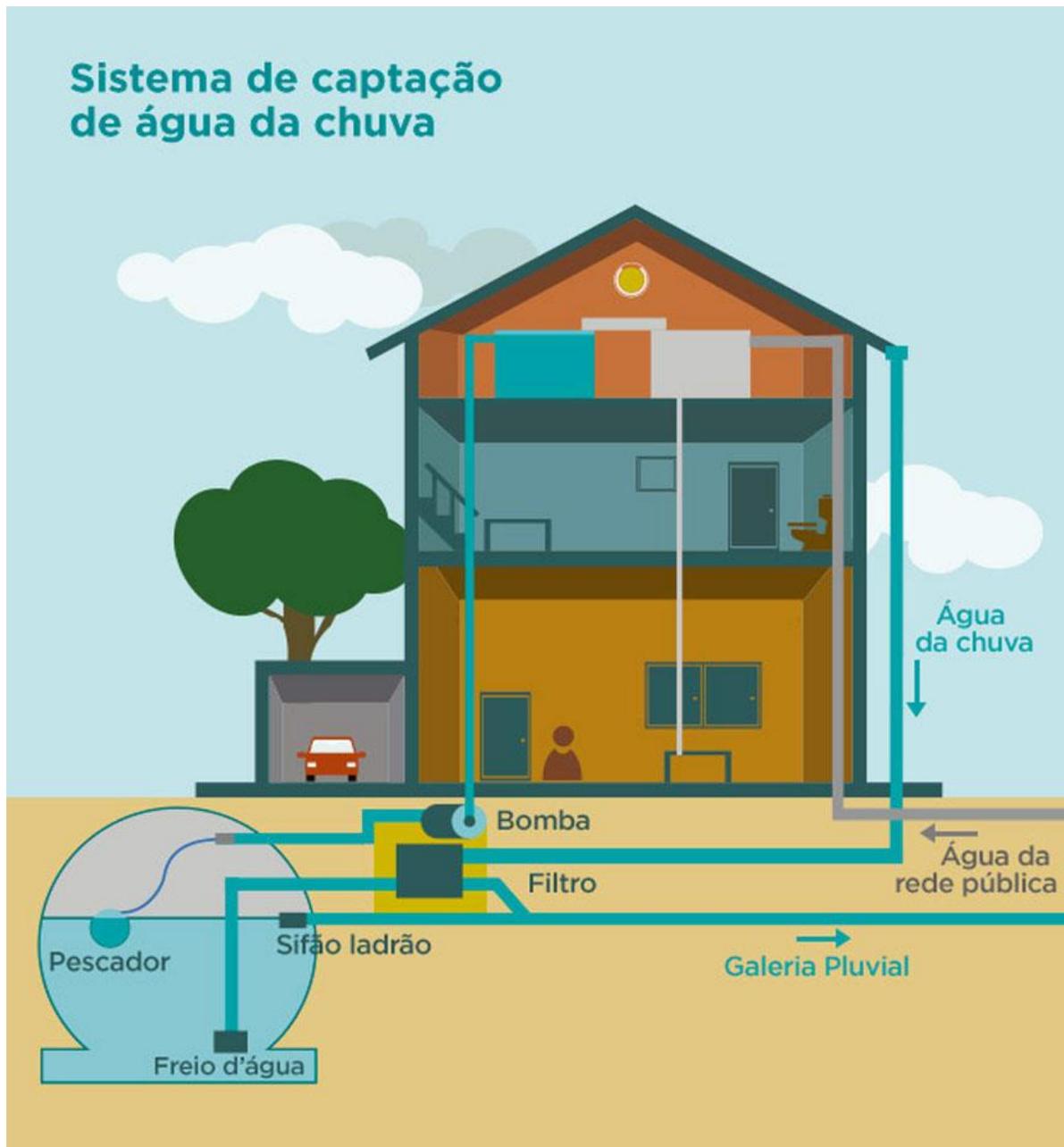
Para Nascimento (2014), um sistema típico é composto pelos seguintes componentes básicos: área de captação, rede de transporte, sistema de tratamento e armazenamento e o sistema de distribuição.

4.2.1 Sistema de Captação

Segundo May (2004), qualquer superfície impermeabilizada pode ser utilizada para coleta de água de chuva, como telhados, coberturas, pavimentos, rochas, entre outras. Entretanto, tratando-se de captação por meio de pavimentos, apesar da possibilidade de captação de maiores volumes, corre-se maior risco de contaminação da água, por estas superfícies estarem sujeitas ao trânsito de animais, pessoas e veículos. Por outro lado, a norma ABNT NBR 15527:2007, considera como superfícies de captação, apenas as superfícies de coberturas.

² Revogada pela Portaria nº 2.914 de 12/12/2011 que foi consolidada pela PRC nº 5 do Ministério da Saúde.

Figura 5 - Elementos do sistema de aproveitamento de águas de chuvas.



Fonte: Instituto Nacional de Educação Ambiental – Acessado em 08/01/2018.

4.4.5.1 O Coeficiente de *runoff*

O volume de água precipitado não representa o volume de água aproveitável, uma vez que devem ser consideradas as perdas por evaporação e vazamentos. Por isto, é utilizado, para efeito de cálculo, o coeficiente de aproveitamento de água pluvial, chamado também de coeficiente de *runoff*, denominado pela letra C.

O coeficiente de *runoff* é determinado em função do material da superfície de captação conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Valores do coeficientes de *runoff* para diversas superfícies.

Material	Coeficiente		Fonte
	Mínimo	Máximo	
Telhado: metal, cascalho, asfalto, fibra de vidro	0,9	0,95	Wilken (1978)
Telhado inclinado com telha cerâmica	0,75	0,9	Van den Bossche apud Vaes e Berlamont (1999)
Telhado inclinado com telha esmaltada	0,9	0,95	
Telhas cerâmicas	0,8	0,9	Hofkes (1981)
Telhas corrugadas de metal	0,7	0,9	e Frasier (1975)

Fonte: May (2004).

4.2.2 Sistema de Transporte

O sistema de transporte é composto basicamente por calhas, condutores verticais e horizontais e separadores de materiais grosseiros.

As calhas devem ser dimensionadas de acordo com a ABNT NBR 10844:1989, que estabelece diretrizes para sistemas prediais de águas de chuva. O material a ser adotado pode ser aço galvanizado, folha de flandres, chapas de cobre, aço inoxidável, alumínio, fibrocimento, PVC rígido, fibra de vidro, concreto ou alvenaria (ABNT NBR 10844:1989).

Os condutores horizontais também devem seguir as recomendações da ABNT NBR 10844:1989, mantendo sempre que possível declividade uniforme com - valores mínimos de 0,5% e lâminas de alturas iguais a 2/3 do diâmetro interno. Com relação ao monitoramento e à manutenção destas estruturas, a norma recomenda que:

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

5.7.4 Nas tubulações enterradas, devem ser previstas caixas de areia sempre que houver conexões com outra tubulação, mudança de

declividade, mudança de direção e ainda a cada trecho de 20m nos percursos retilíneos. (ABNT NBR 10844:1989).

Na Tabela 3 são apresentadas as capacidades de vazão para os condutores horizontais, de acordo com o diâmetro, inclinação e o coeficiente de rugosidade de Manning.

Os telhados podem conter materiais grosseiros, como gravetos folhas e detritos, que quando carregados pela água de chuva para o sistema de aproveitamento, podem causar alteração na qualidade da água e obstrução de elementos do sistema. Por isto, se faz necessária a instalação de mecanismos capazes de separar estes materiais da água aproveitada (CALDEIRA, 2016).

A ABNT NBR 15527:2007 estabelece como obrigatória a presença de mecanismos separadores de materiais grosseiros. Entretanto, os padrões para este tipo de mecanismos fazem parte do escopo da Norma Brasileira ABNT NBR12213:1992.

Tabela 3 - Capacidade dos condutores horizontais circulares em L/min.

	Diâmetro interno (D) (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 %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
2	75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
3	100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
4	125	370	521	735	1.040	339	478	674	956	313	441	622	882
5	150	602	847	1.190	1.690	552	777	1.100	1.550	509	717	1.010	1.430
6	200	1.300	1.820	2.570	3.650	1.190	1.670	2.360	3.350	1.100	1.540	2.180	3.040
7	250	2.350	3.310	4.660	6.620	2.150	3.030	4.280	6.070	1.990	2.800	3.950	5.600
8	300	3.820	5.380	7.590	10.800	3.500	4.930	6.960	9.870	3.230	4.550	6.420	9.110

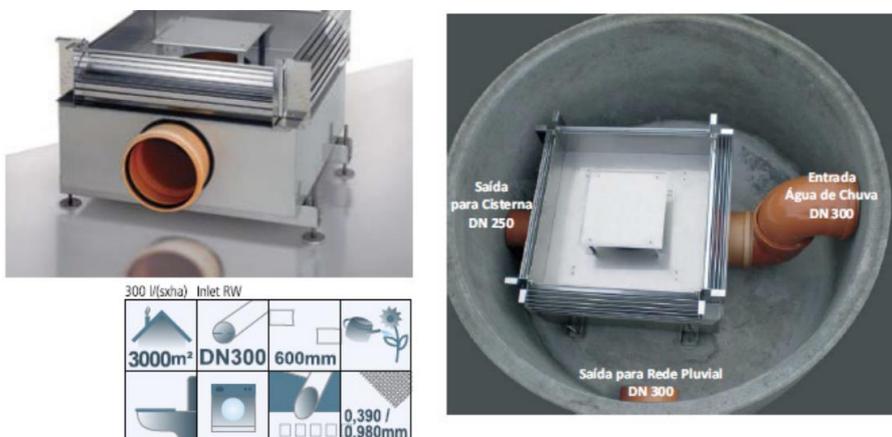
Fonte: NBR 10844:1989.

Segundo Caldeira (2016), existem vários tipos de dispositivos que podem ser utilizados para esta aplicação como: filtros Vortex, filtro Industrial e separador de folhas Fortlev. Dentre estes, destaca-se o filtro Vortex (Figura 6), mais indicado para

áreas de maior captação, cujo funcionamento foi descrito por Caldeira da seguinte maneira:

[...] ele possui um sistema duplo de limpeza (peneira grossa, depois fina) garantindo uma grande eficácia independente da vazão. Em função da forte inclinação do miolo filtrante a sujeira separada é continuamente encaminhada para a galeria pluvial. A saída para a galeria é conectada ao poço técnico. A sujeira cai no fundo do poço e é carregada quando ocorre uma precipitação com maior intensidade (2006, p. 39).

Figura 6 - Filtro Industrial VF12.



Fonte:3P TECHNIK. Acesso em 10 Julho. 2015 apud CALDEIRA, 2006.

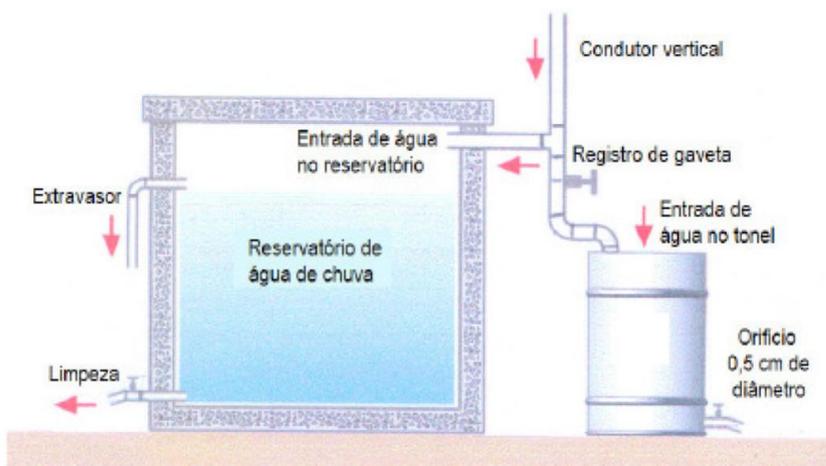
4.2.6.1 Sistema de Descarte das Primeiras Águas

Conforme a ABNT NBR 15527:2007, “Pode ser instalado no sistema de aproveitamento de água de chuva um dispositivo para o descarte da água de escoamento inicial. ” Para Nascimento (2014), estes dispositivos permitem desviar materiais finos e dissolvidos que se depositam na cobertura como areia, fezes de animais, cinzas, sementes e microrganismos patogênicos.

