

Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP
Curso de Graduação em Engenharia Química - EQ

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE
ÁGUA DA CHUVA EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA PARA USO EM TORRE DE
RESFRIAMENTO**

Trabalho desenvolvido para conclusão do curso de graduação em Engenharia
Química na Universidade Federal de São Paulo, UNIFESP

Gustavo Aguiar Jung

Orientador: Ricardo de Freitas Fernandes Pontes

DIADEMA (SP), Dez/2022

Gustavo Aguiar Jung

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE
ÁGUA DA CHUVA EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA PARA USO EM TORRE DE
RESFRIAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, ao Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema.

Orientador: Ricardo de Freitas Fernandes Pontes

DIADEMA (SP), Dez/2022

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

Jung, Gustavo

Análise da relação custo-benefício de um sistema de captação de água de chuva em uma indústria química para uso em torre de resfriamento / Gustavo Jung. -- Diadema, 2022.

66 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2022.

Orientador: Ricardo de Freitas Fernandes Pontes

1. Engenharia. 2. Chuva. 3. Captação. 4. Economia. 5. Projeto. I. Título.

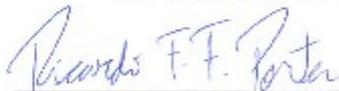
GUSTAVO AGUIAR JUNG

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE UM
SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA EM
UMA INDÚSTRIA QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química, ao Instituto de
Ciências Ambientais, Químicas e
Farmacêuticas da Universidade Federal
de São Paulo – Campus Diadema.

Aprovado em: 15/12/2022

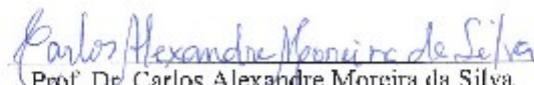
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ricardo de Freitas Fernandes Pontes
Orientador



Profª. Dra. Gisele Atsuko Medeiros Hirata



Prof. Dr. Carlos Alexandre Moreira da Silva

Diadema (SP)
2022

AGRADECIMENTOS

Principalmente à Tânia Mara e José Eduardo, por serem os pais que foram e pelos pais que são. Eles me proporcionaram o estudo e não importando a situação ou à distância, sempre estiverem em minha torcida.

Agradeço o meu orientador, Prof. Ricardo Pontes pelos últimos meses da graduação.

À todos os meus amigos de longa data de Pouso Alegre e Santo André por tanto anos de amizade, companheirismo e lazer.

A Eng. Camila Ruas e Eng. Dacio Almeida, por me guiarem na experiência de estagiar na indústria e numa grande empresa.

RESUMO

Realizou-se um estudo de análise custo-benefício de uma implementação de sistema envolvendo captação de água de chuva para utilização em torres de resfriamento com intuito de economizar água em uma empresa química do ramo da celulose situada na região da cidade de Santo André do estado de São Paulo. A empresa química estudada demonstrou uma alta demanda de água de processos e, por meio de discussões com colaboradores e utilização de metodologia de melhoria de processos, chegou-se à conclusão de que uma parcela deste gasto excessivo provém do abastecimento dos trocadores de calor denominados de Torres de Resfriamento, os quais perdem uma quantidade de água com evaporação durante o seu funcionamento. Para solucionar o problema, surgiu a ideia de utilizar água proveniente de chuva e, assim, contrapor gastos com o recurso hídrico. Primeiramente, foi feito um estudo pluviométrico da região em que a empresa está localizada com auxílio dos dados disponibilizados pelo site da prefeitura do município de Santo André para entender se há quantidade de chuva suficiente ao decorrer do ano, concretizando a viabilidade de exercer o abastecimento alternativo das Torres de Resfriamento. Em seguida, realizou-se uma caracterização e análise da água de chuva ao compará-la com a água utilizada atualmente nas Torres de Resfriamento com o objetivo de reconhecer que esta, ao ser utilizada, não afeta os processos em vigor na planta. Posteriormente, por meio de dados quantitativos e valores financeiros relacionados com a água de processos envolvendo as Torres de Resfriamento da empresa, disponibilizados por colaboradores da área financeira, foram discutidos os custos necessários para instalação e operação de um projeto piloto de captação de água de chuva, além do dimensionamento de dispositivos imprescindíveis para o funcionamento de um sistema de captação de água de chuva de acordo com as circunstâncias da região e edificações existentes. Por fim, foi feito um balanço quantitativo e econômico para calcular os benefícios em detrimento da implementação e, assim, determinar o tempo de retorno do investimento em 4 anos.

PALAVRAS CHAVE: Captação de Água de Chuva, Torres de Resfriamento, Análise Custo-Benefício.

ABSTRACT

A cost-benefit analysis study was carried out of a system implementation involving rainwater capture for use in cooling towers in order to save water in a chemical company in the cellulose branch located in the region of the city of Santo André in the state from Sao Paulo. The chemical company studied showed a high demand for process water and, through discussions with employees and the use of process improvement methodology, it was concluded that a portion of this excessive expense comes from the supply of heat exchangers called Cooling Towers, which lose a quantity of water through evaporation during operation. To solve the problem, the idea of using rainwater came up and, thus, counteracting expenses with the water resource. First, a rainfall study was carried out in the region where the company is located, using data provided by the Santo André City Hall website to understand whether there is sufficient rainfall throughout the year, making it feasible to carry out an alternative supply. of the Cooling Towers. Then, a characterization and analysis of the rainwater was carried out by comparing it with the water currently used in the Cooling Towers in order to recognize that this, when used, does not affect the processes in force in the plant. Subsequently, through quantitative data and financial values related to process water involving the company's Cooling Towers, made available by employees in the financial area, the necessary costs for the installation and operation of a pilot project to capture rainwater were discussed, in addition to the dimensioning of essential devices for the operation of a rainwater harvesting system according to the circumstances of the region and existing buildings. Finally, a quantitative and economic balance was made to calculate the benefits to the detriment of the implementation and, thus, determine the payback time of the investment in 4 years.