O sistema de descarte da primeira água, ou *first-flush*, consiste no desvio do primeiro volume de água gerado em um evento de precipitação. Desta forma, o volume descartado “lava” a cobertura de captação, propiciando maior qualidade ao volume de água realmente aproveitado (NASCIMENTO, 2014).

Os sistemas de descarte da primeira água podem ser automáticos ou manuais. Uma das técnicas manuais é o Tonel de Descarte para Água (Figura 7) de limpeza do telhado.

Figura 7 - Tonel manual para descarte das primeiras águas pluviais.



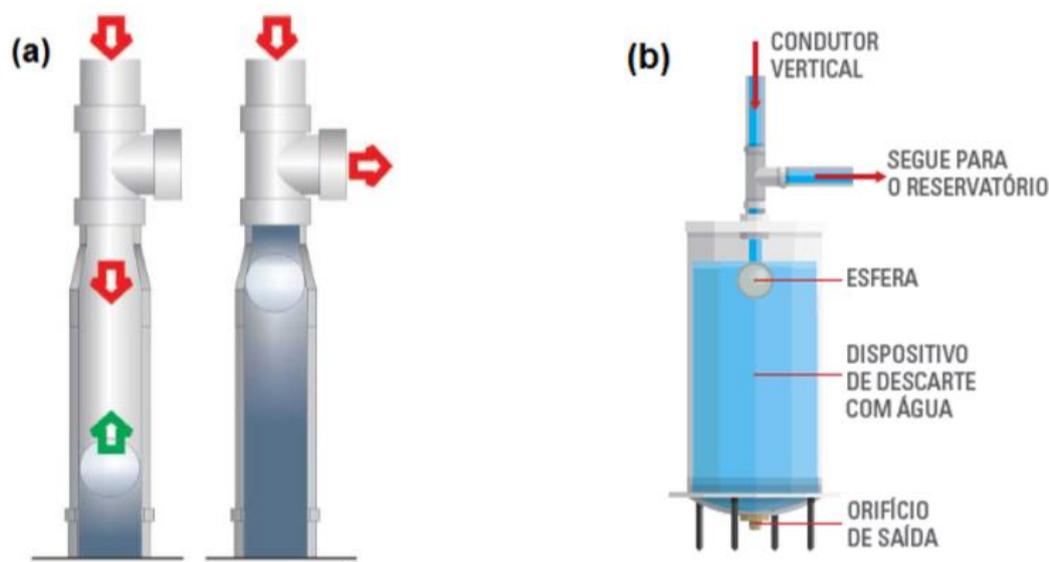
Fonte: DACACH (1990) *apud* CALDEIRA (2006).

De acordo com DACACH, 1990 *apud* May 2004, este sistema consiste em um tonel com capacidade de 50 L, com um orifício de 50 mm, podendo ter um volume maior dependendo da área de captação utilizada. Ao início do evento chuvoso, a água é inteiramente escoada para o tonel. No decorrer do evento, o tonel de descarte se enche, ao mesmo tempo que parte do volume é descartado pelo orifício. Devido à vazão de descarga pelo orifício ser relativamente pequena, o nível de água atinge a altura do ramal horizontal que se conecta com o reservatório de água de chuva. A vazão de descarga do orifício atinge seu valor máximo devido à estabilização do nível d'água, e o reservatório de descarte passa a operar em regime contínuo até que o evento chuvoso finalize.

A ABNT NBR 15527:2007 recomenda que os sistemas de descarte das primeiras águas sejam automáticos. Uma das opções para sistemas de desvio automáticos é a utilização de uma válvula esfera (Figura 8). Neste tipo de sistema, uma esfera presente dentro do tubo vertical conectado à calha de captação sobe na medida em que o tubo se enche, impedindo o fluxo quando o reservatório atinge o nível máximo (CALDEIRA, 2016).

Com relação ao volume que deve ser descartado a cada evento chuvoso, a ABNT NBR 15527:2007 recomenda que este deve ser dimensionado pelo projetista, podendo, na falta de dados, ser adotado o descarte de um volume equivalente a 2 mm de pluviosidade sobre a área de captação. Para Dacach 1990 *apud* Thomaz 2010, deve ser considerada uma faixa de descarte entre 0,8 e 1,5 L para cada m² utilizado como área de captação na cobertura.

Figura 8 - Sistema automático para descarte da primeira água com boia flutuante.



Fonte: CALDEIRA (2016) *apud* (a) REVISTA TÉCNICA PINI. (Acesso em 03 jan. 2016). (b) FEAM (2016) adaptado de PROSAB (2006).

4.2.3 Dimensionamento do reservatório de armazenamento

A NBR 15527:2007 propõe seis métodos para o dimensionamento do volume do reservatório de armazenamento, sendo eles: Método de Rippl, Método da Simulação, Método Azevedo Neto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano. Estes métodos podem ser utilizados a critério do projetista dependendo dos dados disponíveis para o dimensionamento.

3.4.7.1 O método de Rippl

Thomaz (2010) define este método como sendo o mais utilizado para o dimensionamento de reservatórios devido a sua simplicidade de aplicação e a possibilidade de aplicá-lo para séries mensais, anuais ou históricas. Ressalta-se ainda que este método foi obtido através de uma adaptação do método de Rippl utilizado em modelos hidrológicos e pode ser aplicado por um método analítico ou um método gráfico.

Para a ABNT NBR 15527:2007, o volume adotado para o reservatório deve ser o somatório das diferenças entre o volume de chuva aproveitável no tempo determinado e a demanda de consumo no mesmo tempo, conforme as equações 1 e 2.

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (1)$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{Precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação} \quad (2)$$

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores de } S_{(t)} > 0 \quad (3)$$

Sendo que: $\sum S_{(t)} < Q_{(t)}$

Em que:

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$Q_{(t)}$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t ;

$D_{(t)}$ é a demanda ou consumo no tempo;

V é o volume do reservatório;

C é o coeficiente de escoamento superficial;

Na Tabela 4 é exemplificado um dimensionamento de um reservatório de um sistema de aproveitamento de água de chuva, por meio do Método de Rippl, no qual o volume do reservatório escolhido seria de 18 m³, uma vez que este foi o maior volume acumulado obtido por meio da aplicação da fórmula, dentro do período de um ano.

Tabela 4 - Exemplo de dimensionamento de um reservatório de água de chuva pelo método Rippl utilizando coeficiente $C=0,8$.

Meses	Chuva média mensal	Demanda constante mensal	Área da captação	Volume de chuva mensal	Diferença entre os volumes da demanda – vol. de chuva Col.3 – col. 5	Diferença acumulada da coluna 6 dos valores positivos
	(mm)	(m ³)	(m ²)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Janeiro	272	8	100	22	-14	
Fevereiro	243	8	100	19	-11	
Março	223	8	100	18	-10	
Abril	89	8	100	7	1	1
Maio	92	8	100	7	1	2
Junho	47	8	100	4	4	6
Julho	40	8	100	3	5	11
Agosto	30	8	100	2	6	16
Setembro	82	8	100	7	1	18
Outubro	121	8	100	10	-2	16
Novembro	114	8	100	9,0	-1,0	15
Dezembro	216	8	100	17	-9	6
Total	1569	96 m ³ /ano		126 ≥ 96 m ³ /ano		

Fonte: Adaptado de THOMAZ (2010).

Na Tabela 4 pode ser verificado que o método de Rippl consiste em calcular qual o volume de água de chuva não suprido pela água de chuva em cada mês, ou seja a diferença entre a vazão demandada em um determinados mês e a vazão suprida pelo volume coletado naquele determinado mês (coluna 6) e então acumular estes valores para um determinado período. O maior valor acumulado corresponde ao volume que necessita ser armazenado para suprir a demanda total por água de chuva (Thomas, 2010).

3.4.7.2 Método da Simulação

Segundo a ABNT NBR 15527:2007, o método da simulação não leva em consideração a evaporação da água. Thomas (2010) acrescenta que este método adota duas premissas: o reservatório se encontra cheio no início da contagem do tempo t , e a série histórica adotada é representativa para as condições futuras. Ainda segundo o autor, é usual que seja a utilização de um período mensal para aplicação do método, que pode ser expresso pelas equações 4 e 5.

$$S_{(t)} = Q_{(l)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (4)$$

$$Q_{(l)} = C \times \text{precipitação da chuva (t)} \times \text{área de captação} \quad (5)$$

Onde

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$S_{(t-1)}$ é o volume de água no reservatório no tempo $(t - 1)$;

$Q_{(l)}$ é o volume de chuva no tempo t

$D_{(l)}$ é o consumo ou demanda no tempo t ;

V é o volume do reservatório fixado;

C é o coeficiente de escoamento superficial.

3.4.7.2 O Método Azevedo Neto

Conhecido também como Método Prático brasileiro, este é um método empírico no qual o volume do reservatório é definido, conforme a ABNT NBR 15527:2007 pela equação V.

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

onde:

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

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

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m^2);

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

A ABNT NBR 15527:2007 não define qual o critério deve ser seguido para determinar o que são meses de pouca chuva, dando abertura para que o projetista faça esta determinação. Rupp et al. (2011) considerou como meses de pouca chuva àqueles na qual o valor da precipitação foi menor que 20% da precipitação média mensal.

3.4.7.3 O Método Prático Alemão

Neste método, o volume do reservatório é determinado como 6% do menor valor entre o volume de precipitação anual. Conforme a ABNR NBR 15527:2007 Para a aplicação do método deve-se obter o volume de chuva total coleta em um ano, que pode ser calculado pela multiplicação entre a altura de precipitação anual e a área da superfície de coleta e a demanda anual por água de chuva. O menor valor entre os dois obtidos deve ser multiplicado por 0,06 para obtenção do volume do reservatório. (ABNT NBR 15527:2007).

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

Sendo:

V é o valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros (L);

D é o valor numérico da demanda anual de água não potável, expresso em litros (L);

V_{adotado} é o valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

Segundo Amorim e Pereira (2008), o método prático alemão deve ser utilizado em ocasiões nas quais deseja-se diminuir o volume do reservatório e, conseqüentemente, os gastos com a implantação, sendo necessária que haja outra fonte de água além da água de chuva. Ainda segundo os autores, os métodos práticos, no geral, são mais indicados para serem utilizados em sistemas residenciais.

3.4.7.4 Método Prático Australiano

Este método trata-se de mais um método empírico citado pela ABNT NBR 15527:2007, no qual o volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$(VII) \quad Q = A \times C \times (P-I)$$

Onde:

C é o coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P é a precipitação média mensal;

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

A é a área de coleta;

Q é o volume mensal produzido pela chuva

Neste método, para o dimensionamento do reservatório, devem ser feitas tentativas até que o valor otimizado para o volume e a confiança estejam dentro de padrões satisfatórios a partir das equações:

$$(VIII) \quad V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t$$

$$(IX) \quad Pr = Nr / N$$

Onde:

Q_t é o volume mensal produzido pela chuva no mês t;

V_t é o volume de água que está no tanque no fim do mês t;

V_{t-1} é o volume de água que está no tanque no início do mês t;

D_t é a demanda mensal;

Pr é a falha;

Nr é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_{t+1} = 0$;

N é o número de meses considerado, geralmente 12 meses;

A norma recomenda que a confiança esteja entre os valores de 90% e 99%. Segundo a ABNT NBR 15527:2007, a confiança deve ser calculada pela seguinte fórmula:

$$Pr = Nr / N$$

Nota-se que este método tem como peculiaridade o fato de que considera um coeficiente específico I para representar as perdas por evapotranspiração e pela água que molha a superfície, diferente dos métodos de Rippl e da simulação que utilizam apenas o coeficiente de Runoff para representar estas perdas.

4.4 Aspectos legais no aproveitamento de água pluvial

4.4.1 Legislação federal

4.4.1.1 Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934 (Código das Águas)

Este decreto instituiu o chamado Código das Águas, trazendo a definição de águas pluviais como “as que procedem imediatamente das chuvas”. Este decreto declara como inalienável o direito ao uso de água de chuva.

4.4.1.2 Lei 9.433, 8 de janeiro de 1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos

A Lei 9.433/1997 é conhecida como Lei das Águas. Segundo esta lei, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, a água é um bem de domínio público e dotado de valor econômico. Um dos objetivos desta política, segundo o Art. 2º, é “incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais” (Incluído pela Lei nº 13.501, de 2017).

4.4.1.3 Decreto Nº 8.038, de 4 de julho de 2003

Este decreto regulamenta o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras tecnologias sociais de acesso à água. Tal programa, implementado pelo Governo Federal, foi criado para estimular um acesso autônomo e democrático aos recursos hídricos, principalmente por famílias de baixa renda.

4.4.1.4 Projetos de Lei

Existem diversos projetos de lei tramitando pela Câmara dos Deputados e pelo Senado Federal para impulsionar o aproveitamento de águas pluviais. Dentre estes, pode-se destacar o PL 7231/2010, do Deputado Bernardo Ariston, que pleiteia a obrigatoriedade de implementação de mecanismos de aproveitamento de águas de chuva e reuso de água para edificações construídas com verbas federais.

Há ainda o Projeto de Lei 7818 de 2014 que pretende estabelecer uma Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas

Pluviais. Dentre as demais medidas, o projeto pretende criar incentivos econômicos para o aproveitamento de águas de chuva e impulsionar a adoção da técnica em municípios e empreendimentos. O projeto já foi aprovado pela Comissão de Meio Ambiente e aguarda parecer da Comissão de Desenvolvimento Urbano e da Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania. (26/10/2018)

4.4.2 Legislação Estadual

Segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), em 2015 ainda não havia legislação do estado de Minas Gerais, regulamentando o aproveitamento de águas de chuva. Diferentemente do que ocorre em âmbito federal, a Política Estadual de Recursos Hídricos não promove o aproveitamento de água de chuva.

4.4.3 Legislação Municipal (Betim-MG)

4.4.3.1 Lei Municipal 5.131 de 29 de abril de 2011

Esta lei criou o “Selo Amigo da Água”, concedido a empresas do município de Betim que executarem projetos que envolvam economia de água e aproveitamento de água de chuva. O selo constitui uma honraria concedida pela prefeitura às empresas.

4.4.3.2 Lei Municipal 6.223 de 24 de agosto de 2017 – IPTU Ecológico

Esta lei estabelece, no município de Betim, o IPTU Ecológico, concedendo aos imóveis do município com projetos aprovados para sistemas de catação e reuso de água de chuva as seguintes alíquotas de desconto pelos seguintes prazos: “a) 15% (quinze por cento) sobre os imóveis residenciais, pelo período de 04 (quatro) anos; b) 10% (dez por cento) sobre os imóveis comerciais, pelo período de 04 (quatro) anos; c) 10% (dez por cento) sobre os imóveis industriais, pelo período de 04 (quatro) anos.”

4.4.4 Normas técnicas brasileiras

4.4.4.1 ABNT NBR 10844:1989

A ABNT NBR 10844:1989 trata de instalações prediais de águas pluviais, descrevendo os requisitos necessários para o dimensionamento das estruturas do sistema de coleta, transporte e destinação de águas pluviais. Esta norma, inclusive, é citada pela ABNT NBR 15527:2007 como base para o dimensionamento de tais estruturas.

4.4.4.2 ABNT NBR 15527:2007

A norma brasileira NBR 15527:2007 estabelece requisitos para o aproveitamento de águas de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Dentro do escopo da norma são fornecidas diretrizes para a concepção de sistemas de aproveitamento de águas de chuva, parâmetros de qualidade da água a serem atendidos para o aproveitamento destinado a fins não potáveis, métodos de dimensionamento de reservatórios, requisitos para os elementos do sistemas e procedimentos de manutenção, entre outros.

4.5 Vantagens e desvantagens no aproveitamento de águas de chuva

Em 2014, Nascimento realizou, em seu trabalho, um levantamento dos pontos fortes e fracos, riscos e ameaças do aproveitamento de águas pluviais, através do Método da Matriz de SWOT (Strengths, Weakness, Opportunities and Threats), apresentado no Quadro 1.

De maneira complementar, em 2016, Caldeira também cita como possíveis pontos positivos a utilização de técnicas de aproveitamento de águas pluviais, a obtenção de certificações em sustentabilidade, a promoção da empresa através do marketing verde, além do aumento do desempenho ambiental da empresa, foco da aplicação de sistemas de gestão ambiental certificados pela norma ISO 14001:2015.

Além dos pontos positivos já apresentados, diversos autores, ligam a utilização de águas de chuva a melhorias na drenagem urbana. Em estudo realizado por Tassi e Hentgens (2013), os autores relacionam a implantação de microreservatórios para o aproveitamento de água pluvial, com uma significativa diminuição dos diâmetros estruturas de drenagem urbana, causando uma potencial redução nos custos de projetos de drenagem.

Quadro 1 - Matriz de SWOT para aproveitamento de água de chuva.

Pontos Fortes	Pontos Fracos
<p>Reduz os custos de exploração dos sistemas de abastecimento de água;</p> <p>-Diminui a dependência das reservas de água fluviais, que consumidas em excesso podem esgotar;</p> <p>-Reduz o volume de água pluvial lançado no sistema de águas pluviais, diminuindo o risco de inundações;</p> <p>-Água mais indicada para a rega;</p> <p>-Materiais e equipamentos largamente disponíveis no mercado;</p> <p>-Tecnologia simples que reduz os custos de instalação e manutenção;</p> <p>-Reduz o consumo de água da rede pública e o custo associado;</p> <p>-Permite armazenamento de uma grande quantidade de água em caso de emergências;</p> <p>-Reduz o consumo de energia necessário para purificar a água potável.</p>	<p>Pode ser necessário um investimento inicial significativo;</p> <p>-Limitação da quantidade de água pluvial aproveitada no tanque devido à variabilidade temporal da precipitação;</p> <p>-Dificuldade de dimensionamento correto do tamanho do reservatório devido à variabilidade da precipitação e consumos;</p> <p>-O sistema requer um espaço significativo para a sua instalação;</p> <p>-Ausência de legislação nacional que regule especificamente o aproveitamento de água pluvial.G2</p>
Oportunidades	Ameaças
<p>Devido às alterações climáticas, a diminuição da disponibilidade de água vem reforçar a necessidade deste tipo de sistemas;</p> <p>-Inovações tecnológicas têm vindo a reduzir o custo de investimento;</p> <p>-O preço da água e as tarifas associadas tem vindo aumentar tornando estes sistemas mais viáveis;</p> <p>-O mercado do aproveitamento de água pluvial tem aumentado e está disponível uma maior gama de soluções;</p> <p>-Permite aumentar a viabilidade de certos tipos de negócios (ex. lavandaria, lavagem de carros etc.).</p>	<p>A pouca informação disponível pode reduzir a aceitação desta tecnologia pelo público;</p> <p>-A concentração e intensificação dos fenómenos de precipitação vai exigir uma maior capacidade de transporte da superfície de captação até ao tanque e um maior volume de tanque para enfrentar os períodos secos que tendencialmente serão mais secos;</p> <p>-Existem equipamentos não certificados e sem qualidade no mercado que podem diminuir o interesse nesta tecnologia;</p> <p>-Existência de regulamentos municipais que impõem limitações.</p>

Fonte: NASCIMENTO (2014).

4.6 Viabilidade Econômica

A implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em unidades industriais pode demandar investimentos a longo prazo, estes também denominados como gastos de capital, investimentos cujos benefícios irão perdurar por mais de um ano. Os gastos de capital devem passar por uma análise técnica, sistemática e criteriosa, a fim de se tomar decisões assertivas que podem assegurar uma confortável posição no mercado para um empreendimento. Esta análise está dentro do escopo do orçamento do capital (BRAGA, 2009).

Conforme Braga (2009), vale ressaltar que além dos benefícios monetários de um gasto de capital que deve ser analisado tecnicamente, este tipo de investimento também envolve benefícios não monetários que podem ser analisados subjetivamente.

O ponto de partida do orçamento de capital está na determinação dos fluxos de pagamento e de recebimento distribuídos durante a vida útil do projeto, ou seja, a avaliação dos pagamentos e recebimentos adicionais que ocorrerão em virtude da implantação do projeto, os chamados fluxos de caixa incrementais (BRAGA, 2009).

Ainda conforme o autor os fluxos de caixa incrementais compreendem valores correspondentes a saídas líquidas de caixa ou investimento líquido e entradas líquidas de caixa ou benefícios monetários líquidos. As reduções nas saídas de caixa também devem ser consideradas como benefícios do projeto.

Entretanto, a elaboração do fluxo de caixa não é suficiente para que possa se decidir sobre a implantação ou não de um investimento. Segundo Braga (2009), são necessários métodos de avaliação para que a proposta seja passível de aceitação diante de critérios estabelecidos. Dentre os métodos mais comuns estão o valor atual líquido e a taxa interna de retorno.

4.6.1 Prazo de retorno (Payback)

Este método de análise de investimento permite determinar qual o tempo necessário para que o recurso investido seja recuperado. Geralmente a alta direção de uma organização determina qual o prazo máximo de retorno para que um investimento seja aprovado (BRAGA, 2009). Caldeira (2016) considerou como

aceitável para investimento em um sistema de aproveitamento de água de chuva, um período de retorno inferior a durabilidade do sistema.

O prazo de retorno pode ser calculado para entradas líquidas uniformes apenas dividindo o valor do investimento pelas entradas anuais. Já no caso de entradas desiguais, o payback é calculado acumulando-se as entradas até que as mesmas atinjam o valor do investimento (BRAGA, 2009).

4 METODOLOGIA

5.1 Caracterização do empreendimento

A empresa escolhida como estudo de caso é uma metalúrgica especializada na produção de peças para torres de linhas de transmissão de energia elétrica. O processo produtivo existente engloba a produção do material preto (peça não galvanizada), que abrange as atividades de corte, furação, solda, chanfro e dobra, como também a galvanização do material para obtenção do produto final (peça galvanizada pronta para montagem). Localizada no município de Betim, Minas Gerais, a empresa conta com 659 empregados, sendo 139 de áreas administrativas e 520 de áreas produtivas.

O empreendimento possui área total de 130.000 m², sendo deste 30.000 m² de área construída, dividida em dois galpões (um para produção e outro para armazenamento de material), um prédio destinado ao funcionamento das atividades administrativas, um segundo anexo para refeitório e um prédio onde funcionam portaria e vestiários.

A capacidade instalada de galvanização é de 60.000 toneladas/ano de material, para isto conta com 3 tanques de ácido clorídrico para decapagem de 13 m³, dois tanques de água de lavagem de mesma capacidade, um tanque de fluxagem, um tanque de solução desengraxante, uma cuba de zinco e um tanque de bicromatização.

O empreendimento possui um consumo médio de água de 2567,0 m³/mês (ano base: 2017). A água é utilizada na lavagem de peças, no processo de decapagem, na lavagem de pisos e nos banheiros.

5.1.1 O processo de galvanização

O empreendimento em questão adota o processo de zincagem por imersão a quente. Neste processo, o objetivo é a deposição de uma camada de zinco na peça a ser galvanizada. Porém, para garantia que a galvanização ocorra gerando uma camada com aderência e espessura apropriadas, existem algumas etapas anteriores ao banho de zinco.

Devido aos processos anteriores à galvanização, as peças ficam sujas com óleos e graxas que podem comprometer a galvanização. Por isto, a primeira etapa da limpeza da peça é a sua imersão em um tanque de 14 m³ de solução desengraxante.

Removidos óleos e graxas, o material passa por um banho de decapagem. O objetivo da decapagem é a remoção de carepas, camada oxidada que se forma na superfície do material de aço devido ao contato com ar e umidade. O processo de decapagem consiste na imersão das peças metálicas em uma solução de ácido clorídrico (HCl) com concentração que varia entre 33% e 22%. O processo de decapagem da empresa conta com 3 tanques de solução de ácido clorídrico, cada um com capacidade de armazenar um volume de 13 m³.

Figura 9 - A esquerda tanques de água de lavagem, a direita tanques de ácido clorídrico para decapagem.