KEYWORDS: Rainwater Capture, Cooling Towers, Cost-Benefit Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da cidade de Santo André no estado de São Paulo.....	20
Figura 2 - Média de temperatura e precipitação em Santo André no ano de 2021.....	21
Figura 3 - Grade instalada em calhas.....	24
Figura 4 - Torres de resfriamento em contracorrente e corrente cruzada.....	28
Figura 5 - Balanço da água de torre de resfriamento.....	29
Figura 6 – Circuitos das torres de resfriamento da indústria analisada.....	31
Figura 7 - Trocador de calor da área de utilidades.....	33
Figura 8 - Bateria de resfriamento.....	34
Figura 9 - Calha e condutor vertical.....	36
Figura 10: Software Plúvio 2.1.....	37
Figura 11 - Ábaco de dimensionamento de condutores verticais.....	41
Figura 12 - Dispositivo de retenção de sólidos grosseiros.....	44
Figura 13 - Downpipe First Flush Water Diverter.....	45
Figura 14 - Método de cálculo do volume de água de chuva.....	46
Figura 15 - Fluxograma do projeto.....	56
Figura 16 - Ábaco de dimensionamento de condutores verticais demarcado.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Condições operacionais da torre E-7701 (TA-01)	31
Quadro 2 - Condições operacionais da torre E-7702 (TA-02)	32
Quadro 3 - Condições operacionais da torre E-7703 (TA-03)	33
Quadro 4 - Padrão de qualidade sugerido para a água.....	35
Quadro 5 - Tempo de retorno em relação a local.....	38
Quadro 6 - Coeficiente de escoamento para cada tipo de superfície.....	39
Quadro 7 - Materiais e seus coeficiente de rugosidade.....	40
Quadro 8 - Diâmetro interno de calhas relacionando sua rugosidade e declividade....	41
Quadro 9 - Diâmetro interno condutor horizontal relacionado a rugosidade e declividade.....	43
Quadro 10 - Pluviometria em milímetro de chuva 2019.....	47
Quadro 11 - Pluviometria em milímetro de chuva 2020.....	48
Quadro 12 - Pluviometria em milímetro de chuva 2021.....	49
Quadro 13 - Parâmetros da equação 1.....	55
Quadro 14 - Parâmetros da equação 2.....	57
Quadro 15 - Acúmulo anual.....	58
Quadro 16 - Comparação da qualidade da água da chuva com a água de abastecimento.....	60
Quadro 17 - Custos iniciais da implantação do sistema.....	61
Quadro 18 - Custo anuais com a manutenção do sistema piloto.....	62
Quadro 19 - Dados quantitativos e financeiros da água industrial em 2021.....	64
Quadro 20 - Tempo de retorno.....	65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Escassez de água	17
3.2 Ciclo Hidrológico	18
3.3 Recursos Hídricos no Brasil e São Paulo.....	18
3.4 Cidade de Santo André	19
3.5 Sistemas de captação de água de chuva.....	21
3.6 Elaboração de um sistema de captação e uso de água de chuva.22	
3.6.1 Superfície de captação	22
3.6.2 Extração de sólidos grosseiros	23
3.6.3 Calhas e transportadores verticais	24
3.6.4 Tratamento da água	25
3.6.5 Armazenagem da água	25
3.7 Água industrial.....	26
3.7.1 O uso da água no setor industrial	26
3.7.2 Sistema de tratamento de água industrial	27
3.8 Torre de Resfriamento	27
4. METODOLOGIA	30
4.1 Circuitos de água Industrial na indústria analisada	30
4.1.1 Circuito da torre de resfriamento E-7701 (TA-01).....	31
4.1.2 Circuito da torre de resfriamento E-7702 (TA-02).....	32

4.1.3 Circuito da torre de resfriamento E-7703 (TA-03).....	33
4.2 Etapas do sistema piloto de captação de água da chuva	34
4.2.1 Qualidade da água na utilização em Torres de Resfriamento.....	35
4.2.2 Dimensionamento de calhas e condutores	36
4.2.2.1 Chuvas intensas e vazão máxima	36
4.2.2.2 Calhas	39
4.2.2.3 Condutores verticais	41
4.2.2.4 Condutores horizontais	3242
4.3 Remoção de sólidos grosseiros e descarte da primeira água de chuva	43
4.3.1 Remoção de sólidos grosseiros.....	43
4.3.2 Descarte da primeira água de chuva	44
4.4 Estudos pluviométricos	45
4.5 Água industrial utilizada nas torres de resfriamento	49
4.6 Custos e despesas	50
4.6.1 Custos iniciais.....	50
4.6.2 Custos de manutenção.....	51
4.7 Cálculo do volume de captação e seu valor monetário	52
4.8 Balanço custo-benefício	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1 Torres de Resfriamento na indústria química analisada	54
5.2 Avaliação da qualidade da água	55
5.3 Projeto Piloto	55
5.4 Área de captação do projeto piloto.....	56
5.5 Dimensionamento das calhas, condutores verticais e condutores horizontais	57
5.5.1 Intensidade da chuva.....	57

5.5.2 Calhas	57
5.5.3 Condutores verticais	58
5.5.4 Condutores horizontais	59
5.6 Balanço Custo-Benefício	59
5.6.1 Cálculo do gasto com água industrial	59
5.6.2 Cálculo do acúmulo de chuva anual	60
5.6.3 Cálculo do volume possível de captação.....	61
5.7 Custos do projeto piloto.....	61
5.7.1 Custos iniciais.....	61
5.7.2 Custos de manutenção e operação	62
5.8 Cálculo dos benefícios	64
5.8.1 Comparação dos benefícios ao decorrer dos anos	64
5.8.2 Tempo de retorno	65
6. CONCLUSÃO	67
7. REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Em busca de melhores condições de vida, a população mundial ao decorrer da história buscou refúgio em localidades próximas a fontes de água doce (rios e lagos), a fim de atender as necessidades de seu consumo. A demanda de água doce é extremamente alta para o ser humano, uma vez que além do consumo óbvio para beber, existem as necessidades de higiene e irrigação para plantio (FERNANDES, MEDEIROS NETO & MATTOS, 2007).

A alta demanda de uso do recurso hídrico obrigou o ser humano a desenvolver meios de captar e armazenar água em diversas regiões ao redor do planeta e, estas tecnologias, surgiram de maneiras diferentes e independentes (FERREIRA & MORUZZI, 2007).

Utilizar a água de chuva é considerada uma forma diferenciada e com grande potencial para sanar problemas de alta demanda de água ao redor do mundo. Entretanto, existem maneiras diversas de como captar a água, em virtude da finalidade em que esse recurso natural será utilizado (GALVÍNCIO & DE MOURA, 2005).

O primeiro povo de que se tem indícios de utilizar sistemas de captação de água de chuva foram o Moabitas no século XII A.C. no Leste do Mar Morto. Este povo nômade estava em constantes conflitos territoriais e viviam em ambiente extremamente seco. O indício foi encontrado na “Pedra Moabita”, uma rocha entalhada pelo Rei Moabita determinando que seu povo fosse obrigado a coletar água de chuva e que todas as construções do reino apresentassem cisternas (equipamento imprescindível em um projeto com este objetivo). Os desobedientes da lei recebiam punições e o próprio palácio do Rei Alí apresentava um sistema de captação de água de chuva (RIGOTI, 2017).

Até pouco tempo, o meio das manufaturas via a chuva mais como um efluente do que como uma fonte. Hoje, porém, os meios tecnológicos de captação e utilização de água de chuva estão presentes integralmente nos processos industriais (GOMES et al., 2014).

A água é amplamente utilizada nos processos industriais e, na maioria dos casos, exige-se um controle de temperatura dos fluidos envolvidos nas operações. Dessa forma, a utilização das Torres de Resfriamento tornaram-se atrativas e o seu funcionamento é ensinado na disciplina de Operações Unitárias da Engenharia de Química. Em resumo, o seu funcionamento leva em consideração o contato do ar frio com a água quente oriunda dos processos fabris onde, ao ocorrer transferência simultânea de calor e massa, parte da água evapora e diminui sua temperatura para poder ser reutilizada nos processos industriais (ANABTAWI, 1995).

Por mais úteis que as Torres de Resfriamento possam ser, esses trocadores de calor apresentam custos e perdem uma certa quantidade de água mesmo que esta esteja em recirculação. As perdas envolvem o arrasto de gotículas por evaporação e pelas purgas periódicas para evitar incrustações. Estas perdas são contrabalanceadas, em via de regra, por água de abastecimento (ALPINA, 2019).

Chamado de *filter tow*, o produto final produzido pela empresa química parceira neste trabalho utiliza um processo de fiação semelhante as aplicações têxteis em geral e é a matéria-prima da produção do filtro de cigarro, o qual é posteriormente fabricado em uma empresa terceira. Durante a fabricação do *filter tow*, volumes de água com diferentes temperaturas são utilizadas e, em parte do processo, utiliza-se do equipamento de troca de calor denominado Torres de Resfriamento (NASSER, 2009).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a relação custo-benefício da implementação de um sistema de calhas e condutores para captação de água de chuva e uso em Torres de Resfriamento em um empresa localizada no município de Santo André, sistema este com finalidade de diminuir os gastos de reposição em relação as perdas de água oriundas do arrasto de evaporação e purgas periódicas destes trocadores de calor.

2.2 Objetivos Específicos

Entender o histórico pluviométrico da região do município de Santo André com objetivo de quantificar o volume possível de captar de água e avaliar a viabilidade de pôr em prática um projeto piloto de captação de água de chuva.

Compreender a possibilidade de utilizar a água de chuva para fins industriais e analisar, por meio da caracterização da água, a necessidade de tratamento preliminar desta para o abastecimento do sistema envolvendo Torre de Resfriamento sem prejudicar os processos atualmente em andamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Escassez de água

O problema da escassez de água é um dos riscos mais sérios que o mundo enfrenta em todos os níveis: social, econômico, político e ambiental. Está se tornando grave à medida que a mudança climática piora e a dificuldade em fornecer água para a população mundial é crescente, resultando na necessidade de utilizar o recurso natural de forma sustentável e com infraestrutura adequada (PICOLLI et al., 2016).

O problema de escassez agrava-se a medida que os problemas sociais aumentam e a maneira em que o recurso é utilizado piora. Constata-se o problema vinculado ao social, uma vez que compara-se países desenvolvidos e subdesenvolvidos no que diz respeito a crise hídrica envolvendo seus habitantes. Tomando o continente Africano como um todo e a cidade de Nova York o como exemplo, a discrepância está no consumo diário por pessoa. Os Americanos chegam a consumir algo entorno de dois mil litros por dia, enquanto os Africanos podem gastar em média dezenove litros por dia (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022).

Embora o planeta Terra seja coberto em cerca de 70% de sua superfície por água, algo entorno de 97% consiste em água salgada presente nos oceanos e, sendo assim, sobrando apenas 3% de água doce. Além disso, menos de 33% da água doce é própria para o consumo humano (Portal de Educação Ambiental, 2022).

A popular Unicef informa que dos 8 bilhões de habitantes do planeta, 35% não tem acesso à água tratada e apenas 6% desta água é direcionada para consumo doméstico, pois 73% é voltada para irrigação e 21% para consumo industrial. Calcula-se que serão acrescentados na população mundial nos próximos 50 anos o número surpreendente de 3 bilhões de pessoas e, infelizmente, a massiva maioria nascerá em países onde a escassez hídrica é rigorosa (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022).

Lidar com a escassez de água requer o conhecimento multidisciplinar, administrando os recursos hídricos com a finalidade de maximizar o bem-estar econômico e social, sem comprometer o ecossistema (ANDREOLI, 1999).

3.2 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico consiste no sistema tradicional e natural de reciclagem da água no planeta. Devido à radiação solar, a água evapora e é resfriada à medida que o vapor sobe na atmosfera, condensando e retornando à terra e ao mar como precipitação. Este conceito, mesmo que aparentemente simples, tem grande importância no funcionamento geológico e biológico (TUNDISI, 2003).