Fonte: Autoria própria

Após o banho de ácido clorídrico, o material passa por dois banhos de enxágue. Cada banho de enxágue é realizado em um tanque com 13 m³. Atualmente, os tanques são abastecidos com água potável proveniente da companhia de abastecimento regional.

Após serem enxaguadas, as peças seguem para o processo de fluxagem. O objetivo desta etapa é aumentar a aderência da superfície para o recebimento da camada de zinco. Neste processo, a peça passa por uma solução preparada com cloreto de amônio.

Realizado o processo de fluxagem, a superfície está pronta para recebimento da camada de zinco. Porém, antes de ser imergida no tanque com temperatura média de 450 °C, a peça deve passar por uma estufa há 80 °C, que impede que ao entrar no tanque de zinco a peça sofra choque térmico.

Tendo passado pela estufa a peça recebe a camada de zinco através da imersão em zinco fundido. Após o processo de zincagem, há ainda uma última etapa que consiste do banho de bicromato, conhecida também como passivação. A passivação é responsável pelo resfriamento do material e fechamento da camada de zinco.

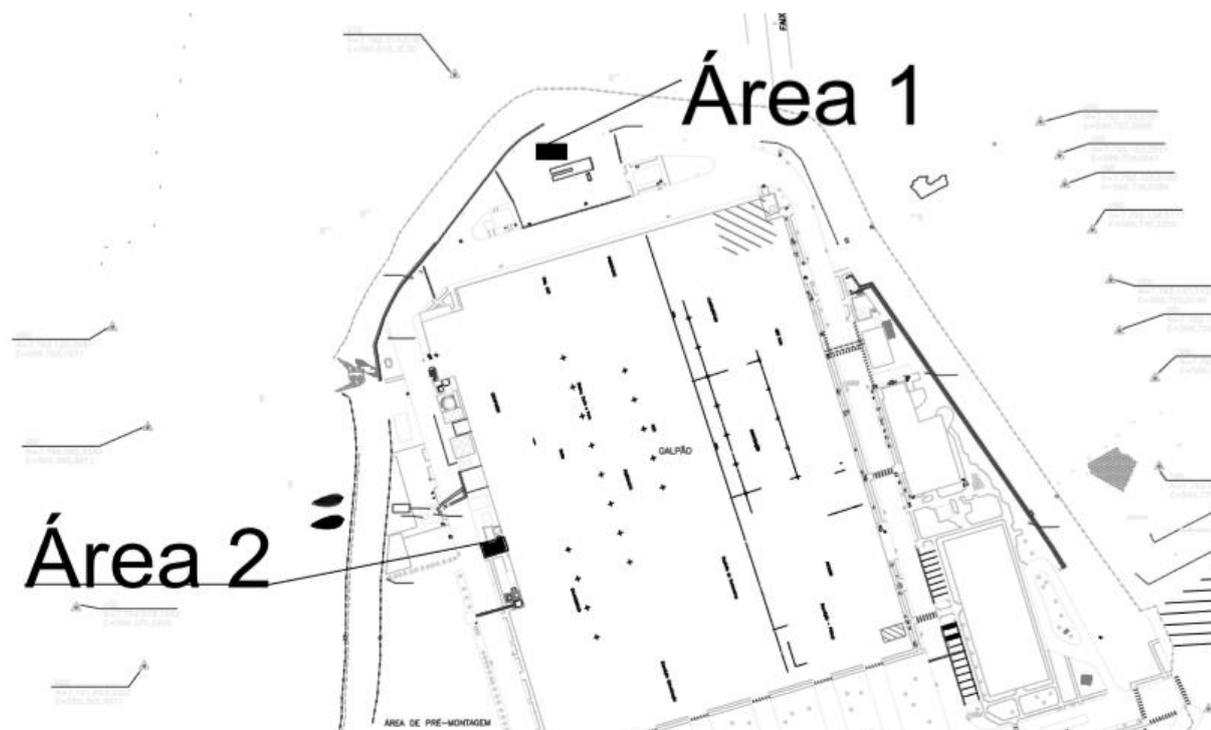
5.2 Concepção do sistema de aproveitamento de água de chuva

Foram consideradas duas possíveis áreas para implantação dos reservatórios. Na escolha das áreas foram considerados fatores como a proximidade com as fontes de distribuição, condições do terreno, ocupação da área e questões de segurança.

Vale ressaltar que no contexto da indústria mecânica, considerando a alta demanda do mercado pela otimização dos espaços produtivos, restam poucas áreas disponíveis que não estejam sendo utilizadas para produção ou armazenamento de material.

Para a implantação dos reservatórios, foram escolhidas as áreas 1 e 2, apresentadas na Figura 9, pois não são utilizadas para armazenamento de material, não são áreas produtivas ou de fluxo de máquinas e pessoas, não constituem áreas de taludes e não comprometeriam a segurança dos empregados caso fossem ocupadas pelo sistema.

Figura 9 – Áreas disponíveis para implantação dos reservatórios.



Fonte: Autoria Própria.

5.3 Dimensionamento dos elementos sistema de aproveitamento de água de chuva

5.3.1 Levantamento e estimativa da demanda de água de chuva

Nesta pesquisa, a água da chuva aproveitada será utilizada para três usos: lavagem de peças na linha de galvanização, utilização em bacias sanitárias e na limpeza dos pisos.

A determinação da demanda para lavagem de peças foi feita através da leitura do medidor de vazão localizado na entrada do tanque de lavagem de peças.

A demanda de utilização em bacias sanitárias foi estimada com base em Thomas (2010), considerando-se uma população fixa de 695 trabalhadores (média do ano de 2017) da empresa e a taxa de 5 acionamentos de descarga por dia por pessoa, sendo que a cada acionamento são demandados 9 litros de água.

A demanda de utilização de água em lavagem de pisos foi estimada conforme Thomas (2010), considerando-se uma taxa de 2 L/m²/dia. Também foi realizado o

cálculo do consumo médio total de água proveniente do sistema de abastecimento público no ano de /2017 por meio de levantamento das faturas de cobrança no ano.

5.3.2 Dimensionamento das estruturas de captação e distribuição

Foi calculada a vazão de projeto por meio do Método Racional, a intensidade de precipitação foi determinada por meio da equação IDR, sendo os coeficientes obtidos com base no programa Pluvio 2.1.

As estruturas de captação foram dimensionadas com base na equação de Manning-Strickler conforme ABNT 10844:1989.

Com relação ao sistema de distribuição de água, foi feito um croqui do traçado da rede de distribuição, com o intuito de identificar a necessidade de implantação de peças e acessórios, bem como determinar os comprimentos das tubulações.

Foram considerados os diâmetros já existentes para o sistema de distribuição de água potável, para fins de elaboração do orçamento. Foi verificado se os valores de depressão e velocidade nos trechos de tubulações estavam de acordo com a ABNT 5626:1998.

5.3.3 Dimensionamento do volume do reservatório

O dimensionamento da capacidade do reservatório para armazenamento de água pluvial é um dos pontos críticos na implantação do sistema, pois (RUPP, MUNARIM e GHISI, 2011):

(a) geralmente, é um dos itens mais caros na implantação do sistema, impactando significativamente o tempo de retorno do investimento; e

(b) é o principal fator a influenciar na confiabilidade do sistema, ou seja, desempenha um papel importante em evitar ocorrências em que a quantidade de água no reservatório é insuficiente para atender à demanda.

Portanto, o correto dimensionamento do reservatório é importante para evitar gastos desnecessários quando o reservatório é superdimensionado; ou

baixa eficiência, quando o reservatório é subdimensionado (RUPP, MUNARIM e GHISI, 2011).

O volume do reservatório foi dimensionado através do método de Rippl utilizando-se médias mensais de dados pluviométricos conforme ABNT 15527:2007, uma vez que se dispunha dos valores necessários para a aplicação do método e que este garante total suprimento da demanda de água chuva. (Thomas, 2010)

Uma vez que nem sempre é viável a utilização de água de chuva para atendimento da demanda total de um empreendimento, foram traçados quatro diferentes cenários para a aplicação do método de Rippl.

1º Cenário - Utilização de água de chuva para suprimento da demanda total: neste cenário considerou-se que a água de chuva atenderia a toda a demanda proveniente de lavagem de peças, descarga em bacias sanitárias e lavagem de piso de fábrica.

2º Cenário – Aplicação da água de chuva somente para descarga em bacia sanitária: considerando-se que a maior demanda por água não potável é proveniente de descargas em bacias sanitárias foi feito o dimensionamento do reservatório para este tipo de uso.

3º Cenário – Aplicação de água de chuva somente para lavagem de peças de galvanização: estando esta atividade localizada somente em um ponto da fábrica, a mesma demandaria menores investimento em infraestrutura, por isto foi considerada como uma opção, o dimensionamento de um reservatório para atender somente a esta demanda.

4º Cenário – Aplicação de água de chuva somente para lavagem de pisos: foi considerado o uso somente para lavagem de pisos como uma vez que a lavagem consome volumes consideráveis de água.

Foi feito o dimensionamento do sistema utilizando-se o método da simulação com séries pluviométricas mensais e diárias. Este método foi escolhido uma vez que consiste em um método mais flexível, que permite que o projetista escolha o volume do reservatório, evitando reservatórios superdimensionados.

Nos dois casos foi fixado um volume para o reservatório e analisado o percentual de atendimento da demanda de água de chuva para aquele volume de reservatório.

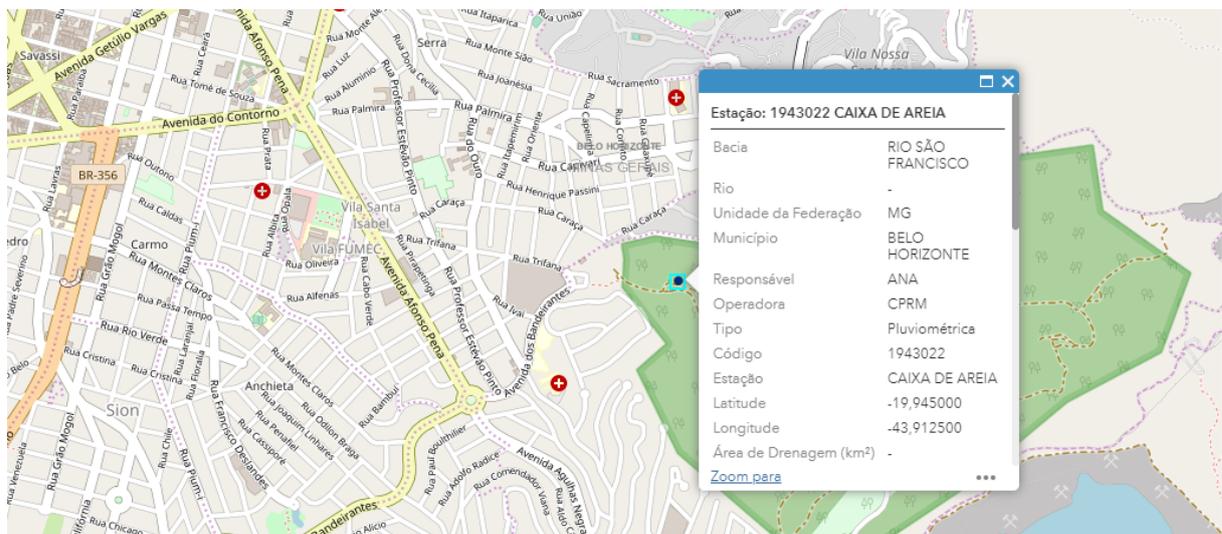
A área de captação foi determinada, por meio do software Autocad com base em projeto “asbuilt” existente no arquivo da empresa.

Os dados pluviométricos foram obtidos a partir da plataforma HidroWeb da Agência Nacional de Águas. Foram considerados dados da estação 01943022 “Caixa de Areia” (Figura 10), a estação se localiza a aproximadamente 20 km de distância do local do projeto.

Esta estação foi escolhida uma vez que é a estação mais próxima que possui uma consistência de dados que permita a determinação de uma série histórica de chuva, outras estações apesar de mais próxima haviam longos períodos de ausência de dados que poderiam comprometer a série.

Os dados foram trabalhados por meio de tabela dinâmica no software Excel, para obtenção de uma altura de precipitação média mensal. Para a aplicação do método da simulação com séries diárias, os valores de chuva diários coletados na mesma estação foram extraídos e reorganizados para possibilitar a aplicação do método.

Figura 10 – Localização da estação pluviométrica “Caixa de areia”.



Fontes: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/mapa_hidroweb.jsf

5.3.3 Orçamento

Foi elaborada uma planilha de orçamento com estimativa dos custos de implantação do projeto, sendo os custos de material estimados com base nos croquis elaborados. Os valores foram obtidos na planilha do Sistema Nacional de

Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Os valores que não foram encontrados na planilha foram estimados com base em consultas ao mercado.

A análise do retorno econômico em virtude da implantação do sistema foi obtida através do Método Payback, pois conforme Braga, 2010, o método permite uma visão da agilidade do retorno do investimento e se comparado com um padrão, pode ser utilizado para decisão sobre a viabilidade do investimento em alguns casos. Como critério para análise do Payback foi adotado um período de retorno menor que um ano, conforme política da empresa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Estimativa das demandas de água pluvial

As demandas de água não potável, as quais podem ser substituídas por água de chuva, foram divididas em três grupos: utilização em bacias sanitárias, utilização para lavagem de peças e lavagem de piso de fábrica. Os resultados obtidos constam na Tabela 4.

Tabela 4 - Demanda mensal de água de chuva para diferentes usos.

Demanda de água de chuva	
Tipo de Uso	Demanda mensal (m ³)
Uso na lavagem de peças	144,00
Uso para limpeza de pisos	374,18
Uso em bacias sanitárias	938,25
Total	1456,43

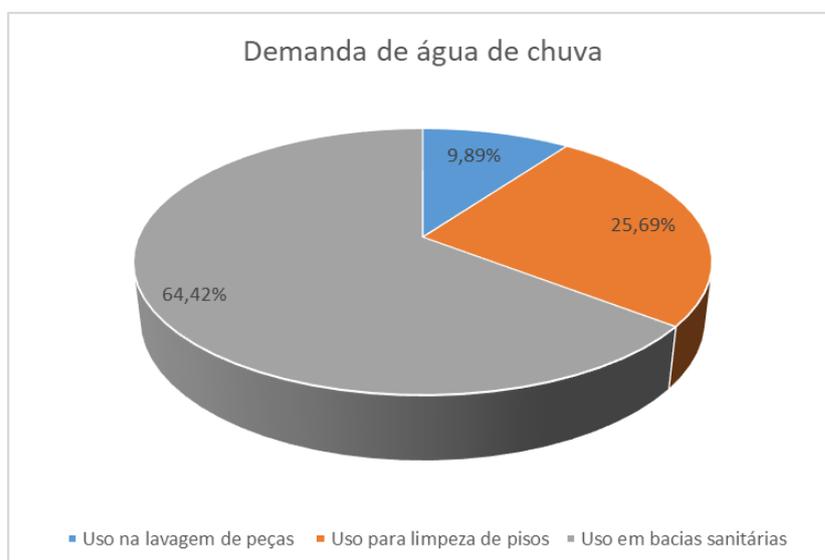
Fonte: Autoria própria.

Foi calculado, com base nas contas de água da empresa do ano de 2017, o consumo total médio de água da companhia no valor de 2634,00 m³/mês. Sendo assim, os usos não potáveis analisados os quais o abastecimento pode ser substituído por água de chuva constituem 55,29% da demanda total de água do empreendimento. Os dados corroboram com o que foi encontrado por Caldeira (2009) que para indústria metal mecânica encontrou um percentual de 58,46%, ao

considerar o emprego de água de chuva em limpeza de pisos, bacias sanitárias e rega de jardins.

No Gráfico 1 são apresentados os percentuais de demanda de água de chuva para cada uso proposto. Observa-se que, entre os usos propostos, o que representa um maior volume é a utilização em bacias sanitárias. Isto se dá provavelmente devido ao grande número de empregados que trabalham na empresa, bem como a implantação de tecnologias empregadas para diminuição do uso de água para lavagem de peças, ficando este uso com apenas 9,89% do total da demanda por água de chuva.

Gráfico 1 - Percentual de demanda de água de chuva para cada uso proposto.



Fonte: Autoria própria.

6.2 Área de Contribuição e Pluviometria

Foi utilizada uma série histórica de dezembro de 1940 a dezembro de 2017 para o cálculo da precipitação média mensal na região (Tabela 6).

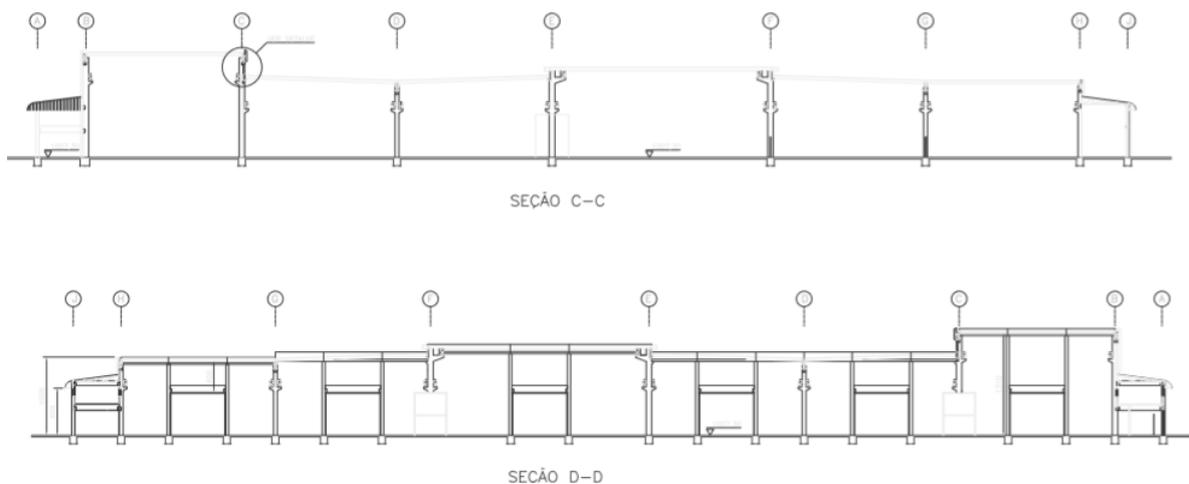
Tabela 5 - Média mensal de precipitação na região.

Precipitação média mensal	
Meses do Ano	Precipitação média (mm)
Janeiro	351,0555556
Fevereiro	221,3834586
Março	202,8587786
Abril	76,43484848
Maiο	30,31984733
Junho	14,01893939
Julho	12,46641791
Agosto	11,95639098
Setembro	48,41052632
Outubro	124,7192593
Novembro	265,1476563
Dezembro	408,9051852
Média Geral	147,6132538

Fonte: Autoria própria.

A distribuição da precipitação condiz com o clima tropical seco de Belo Horizonte e região metropolitana, com invernos bastante secos e altas taxas de precipitação de novembro a março.

Em relação à área de contribuição, obteve-se um valor de 23386,6 m², considerando-a igual a área de telhado, uma vez que a superfície do telhado é projetada paralelamente ao solo, conforme Figura 10.

Figura 10 - Projeção do telhado sobre o solo.

Fonte: Autoria própria.

6.3 Dimensionamento das calhas, condutores e dispositivos de descarte das primeiras chuvas

6.4 Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl

Para o dimensionamento do reservatório, foi feita a aplicação do método de Rippl considerando cinco diferentes cenários: 1) Utilização de água de chuva para suprimento da demanda correspondente aos 3 usos não potáveis previstos; 2) Aplicação de água de chuva somente para descarga em bacias sanitárias; 3) Aplicação de água de chuva somente para lavagem de peças para galvanização; 4) Aplicação de água de chuva somente para lavagem de pisos;

6.3.1 Cenário 1: Utilização de água de chuva para suprimento da demanda correspondente aos 3 usos não potáveis previstos.

O método de Rippl foi aplicado conforme Tabela 6, utilizando-se os valores de precipitação média mensal obtidos e a demanda total de água de chuva considerando os três diferentes tipos de uso. Foi adotado o coeficiente de runoff para telhados de cimento igual a 0,90, conforme Thomas (2010).

Tabela 6 - Aplicação do método de Rippl.

Meses	média mensal (mm)	Demanda (m ³ /mês)	Área de captação (m ²)	chuva mensal (m ³)	Vol. Demanda - Volume chuva (m ³)	Diferença Acumulada (+) (m ³)
Jan	351,055556	1456,4	23386,6	7389	-5933	0
Fev	221,383459	1456,4	23386,6	4660	-3203	0
Mar	202,858779	1456,4	23386,6	4270	-2813	0
Abr	76,4348485	1456,4	23386,6	1609	-152	0
Mai	30,3198473	1456,4	23386,6	638	818	818
Jun	14,0189394	1456,4	23386,6	295	1161	1980
Jul	12,4664179	1456,4	23386,6	262	1194	3174
Ago	11,956391	1456,4	23386,6	252	1205	4378
Set	48,4105263	1456,4	23386,6	1019	437	4816
Out	124,719259	1456,4	23386,6	2625	-1169	3647
Nov	265,147656	1456,4	23386,6	5581	-4124	-477
Dez	408,905185	1456,4	23386,6	8607	-7150	-7627
TOTAL	1767,67686	17477,2		37206		

Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, o volume dimensionado para o reservatório foi de 4816 m³, uma vez que segundo o Método de Rippl o volume do reservatório deve ser o maior valor encontrado para a diferença acumulada.

6.3.2 Cenário 2: Aplicação de água de chuva somente para descarga em bacias sanitárias

O método de Rippl foi aplicado considerando-se somente a utilização de bacias sanitárias, neste cenário o volume dimensionado do reservatório foi de 2305 m³, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Aplicação do Método de Rippl considerando somente o uso em bacias sanitárias.

Meses	Prec. média mensal (mm)	Demanda (m ³ /mês)	Área de captação (m ²)	Volume de chuva mensal (m ³)	Vol. Damanda - Volume chuva (m ³)	Diferença Acumulada (+) (m ³)
Jan	351,055556	938,3	23386,6	7389	-6451	0
Fev	221,383459	938,3	23386,6	4660	-3721	0
Mar	202,858779	938,3	23386,6	4270	-3332	0
Abr	76,4348485	938,3	23386,6	1609	-671	0
Mai	30,3198473	938,3	23386,6	638	300	300
Jun	14,0189394	938,3	23386,6	295	643	943
Jul	12,4664179	938,3	23386,6	262	676	1619
Ago	11,956391	938,3	23386,6	252	687	2306
Set	48,4105263	938,3	23386,6	1019	-81	2225
Out	124,719259	938,3	23386,6	2625	-1687	538
Nov	265,147656	938,3	23386,6	5581	-4643	-4104
Dez	408,905185	938,3	23386,6	8607	-7668	-11773
TOTAL	1767,67686	11259,0		37206		

Fonte: Autoria Própria.

Uma vez que a demanda de aplicação em bacias sanitárias era a maior dentre os 3 usos previstos, correspondendo a 64,42% da demanda total, o volume obtido do reservatório foi pouco menor que a metade do previsto para todos os usos.