A importância do ciclo extrapola a própria água, uma vez que engloba o sistema de energia, o funcionamento da terra em que pisamos e envolve elementos químicos fundamentais para a manutenção e operação da vida no planeta. Em uma visão mais rudimentar, pode-se imaginar que a vida foi resultado do sistema hídrico, porém estudos mais minimalistas apontam que a vida e o comportamento dos seres estão vinculados a água de maneira tanto como produto como também causa e efeito (BALBINOT et al., 2008).

3.3 Recursos Hídricos no Brasil e São Paulo

O Brasil apresenta riqueza em água potável, traduzindo em aproximadamente 12% da água do mundo. Este valor à primeira vista aparenta ser muito, mas sua distribuição está em 70% no rio Amazonas e 1,6% no estado de São Paulo, onde está um quarto da população brasileira. A possibilidade de sanar a necessidade do aumento da disponibilidade de água, seja por maior quantidade ou melhora da qualidade em uma região com urbanização de grande significância como São Paulo, reflete em um, também necessário, crescimento das melhorias sustentáveis (LIMA, 2001).

O estado de São Paulo está com aproximadamente 44 milhões de habitantes (IBGE) e, entre esses, mais de 90% residem em áreas urbanizadas. Este fato resultou em pontos que valem atenção, sendo alguns positivos e outros negativos. Como pontos positivos temos o grande abastecimento de água do estado e sua amplitude, que possibilitam a chegada de água em vários cantos do estado e, além disso, o sistema amplo de esgotos que diminuem os casos de doenças infecciosas. Os

argumentos negativos também são muito relevante, uma vez que a região enfrenta níveis de escassez e poluição da água elevados (IORIS, 2006).

A escassez do estado é evidenciada quando visualizamos as bacias hidrográficas e sua água de esgoto. Das 22 bacias, 11 apresentam grau alarmante de escassez e são justamente as que proveem a região metropolitana de São Paulo. As regiões mais populosas por metro quadrado do Brasil demandam mais água e, além de estar excedendo a quantidade possível de abastecimento, está sendo alimentada por bacias vizinhas. Em relação aos efluentes, apenas 60% é tratado adequadamente e, portanto, 40% é descartado de forma a agravar cada vez mais a situação do estado (GOMES & BARBIERI, 2004).

3.4 Cidade de Santo André

A cidade de Santo André é um dos municípios do estado de São Paulo (seta em vermelho na figura 1) conhecida por fazer parte do ABC paulista. Atualmente (2022) está com 718.773 habitantes que se chamam Andreenses. A cidade apresenta extensão de 175 km² e está localizado nas coordenadas de Latitude: 23° 39' 60" Sul, Longitude: 46° 31' 56" Oeste e em média está à 766 metros acima do nível do mar na região dos Planaltos e Serras do Atlântico Leste-Sudeste.

Figura 1 - Localização da cidade de Santo André no estado de São Paulo

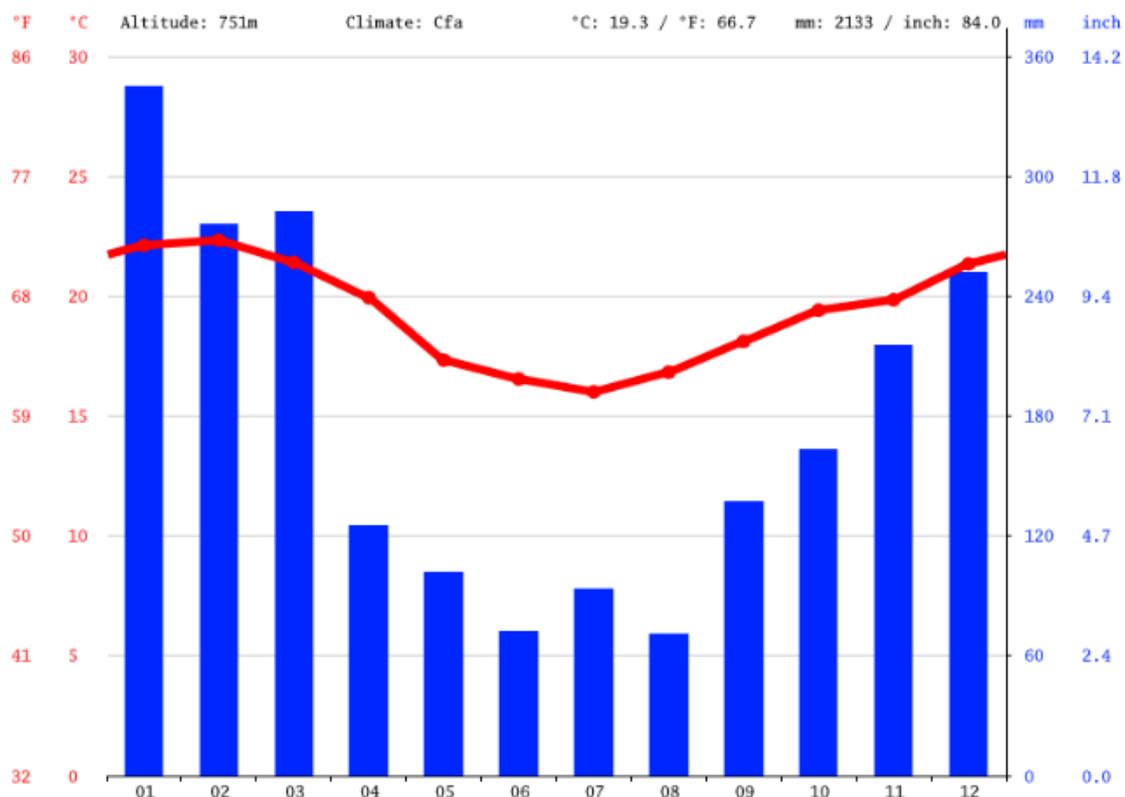


Fonte: Página do site Wikipédia sobre a cidade de Santo André (2022)

De acordo com o Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe), o índice pluviométrico (calculado em milímetros) diz respeito à quantidade de chuva por metro quadrado em determinado local e em determinado período de tempo, ou seja, o índice pluviométrico 3 mm representa como se nesse local uma caixa de 1 metro quadrado tivesse atingido dentro dela 3 mm de altura naquele dia.