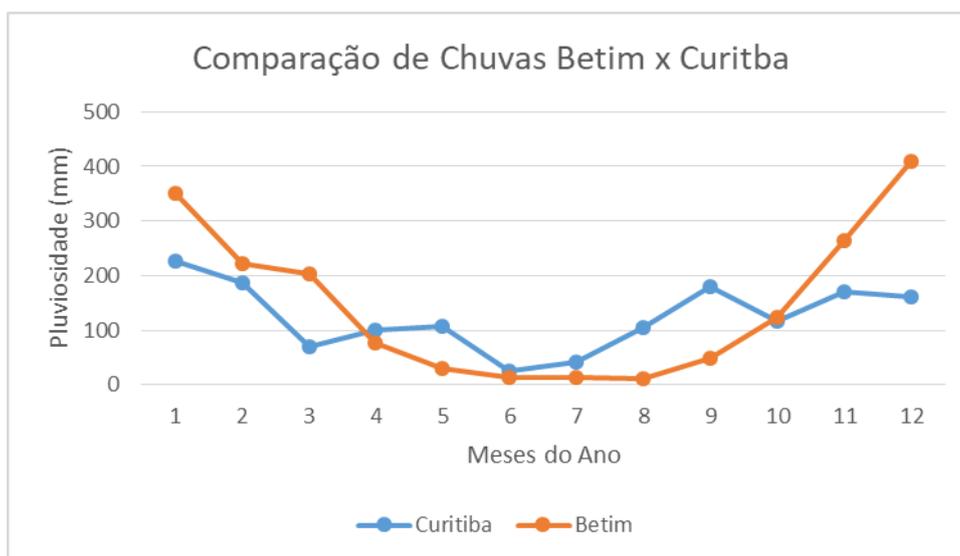
Teixeira et al. (2016), ao dimensionar um reservatório que atendesse a demanda de 805,80 m³/mês com uma área de captação de 25.000 m², semelhantes as deste projeto, na região metropolitana de Curitiba, encontrou volume 0 do reservatório. Isto ocorreu uma vez que apesar de a altura total de chuva em Curitiba ser maior, conforme pode ser visto na Tabela 8 e no Gráfico 2, a distribuição da pluviosidade é mais homogenia ao longo do ano.

Tabela 8 - Comparação de dados pluviométricos Betim e Curitiba.

	Pluviosidade (mm)	
	Curitiba	Betim
Janeiro	225,8	351,1
Fevereiro	186,6	221,4
Março	69,2	202,9
Abril	100	76,4
Mai	106,2	30,3
Junho	25,6	14
Julho	41,6	12,5
Agosto	104,2	11,9
Setembro	179,2	48,4
Outubro	116,6	124,7
Novembro	170,4	265,1
Dezembro	162,1	408,9
Desvio Padrão	61,6	140
Total Anual	1487,5	1767,7

Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 2 - Distribuição das chuvas ao longo do ano.



Fonte: Autoria Própria.

6.3.3 Cenário 3: Aplicação de água de chuva somente para lavagem de peças para galvanização

Para a aplicação do Método de Rippl considerando-se a demanda de lavagem de peças isoladamente obteve-se um volume de reservatório igual a 0. Isto ocorreu, pois, a diferença acumulada foi negativa para todos os períodos calculados, ou seja, em todos os meses o volume captado é suficiente para suprir a demanda de água daquele mês.

Tabela 9 - Aplicação do método de Rippl considerando uso somente para lavagem de peças.

Meses	média mensal (mm)	Demanda (m ³ /mês)	Área de captação (m ²)	chuva mensal (m ³)	Vol. Damanda - Volume chuva (m ³)	Diferença Acumulada (+) (m ³)
Jan	351,055556	144,0	23386,6	7389	-7245	0
Fev	221,383459	144,0	23386,6	4660	-4516	0
Mar	202,858779	144,0	23386,6	4270	-4126	0
Abr	76,4348485	144,0	23386,6	1609	-1465	-1465
Mai	30,3198473	144,0	23386,6	638	-494	-1959
Jun	14,0189394	144,0	23386,6	295	-151	-2110
Jul	12,4664179	144,0	23386,6	262	-118	-2228
Ago	11,956391	144,0	23386,6	252	-108	-2336
Set	48,4105263	144,0	23386,6	1019	-875	-3211
Out	124,719259	144,0	23386,6	2625	-2481	-5692
Nov	265,147656	144,0	23386,6	5581	-5437	-11129
Dez	408,905185	144,0	23386,6	8607	-8463	-19591
TOTAL	1767,67686	1728,0		37206		

Fonte: Autoria Própria.

Isto é comum na aplicação do método de Rippl para vazões baixas e grandes áreas de captação pois o método considera que todo o volume de chuva cai no início do mês e que o volume precipitado é consumido imediatamente após a precipitação.

6.3.4 Cenário 4: Aplicação de água de chuva somente para lavagem de pisos.

A demanda para lavagem de pisos corresponde a 25,69% da demanda total de água de chuva considerada para o empreendimento. Ao realizar a aplicação do

método de Rippl, similarmente ao Cenário 3, o volume do reservatório encontrado foi igual a 0.

6.4 Análise da viabilidade técnica dos reservatórios dimensionados pelo método de Rippl

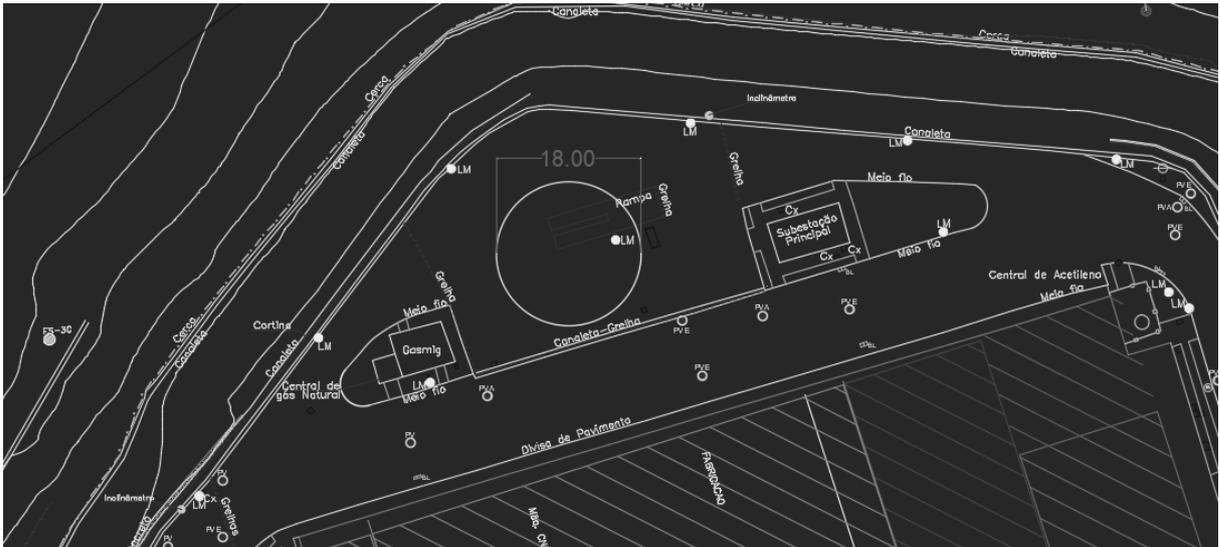
Como principal fator de análise da viabilidade técnica da implantação do reservatório, foi verificada a área disponível para implantação. Inicialmente foram levantadas duas áreas livres para implantação do reservatório: próximo ao lavador de veículos e próximo a estação de tratamento de efluentes.

Uma vez que a ABNT NBR 12217:1994 e sequer a ABNT NBR 5626:1998 propõe uma razão para dimensionamento de reservatório para cálculo da área ocupada pelo reservatório foi considerada uma razão de diâmetro da base: altura de aproximadamente 1:1, conforme é adotado nos reservatórios pré-fabricados.

Sendo assim para o cenário 1 o reservatório ocuparia 254 m², com 18 m de altura e 18 m de diâmetro, no cenário 2 o reservatório ocuparia 154 m² com 14,92 m de altura e 14 m de diâmetro.

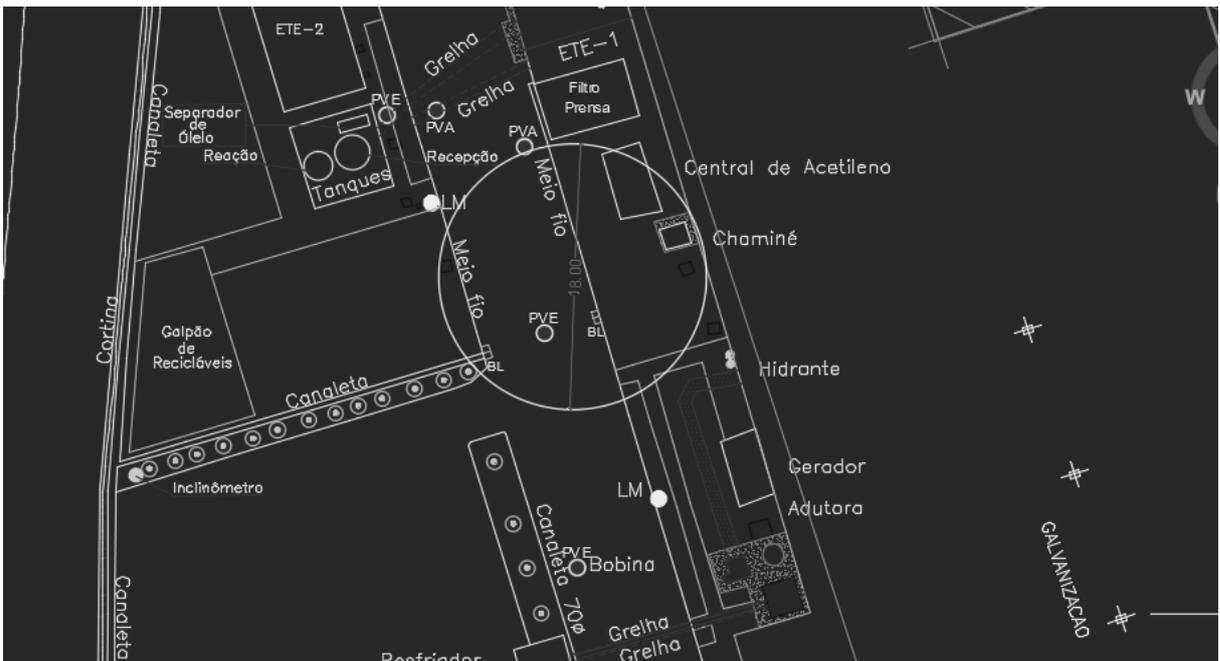
Avaliando as duas possibilidades de área de implantação conforme as Figuras 11, 12, 13 e 14, pode-se perceber que as áreas disponíveis não comportam reservatórios de áreas tão extensas. Considerando-se ainda a grande e constante movimentação de cargas por máquinas móveis presente na empresa e os requisitos de alocação (como proximidade com central de gás por exemplo), a implantação de reservatórios com áreas tão extensas é improvável para o empreendimento em questão.

Figura 11 – Reservatório de diâmetro=18 m na Área 1.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 12 - Reservatório de diâmetro=18 m na área 2



Fonte: Autoria Própria.

A proposta de posicionamento do reservatório sobre o galpão industrial não foi considerada tendo em vista que a estrutura do galpão industrial não está preparada para suportar o peso adicional de um reservatório desta magnitude.

Com relação aos cenários 3 e 4, o método de Rippl demonstrou limitações para o cálculo do volume do reservatório para estes cenários. Tecnicamente, não seria possível a concepção de um sistema de aproveitamento de água de chuva sem reservatório uma vez que o consumo da água não ocorre instantaneamente após a coleta do volume precipitado.

6.5 Limitações do método de Rippl para o problema

A partir do dimensionamento realizado para os cenários 3 e 4, foi possível perceber limitação do método de Rippl para este tipo de situação. Isto ocorreu porque o método considera que todo o volume precipitado coletado, é consumido imediatamente após a coleta e que o volume mensal de chuvas é precipitado sempre no início do mês, o que não é verdade na situação real de operação na qual podem acontecer chuvas torrenciais que gerem um grande volume precipitado que não será consumido instantaneamente, principalmente no que diz respeito a grandes áreas de captação e baixas vazões.

6.6 Dimensionamento do reservatório pelo método da simulação com séries mensais

Foi feita uma tentativa de dimensionamento utilizando-se o método da simulação com séries mensais. Para este foi proposto um reservatório de 15 m³ conforme a tabela 10, uma vez que para este volume podem ser utilizados reservatórios pré-fabricados de 10 e 5 m³, o que diminui os custos com a implantação.

Tabela 10 - Aplicação do método da simulação com séries mensais.

Meses	Demanda (m ³)	Prec. média mensal (mm)	Área de captação (m ²)	Coefficiente run-off c	Volume de chuva (m ³)	Volume do reservatório (m ³)	Volume do reservatório (t-1) (m ³)	Volume do reservatório (t) (m ³)	Extravasamento (m ³)	Suprimento (m ³)	% demanda atendida
Jan	1.456,43	351,055556	23386,6	0,9	7389,0	15,0	0	15	5917,5	0	100
Fev	1.456,43	221,383459	23386,6	0,9	4659,7		15	15	3203,2	0	100
Mar	1.456,43	202,858779	23386,6	0,9	4269,8		15	15	2813,3	0	100
Abr	1.456,43	76,4348485	23386,6	0,9	1608,8		15	15	152,4	0	100
Mai	1.456,43	30,3198473	23386,6	0,9	638,2		15	-803	0,0	803	45
Jun	1.456,43	14,0189394	23386,6	0,9	295,1		0	-1161	0,0	1161	20
Jul	1.456,43	12,4664179	23386,6	0,9	262,4		0	-1194	0,0	1194	18
Ago	1.456,43	11,956391	23386,6	0,9	251,7		0	-1205	0,0	1205	17
Set	1.456,43	48,4105263	23386,6	0,9	1018,9		0	-437	0,0	437	70
Out	1.456,43	124,719259	23386,6	0,9	2625,1		0	15	1153,6	0	100
Nov	1.456,43	265,147656	23386,6	0,9	5580,8		15	15	4124,4	0	100
Dez	1.456,43	408,905185	23386,6	0,9	8606,6		15	15	7150,2	0	100

Fonte: Autoria Própria.

De acordo com o método, com um reservatório de 15 m³ seria possível um percentual médio de atendimento de demanda de 73%, percentual significativamente superior ao de 28,68% obtido por Caldeira, 2016 para um reservatório de 15 m³, com área de captação de 2536,52 m².

6.7 Dimensionamento do reservatório pelo método da simulação com séries diárias

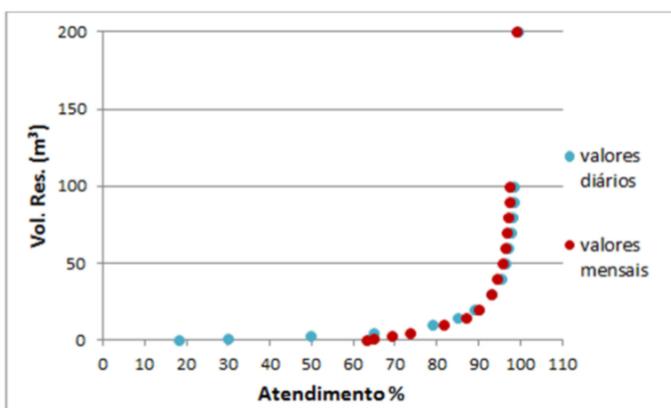
Apesar de permitir a escolha do volume do reservatório para o projeto, o que evita o dimensionamento de reservatórios de volumes extremamente grandes, pode ser verificada certa imprecisão da utilização do método da simulação aplicando séries mensais para situações com alta superfície de captação e alta vazão como a do caso em estudo.

Isto ocorre porque o método da simulação trabalha com a hipótese de que a demanda de uso de água de chuva é proporcional a pluviometria. Em uma situação real sabe-se que é possível que em um período de chuvas intensas a demanda não seja tão grande a ponto de utilizar todo o volume de água de chuva coletado, mesmo este volume sendo menor que a demanda mensal. O contrário também pode se manifestar pois em períodos curtos de estiagem dentro do mês, pode haver esvaziamento do reservatório, sendo necessário o uso de água da companhia.

Imprecisão semelhante foi encontrada por Novakoski, Marques e Conterato que em 2013, ao aplicarem o método da simulação para diversos volumes de reservatório verificaram que, em volumes mais baixos, os valores aplicados

utilizando-se dados mensais se distanciam muito dos valores utilizando-se dados diários, conforme Figura

Figura 14 - Resultados obtidos pela aplicação do método da simulação para diversos volumes com séries mensais e diárias.



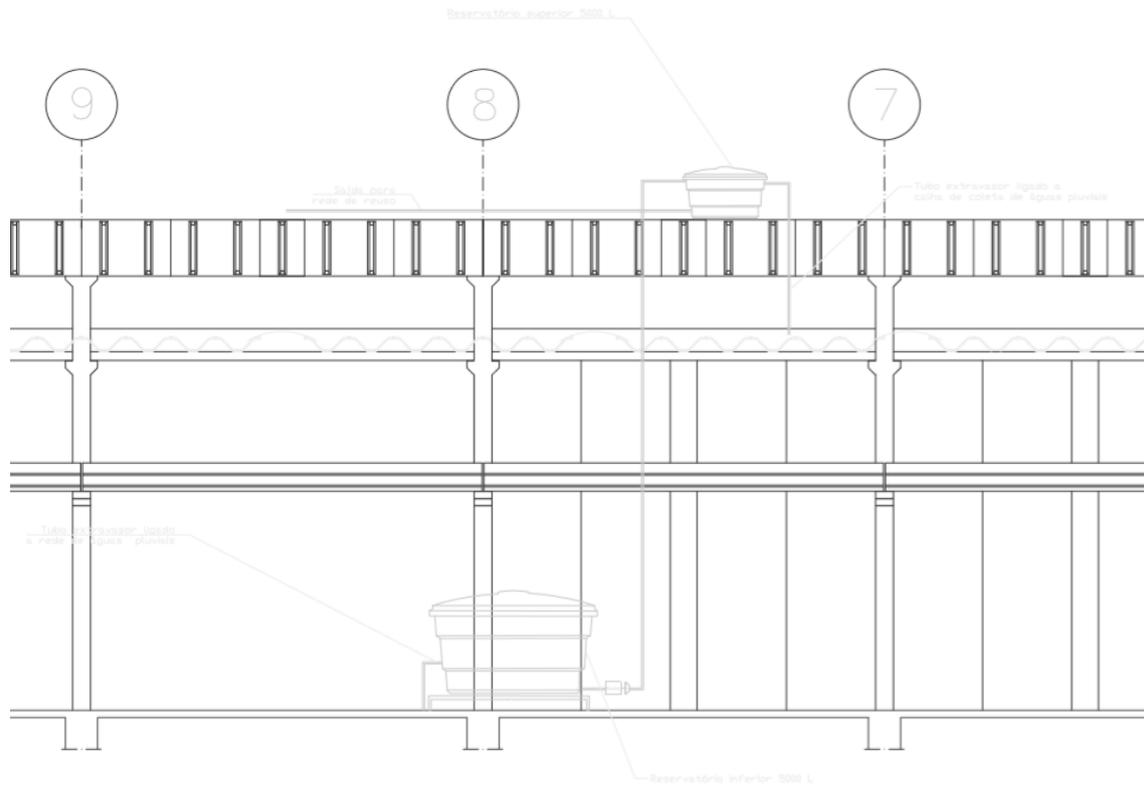
Fonte: Novakoski, Marques e Conterato (2013)

Tendo em vista a imprecisão do método encontrada para o problema, foi dimensionado um novo reservatório por meio do método da simulação aplicando-se séries diárias, com os dados do ano de 2017, considerando-se um reservatório de 15 m³. Como resultado deste dimensionamento, obteve-se um percentual médio de atendimento a demanda de 24,88%

Realizando uma análise técnica sob o critério de área de implantação, conforme foi feito para os reservatórios dimensionados pelo método de Rippl, foi concluída a possibilidade de utilizar-se a Área 2 para implantação dos reservatórios para o sistema, conforme mostra a Figura 15.

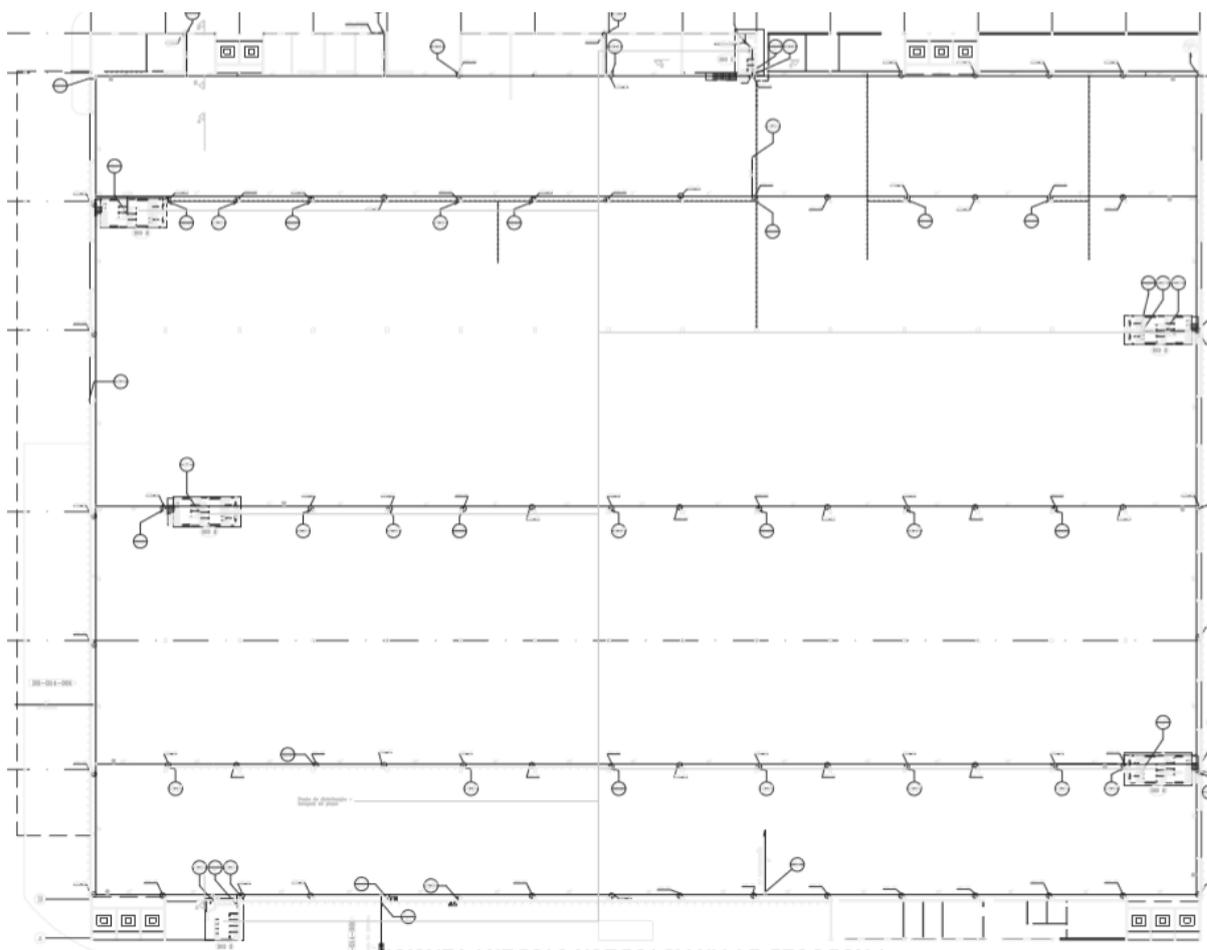
Foi considerado o posicionamento de um reservatório de 5 m³ sobre a estrutura do galpão industrial e um reservatório de 10 m³ a nível do solo para facilitar a distribuição da água de reuso. Não foi considerado para fins de orçamento necessidade de reforço na estrutura do galpão considerando-se que a mesma seria capaz de receber o reservatório de 5 m³.

Figura 16 - Posicionamento dos reservatórios, inferior e superior.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 17 - Sistema de distribuição de água de chuva.



Fonte: Autoria Própria.

O orçamento foi elaborado considerando as peças e equipamentos hidráulicos que foram identificados por meio do croquí e da própria concepção do sistema. Foi feita uma aproximação dos diâmetros das peças com base na tubulação já existente do sistema de distribuição de água potável.

A Tabela 11 foi elaborada considerando os custos de material e mão de obra para a implantação do sistema, totalizando um valor de R\$32.638,72. Valor está condizente com o encontrado por Caldeira em 2016, que para um sistema com reservatório de 10 m³ encontrou um orçamento de 24.788,00.