Em Santo André, o clima é quente, existindo uma pluviosidade significativa ao decorrer do ano. Dessa forma, o mês mais seco ainda tem muita precipitação. Na cidade a temperatura média é 19.3 °C e a média anual de precipitação chega à 2133 mm (CLIMA-DATE.ORG, 2021). A figura 2 mostra a variação de temperatura e precipitações médias na cidade de Santo André no ano de 2021.

Figura 2 - Média de temperatura e precipitação em Santo André no ano de 2021.



Fonte: Página do site Climate Data sobre a cidade de Santo André (2022)

3.5 Sistemas de captação de água de chuva

A coleta de água de chuva é conhecida por vários nomes em todo o mundo e existem países, como Alemanha e Austrália, onde a captação de água da chuva é uma norma (GOMES et al., 2014).

A quantidade de água está se tornando cada vez mais escassa e, para algumas partes da sociedade, os meios de obter esse recurso estão também cada vez mais complexos. A chuva é um evento climático que ocorre ocasionalmente e, portanto, a sua previsibilidade a torna atrativa. Obter água de chuva é teoricamente fácil e, vale ressaltar, que grande parte da água cai sobre regiões urbanas e é impossibilitada de infiltrar no solo e continuar o ciclo hidrológico. Portanto, a importância na captação da água de chuva apresenta benefício de reuso do recurso hídrico e benefício sustentável/ecológico (GNADLINGER, 2006).

Regiões que sofrem da escassez de água e que não usufruem de grande poder econômico podem utilizar da captação da água de chuva. A água de chuva captada sem gastos significativos com purificação com fim de uso potável, pode ser utilizada de formas diferentes e priorizar a água dita como limpa apenas para uso necessário para sua qualidade (NOGUEIRA, 2017).

Entre os possíveis usos da água de chuva estão:

- Torres de resfriamento
- Caldeiras
- Construção civil
- Lavagem de minérios
- Lavagem de peças e pisos
- Frota de carros e caminhões
- Irrigação de jardins
- Descarga sanitária;
- Torneiras de banheiro e refeitórios
- Processos industriais
- Matéria-prima

3.6 Elaboração de um sistema de captação e uso de água de chuva

Em um sistema de captação de água de chuva, o fluído escorre por superfícies (geralmente telhados) e por tubulações em direção de reservatórios com o objetivo de reduzir consumo e gastos vinculados a água de forma sustentável (KOENIG, 2003).

O sistema de captação e uso de água de chuva é classificado como de suprimento descentralizado de água. As diretrizes NBR 15.525 (ABNT, 1989 e NBR 15.527 (ABNT, 2007) são, no Brasil, as responsáveis pela formalização das obras envolvendo os sistemas de obtenção de água proveniente da chuva.

3.6.1 Superfície de captação

O sistema de captação de água de chuva inicia a partir da superfície de captação e, portanto, o primeiro passo consiste no dimensionando e noção das características dessa área. Dessa forma, a quantidade e a preliminar qualidade da água possível de captar para posterior utilização é determinada.

Entre as superfícies, os telhados são os mais frequentemente encarregados para captação. Isso acontece, pois em comparação com outras superfícies, os telhados apresentam poucas barreiras, que poderiam dificultar o fluxo de água, e torna plausível e benéfico o uso da gravidade em prol da diminuição de custo de operação do projeto.

Vários materiais podem ser utilizados para construção dos telhados de captação de água de chuva, sendo que, entre eles, a cerâmica e os plásticos são os frequentemente empregados. A composição do material é relevante, pois o coeficiente de escoamento superficial define a quantidade de fluido que será escoado superficialmente e a taxa de substâncias tóxicas na água, uma vez que a água pode lixiviar o material (HAGEMANN, 2009).

3.6.2 Extração de sólidos grosseiros

Sistemas de captação de água proveniente de chuva precisam, em todos os casos, de um mecanismo para retenção e remoção de sólidos grosseiros. Estes sólidos são comumente galhos, folhas e até animais mortos que, amontoam-se e obstruem os canos de passagem da água, acumulam-se nos reservatórios e sofrem decomposição, resultando em perda de qualidade da água (ANECCHINI, 2005).

As grades (Figura 3) e filtros são encarregados de reter os sólidos mais grosseiros. O dimensionamento desses dispositivos deve ser executado corretamente conforme a vegetação e clima local, assim possibilitando a melhor funcionalidade possível do sistema.

Figura 3 - Grade instalada em calhas.



Fonte: Site Passarinheiros Glória (2022)

Da mesma forma que os telhados e calhas utilizados no sistema de captação de chuva, as grade e filtros também devem passar limpezas periódicas. Executar esses tratamentos mantêm a eficiência e a higiene da água armazenada. A revisão, inspeção e reparo são indicadas para serem feitas trimestralmente, de acordo com o previsto pela norma NBR 15527/07.

3.6.3 Calhas e transportadores verticais

Para o transporte da água de chuva, as calhas e os condutores são os responsáveis de levar o fluido da superfície captadora até os reservatórios de armazenagem (HAGEMANN, 2009).

O PVC (*policloreto vinila*), ferro galvanizado e o alumínio são os materiais frequentemente utilizados e as dimensões devem estar de acordo com a NBR 15527/07 em relação ao tempo de retorno, demanda do projeto e intensidade das chuvas do local.

Além das dimensões, as inspeções e limpezas são determinadas pela NBR 15527/07 que recomenda essas atividades semestralmente. Épocas de chuvas constantes são melhores para realizar os procedimentos e, assim, facilitar a detecção de goteiras e/ou vazamentos (HAGEMANN, 2009).

3.6.4 Tratamento da água

Para um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva com objetivo de uso não potável, apenas grades de retenção de sólidos grosseiros e bueiros são necessários (TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 2005).