Tabela 11 - Orçamento do sistema

Orçamento Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva					
	Unidade	Valor Unitário	Quantidade	Preço	Fonte
Sistema de Captação					
Reservatório Inferior 5000 L		R\$ 1.700,00	1	R\$ 1.700,00	Mercado
Reservatório Superior 10000 L		R\$ 3.500,00	1	R\$ 3.500,00	Mercado
Bomba centrífuga		R\$ 2.500,00	2	R\$ 5.000,00	Mercado
				R\$ -	
Descarte da primeira água					
Dosador automático	Un	R\$ 690,00	1	R\$ 690,00	Mercado
Válvula pneumática	un	R\$ 919,00	1	R\$ 919,00	Mercado
T	un	R\$ 4,01	1	R\$ 4,01	SINAPI
Medidor de vazão tipo hidrômetro	Un	R\$ 1.350,00	1	R\$ 1.350,00	Mercado
				R\$ -	
Sistema de distribuição					
Peças por banheiro					
Registros	un	R\$ 33,26	28	R\$ 931,28	SINAPI
Curva 90	un	R\$ 25,39	63	R\$ 1.599,57	SINAPI
T	un	R\$ 4,01	84	R\$ 336,84	SINAPI
T com curva 90	un	R\$ 6,64	7	R\$ 46,48	SINAPI
Suporte para tubulação	un	R\$ 8,53	245	R\$ 2.089,85	SINAPI
Tinta esmalte sintético		R\$ 70,00	4	R\$ 280,00	Mercado
Tubulação de distribuição vertical 50 mm	m	R\$ 9,28	13,7	R\$ 127,14	SINAPI
Tubulação de distribuição horizontal	m	R\$ 8,28	101,48	R\$ 840,25	SINAPI
				R\$ -	
Mão de obra					
Auxiliar de bombeiro	h	R\$ 11,89	400	R\$ 4.756,00	SINAPI
Bobreiro encanador	h	R\$ 16,78	160	R\$ 2.684,80	SINAPI
Pedreiro	h	R\$ 16,78	80	R\$ 1.342,40	SINAPI
Aluguel de guindaste 15 m	k	R\$ 123,00	4	R\$ 492,00	SINDISPES
Operador guindaste	h	R\$ 15,58	4	R\$ 62,32	SINAPI
Encarregado	h	R\$ 32,39	120	R\$ 3.886,80	SINAPI
				R\$ -	
Total				R\$ 32.638,74	

Fonte: Autoria Própria.

Para o cálculo do payback, foi considerada como saída o investimento realizado para a montagem do sistema inicial. Como entradas foram considerados os valores economizados em função do não uso de água pela fornecida pela concessionária.

Tabela 12 - Save gerado em cada mês em função do uso de água de chuva.

	Consumo	Valor	Valor/m ³	Percentual aproveit	Volume aproveitad	Save
Jan	2711	R\$ 48.426,76	R\$ 17,86	33,01901461	480,9004723	R\$ 8.590,35
Fev	2558	R\$ 47.447,10	R\$ 18,55	48,16088183	701,43192	R\$ 13.010,52
Mar	2504	R\$ 52.231,29	R\$ 20,86	26,56740171	386,9369265	R\$ 8.071,17
Abr	2567	R\$ 52.360,52	R\$ 20,40	20,34331392	296,287136	R\$ 6.043,53
Mai	2615	R\$ 59.432,85	R\$ 22,73	59,82215536	871,2707845	R\$ 19.801,95
Jun	2609	R\$ 56.181,50	R\$ 21,53	49,92805995	727,16972	R\$ 15.658,68
Jul	2700	R\$ 55.920,45	R\$ 20,71	9,256742109	134,8184282	R\$ 2.792,26
Ago	2759	R\$ 49.991,03	R\$ 18,12	7,696578775	112,095664	R\$ 2.031,09
Set	2581	R\$ 51.114,09	R\$ 19,80	0	0	R\$ -
Out	2565	R\$ 58.355,97	R\$ 22,75	0	0	R\$ -
Nov	2660	R\$ 44.056,85	R\$ 16,56	4,363245441	63,547832	R\$ 1.052,53
Dez	2755	R\$ 65.280,62	R\$ 23,70	34,01570375	495,4166013	R\$ 11.739,06

Fonte: Autoria Própria.

Em função do contrato adotado entre a empresa e a companhia de fornecimento de água o valor do volume consumido oscila de acordo com a demanda do mês. Por isto a partir do consumo medido em cada mês do ano de 2017 e do valor da fatura foi calculado o custo do m³ de água de cada mês. Diante do volume aproveitado de água de chuva obteve-se qual seria o save gerado em função da implantação do sistema fazendo a multiplicação entre percentual de aproveitamento de água de chuva o consumo do mês e o valor do m³ de água da concessionária naquele mês, chegando-se assim a um valor relativo a substituição da água potável da concessionária pela água de chuva.

Sendo assim foi calculado o payback do investimento conforme a Tabela 13. Foram consideradas como entradas as economias obtidas pela redução do consumo de água da companhia.

Tabela 13 - Cálculo do payback.

Payback Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva			
	Saída	Entrada	Saldo
Janeiro	-R\$ 32.638,74	R\$ 8.590,35	-R\$ 24.048,39
Fevereiro		R\$ 13.010,52	-R\$ 11.037,87
Março		R\$ 8.071,17	-R\$ 2.966,69
Abril		R\$ 6.043,53	R\$ 3.076,84
Mai		R\$ 19.801,95	
Junho		R\$ 15.658,68	
Julho		R\$ 2.792,26	
Agosto		R\$ 2.031,09	
Setembro		R\$ 0,00	
Outubro		R\$ 0,00	
Novembro		R\$ 1.052,53	
Dezembro		R\$ 11.739,06	
		Payback	3,5 meses

Fonte: Autoria Própria.

O tempo de retorno do investimento no sistema foi de 3,5 meses. Conforme Braga (2009), o tempo de retorno mínimo aceitável para um investimento deve ser estabelecido pela alta direção da organização. No empreendimento em questão o payback mínimo para aprovação de investimentos da ordem do sistema de aproveitamento de água de chuva é de 1 ano, podendo-se concluir portanto que de acordo com os critérios da empresa, o valor obtido pode ser considerado satisfatório.

Caldeira (2009) obteve um tempo de retorno igual a 47 meses para um sistema de água de chuva para uma indústria mecânica. Porém no caso do autor a demanda de água de chuva era menor (76,11 m³/mês).

Teixeira et al. (2016) obteve para um investimento inicial de R\$25.359,46 um payback de 14 anos, substancialmente maior do que o encontrado para o projeto em questão e por Caldeira (2009).

A grande diferença entre os sistemas projetados por estes autores e o presente projeto é o fato que nos dois casos os autores consideraram um sistema que possuía objetivo de atender a 100% da vazão de água chuva, dimensionando muitas vezes sistemas robustos, que nos períodos de estiagem acabam por ficarem inoperantes. Daí a vantagem da utilização do método da simulação para o projeto de sistemas de água de chuva, pois o mesmo permite que se determine um volume de

reservatório cuja construção seja tecnicamente e financeiramente viável e determinar o volume de água que será economizado pelo sistema.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no dimensionamentos dos reservatórios de armazenamento de água pluvial por meio do método de Rippl para os quatro cenários de utilização de água de chuva, corroboram a principal desvantagem do método (reservatórios superdimensionados), não apresentando-se viável, uma vez que demandaria uma grande área de aplicação, a qual não existe no empreendimento em questão.

O método de Rippl pode possuir limitações para o dimensionamento de reservatórios em situações com alta área de captação e vazões baixas, não sendo possível o dimensionamento de reservatórios utilizando-se este método para os cenários 2 e 4.

O método da simulação aplicado, utilizando-se séries mensais, pode se mostrar impreciso no dimensionamento de reservatórios em situações de alta área de captação que resultem em um alto volume de chuva captada. Este método pode retornar valores superestimados que se diferem consideravelmente dos resultados obtidos ao se aplicar o método utilizando-se séries diárias.

A partir do dimensionamento de um reservatório de água de chuva utilizando-se o método da simulação com séries diárias, pode-se realizar o dimensionamento de um reservatório que seja tecnicamente viável e que possua um tempo de retorno de investimento aceitável.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT **NBR 10844: Instalações prediais de água fria.** Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1989.

ABNT **NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento.** Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1994.

ABNT NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2007.

ABNT **NBR 5626: Instalações prediais de água fria.** Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1989.

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos.** João Gilberto Lotufo Conejo (Diretor de Editoriação). Brasília: ANA, 2017b.

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno.** João Gilberto Lotufo Conejo (Diretor de Editoriação). Brasília: ANA, 2017a.

AMORIN, S. V., PEREIRA, D. J. A. **Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial.** Fortaleza, 2008. 10 p.

ARSAE/MG – Agência Reguladora de Água e Esgoto. **Relatório de Fiscalização – Sistema Integrado de Abastecimento de Água da RMBH.** Belo Horizonte, 2013. 73 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15527 Água de Chuva- Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Brasil. 2007.

BRAGA, R. **Fundamentos e técnicas de administração financeira**. São Paulo: Atlas, 2010. 408 p.

CALDEIRA, J. K. A. **Aproveitamento de Água de Chuva em uma Indústria Mecânica: Aspectos Econômicos e Ambientais**. Florianópolis, 2016. 133 p.

CAMPANHER, C. G. **Otimização Experimental em Processo de Galvanização de Arames de Camada Pesada**. Rio Grande do Sul, 2009. 111 p.

CARDOSO, M. P. **Viabilidade do Aproveitamento de Águas de Chuvas em Zonas Urbanas – Estudo de Caso Belo Horizonte-MG**. Belo Horizonte, 2009. 192 p.

FIEMG - Federação das Indústrias de Minas Gerais, e Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM. **Aproveitamento de água pluvial: conceitos e informações gerais**. 2015. Disponível em:<
http://www7.fiemg.com.br/Cms_Data/Contents/central/Media/Documentos/Biblioteca/PDFs/SDI/2016/RecursosHidricos/SS-0115-15-CARTILHA-AGUA-DA-CHUVA.>

FIESP/CIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo/ Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. **Conservação e Reúso de Água – Manual de orientações para o setor empresarial**. São Paulo: FIESP/CIESP, 2004 v. 1.

HIRATA, R. ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. **Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial**. In: *Águas do Brasil: análises estratégicas*, São Paulo, Instituto de Botânica, 2010.

ICZ – Instituto de Metais Não ferrosos. **Guia de Galvanização por Imersão a Quente**. São Paulo, 2014. 54 p.

MAY, S. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em edificações.** São Paulo, 2004. 159 p.

NASCIMENTO, A. R. S. **Sistema de aproveitamento de águas pluviais em grandes superfícies e o seu impacto ambiental.** Lisboa, 2014. 129 p.

NOVAKOSKI, C. K. **Análise do Método da Simulação para Dimensionamento de Reservatórios de Águas Pluviais em Residências Unifamiliares.** Bento Gonçalves, 2013. 8 p.

ONU – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Nature-Bases Solutions dor Water.** Paris, 2018. 154 p.

PANNONI, F. D. Princípios da Galvanização a Fogo. Research Gate, abril. 2015. Disponível em . Acesso em 13/11/2018.

PUPP, R. f.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído.** vol.11 no.4, p. 47-64. Porto Alegre Out./Dez. 2011.

S. V.de Amorim (1); D. J. A. Pereira(2). **Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial.** Fortaleza, 2008. 10 p.

Tassi, R. e Hentges, S. C. **Efeito do uso de microrreservatório na redução dos diâmetros das rededs de microdrenagem.** Santa Maria, 2013. 9 p.

TEIXEIRA. C.A.; ZATTONI, G. T.; NAGALLI, A.; FREIRA, F. B.; TEIXEIRA, S. H. C. **Análise de viabilidade técnica e econômica do uso de água de chuva em uma indústria metalmeccânica na região metropolitana de Curitiba PR.** São Carlos, 2016. 11 p.

TELLES, D. A.; COSTA, R. C. (org). **Reúso da Água – conceitos, teorias e práticas.** 2ª ed. revista, atualizada e ampliada, São Paulo, Blucher, 2010.

THOMAS, Plínio. **Aproveitamento de Águas de Chuva em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis.** 2010.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. **Gestão da Água no Brasil.** 1ª ed., Brasília, UNESCO, 2001.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water.** Andrey Azoulay (Director-General). Paris: UNESCO, 2018.