Em contra partida, importante frisar que quando o objetivo da captação é o uso da água potável, o sistema precisa de tratamentos mais complexos e minuciosos. Alguns dos tratamentos que podem ser necessários são:

- Filtros de areia
- Carvão ativado
- Desinfecção
- Cloração
- Fervura
- Radiação ultravioleta.
- Osmose reversa
- Utilização de ozônio (O₃)

A osmose reversa e a utilização de ozônio são os tratamentos mais eficientes, porém são proporcionalmente mais custosos monetariamente e em relação ao tempo de manutenção dos equipamentos envolvidos. Dessa forma, caso o projetista escolha tais tratamento, um balanço econômico metuculoso deve ser realizado

3.6.5 Armazenagem da água

A principal atribuição do reservatório é acumular a água de chuva captada e providenciar a qualidade final para uso (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E SANITÁRIA, 2002).

Considerando diminuir os custos com tubulações e outros materiais de construção, os reservatórios devem estar localizados anexados aos pontos de uso da água, diminuindo a distância percorrida no transporte.

Um dos pontos de atenção consiste no material de sua construção, o qual usualmente é o concreto (NBR 15527/07). Para a segurança e qualidade da água nos reservatórios alguns tópicos devem ser levados em consideração:

- Impedir a luz do sol entrar nos reservatórios, impedindo a proliferação demasiada de microrganismos
- Instalar grade ou tela na saída do *tubo extravasor*, impedindo a entrada de pequenos animais
- Retirar sedimentos, diminuindo a limpeza anual dos reservatórios
- Planejar e projetar o reservatório com inclinação em seu fundo no sentido da tubulação de drenagem, facilitando a limpeza
- Garantir o uso correto da água não potável e evitar conexão cruzada com a água potável, respeitando a norma NBR 15527/07

3.7 Água industrial

3.7.1 O uso da água no setor industrial

A água é um recurso presente frequentemente nas indústrias de produtos químicos, alimentos e refinarias para os processos de produção e/ou resfriar seus equipamentos (OSTRENSKY & GARCIA, 2017). Entre as diversas aplicações, pode-se citar:

- Fabricar
- Processar
- Lavar
- Diluir
- Resfriar
- Transportar um produto.

Sem água, muitas empresas e os produtos que elas fornecem não existiriam. O uso de água é fundamental para quase todas as etapas dos processos de fabricação e produção e são os produtos fabricados os reguladores da qualidade,

tratamento e tecnologia empregada na água dos processos industriais (FINKLER et al., 2015). Alguns exemplos:

De toda a água proveniente de captação de chuva, a indústria é responsável por cerca de 40%, demonstrando que o sistema é comum nesse setor, mas entorno de 66% dessas relatam risco de escassez (DEMAJOROVIC, CARUSO & JACOBI, 2015).

3.7.2 Sistema de tratamento de água industrial

O tratamento de água industrial pode variar em detrimento do seu objetivo e, assim, sistemas divergentes existem e seus equipamentos e parâmetros também. Em via de regra, os meios tecnológicos necessários para a limpeza da água são regidos pelos contaminantes e a eficiência de um sistema desse tipo se traduz na quantidade de impurezas as quais prejudicam o equipamento são removidas (VICENTE, 2018). Os sistemas mais utilizados geralmente são:

- Sistemas de tratamento de água bruta
- Sistemas de tratamento de água de alimentação de caldeira
- Sistemas de tratamento de água da torre de resfriamento
- Sistemas de tratamento de águas residuais

Para manter a integridade das torres de resfriamento e evitar momentos de manutenção excessiva e indesejada, os sistemas as protegem de danos oriundos da água de abastecimento, circulação e purga (SANTOS, 2006).

3.8 Torres de Resfriamento

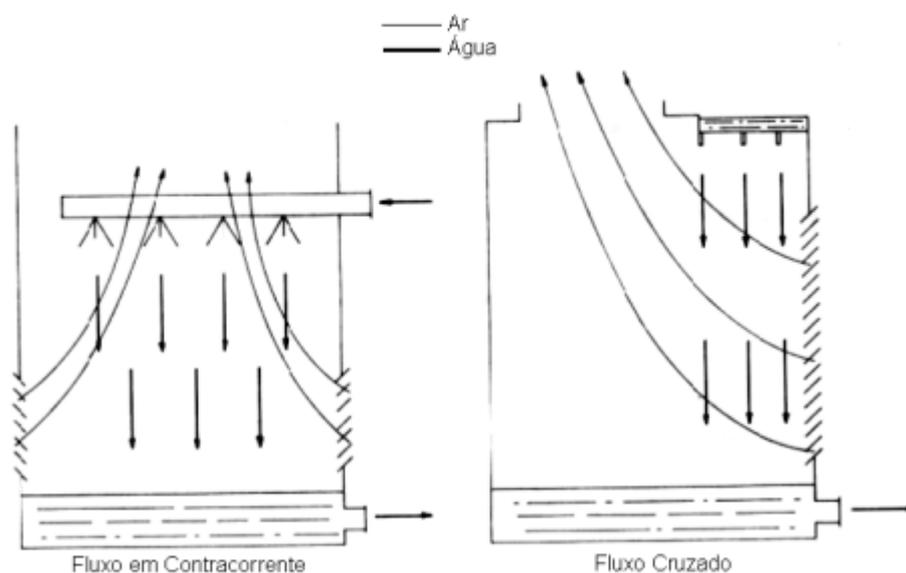
As torres de resfriamento tem a finalidade de retirar o calor da água de circulação dos processos industriais e, através do resfriamento contínuo da água de retorno, diminuir sua temperatura (DOS SANTOS et al., 2015).

As torres de resfriamento industriais podem ser usadas para remover o calor de várias fontes, como maquinário ou material de processo aquecido. O uso principal de grandes torres de resfriamento industriais é remover o calor absorvido nos sistemas de água de resfriamento circulantes usados em usinas de energia, refinarias de

petróleo, plantas petroquímicas, plantas de processamento de gás natural, plantas de processamento de alimentos, plantas de semicondutores e outras indústrias diversas (SAMPAIO, 2013).

Existem dois tipos básicos de torres de resfriamento: as contracorrente e as de corrente cruzada. No primeiro tipo, a água desce através de um enchimento verticalmente e o ar que está mais frio sobe a torre (sentido oposto). Na segunda opção, a água cai verticalmente de forma semelhante as contracorrente, porém dessa vez a água é resfriada pelo ar que passa na horizontal (ÁGUAVIVA TECNOLOGIA LTDA, 2022). As figura 4 representa as torres em contracorrente e corrente cruzada, respectivamente.

Figura 4 – Torre de resfriamento em contracorrente e corrente cruzada

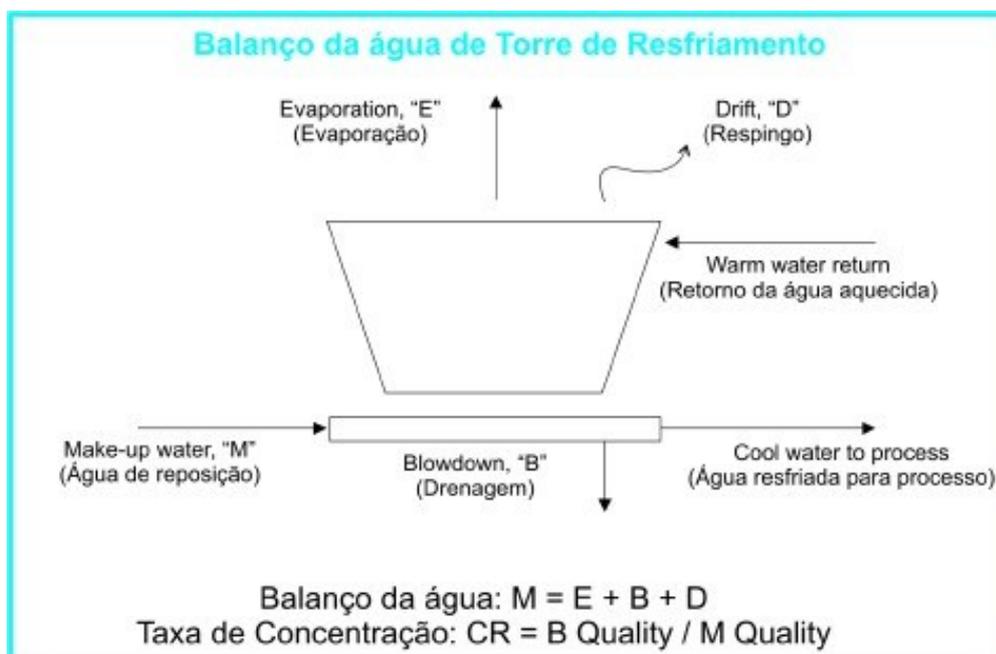


Fonte: Desenho técnico da USP (2021)

Representado na figura 5, o balanço da água em uma Torre de Resfriamento segue da seguinte maneira: A água com temperatura mais elevada oriunda dos processos da fábrica abastece a torre por cima atravessando-a. Em seguida, a água entra em contato com o ar mais frio e uma fração da água evapora saindo junto com o ar. O ar sai da torre mais quente e a água vai diminuindo sua temperatura aos poucos e, por fim, saí da torre por baixo. As “sujeiras” não voláteis presentes no fluido de processos vão sendo depositadas com o passar do tempo e pela evaporação.

Dessa forma, em tempos em tempos a água “velha” precisa ser retirada do sistema (*blowdown*) e a reposição com “água virgem” (*make-up water*) precisa acontecer (ÁGUAVIVA TECNOLOGIA LTDA, 2022).

Figura 5 – Balanço da água de Torre de Resfriamento



Fonte: Revista e Portal Meio Filtrante (2003)

4. METODOLOGIA

As atividades e cálculos envolvidos para realizar o estudo e obter as informações e dados necessários estão esboçados neste capítulo. Serão detalhadas inicialmente as informações do sistema piloto e de qualidade da água de chuva, posteriormente com auxílio dos dados pluviométricos da região e a área dos telhados destinados a captação foi possível calcular os volumes, vazões e outros elementos relevantes de forma estatística. Como última tarefa, o custo-benefício foi detalhado e descrito como um sistema piloto para a empresa.

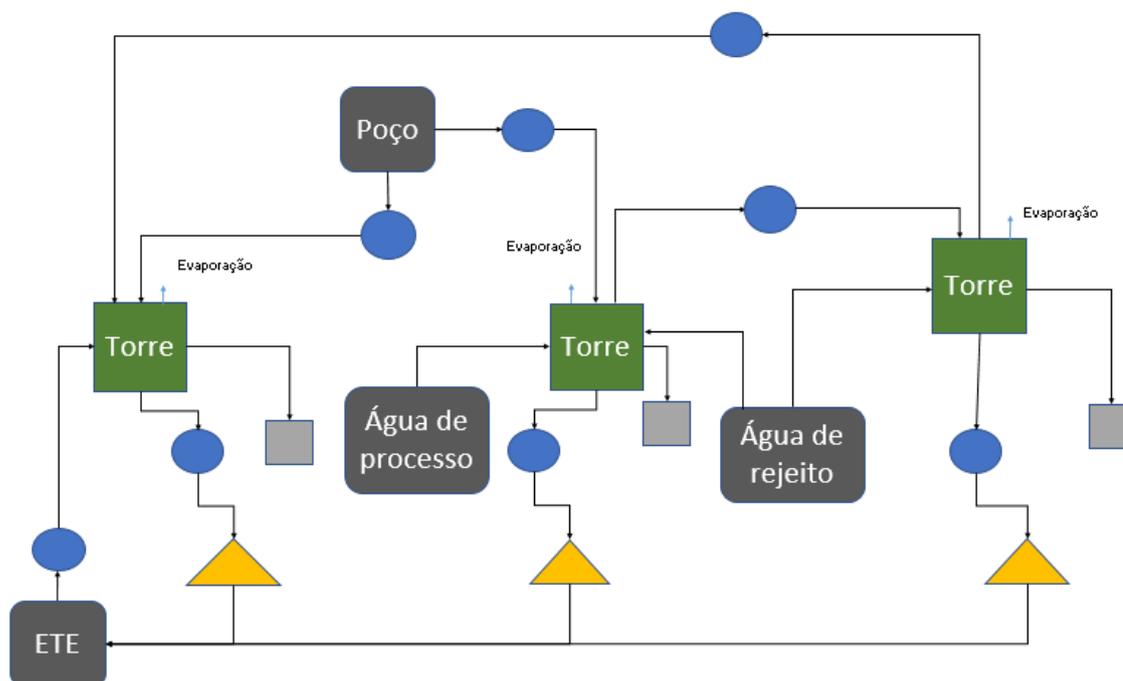
O primeiro passo consistiu em obter os valores das áreas/superfícies dos telhados da fábrica, os quais foram encontrados nos arquivos de engenharia/manutenção medidos alguns anos atrás por funcionários da empresa. Estes valores proporcionaram o cálculo dos volumes de água viáveis de captação.

Posteriormente, o passo subsequente foi o levantamento de dados em relação a demanda de água da fábrica e algumas das dimensões e características de materiais e instrumentos. Esses valores foram disponibilizados por funcionários da área financeira e manutenção.

4.1 Circuitos de água Industrial na indústria analisada

Existem três circuitos envolvendo as torres de resfriamento na planta. Os sistemas estão retratados de forma simplificada e didática na figura 6, onde os círculos em azul representam hidrômetros, os triângulos em amarelo são purgas e os quadrados em cinza representam extravasores de água em excesso.

Figura 6 – Circuitos das Torres de Resfriamento da Indústria estudada



Fonte: Desenho autoral (2021)

4.1.1 Circuito da torre de resfriamento E-7701 (TA-01)

O conjunto E-7701 (TA-01) é formado por quatro torres de resfriamento do tipo contracorrente, sendo elas E-7701A/B/C/D. O quadro 1 nos mostra algumas condições operacionais deste conjunto.

Quadro 1 – Condições operacionais da torre E-7701 (TA-01)

Vazão	(m ³ /h)	800
Volume	(m ³)	100
ΔT	(°C)	5,5
Arraste	(m ³ /h)	0,8
Evaporação	(m ³ /h)	6,7
Ciclo	---	3,0
Blow-Down	(m ³ /h)	2,5
Perda Líquida	(m ³ /h)	3,3
Make-up	(m ³ /h)	10,0

Fonte: Arquivos da empresa estudada (2021)

O delta T corresponde à diferença de temperatura entre a entrada e saída de água na torre. O ciclo corresponde ao ciclo de concentração e indica quantas vezes a água pode concentrar-se no sistema. O *blow-down* corresponde a drenagem da água contida na torre para a ETE. A perda líquida é a soma da perda por arraste e *Blow-Down*. Já o make-up é a quantidade de água recebida da ETE. Se houver algum problema com o fornecimento de água da ETE, o make-up é realizado com água de poços.

A água industrial resfriada por este conjunto de torres é utilizada nas máquinas frigoríficas, como fluido de refrigeração do condensador e sub-resfriador, promovendo assim a condensação do gás refrigerante.

4.1.2 Circuito da torre de resfriamento E-7702 (TA-02)

O conjunto E-7702 (TA-02) é formado por duas torres do tipo corrente cruzada, sendo elas E-7702 A/B. O quadro 2 nos mostra algumas condições operacionais deste conjunto.

Quadro 2 – Condições operacionais da torre E-7702 (TA-02)

Vazão	(m ³ /h)	400
Volume	(m ³)	120
ΔT	(°C)	10
Arraste	(m ³ /h)	0,4
Evaporação	(m ³ /h)	6,1
Ciclo	---	4,0
Blow-Down	(m ³ /h)	1,7
Perda Líquida	(m ³ /h)	2,1
Make-up	(m ³ /h)	8,2

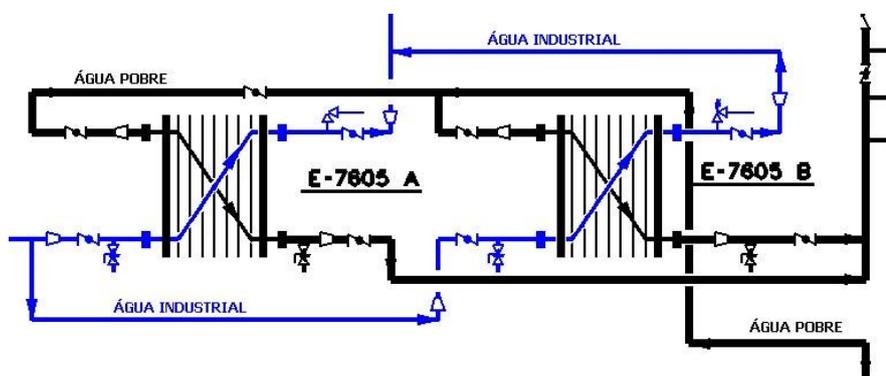
Fonte: Arquivos da empresa estudada (2021)

No caso deste conjunto de torres, o make-up é a quantidade de água recebida da sobra de água das colunas de destilação.

A água industrial resfriada por esta torre E-7702 (TA-02) é utilizada no trocador de calor localizado na área de utilidades, o E-7605 A/B. Esse é um trocador de calor

a placas e resfria a água utilizada apenas para resfriamento de equipamentos industriais, conforme a figura 7.

Figura 7 – Trocador de calor da área de utilidades



Fonte: Desenho técnico da própria empresa (2021)

4.1.3 Circuito da torre de resfriamento E-7703 (TA-03)

O conjunto E-7703 (TA-03) também é constituído por duas torres do tipo corrente cruzada, sendo elas E-7703 A/B. O quadro 3 nos mostra algumas condições operacionais deste conjunto.

Quadro 3 – Condições operacionais da torre E-7703 (TA-03)

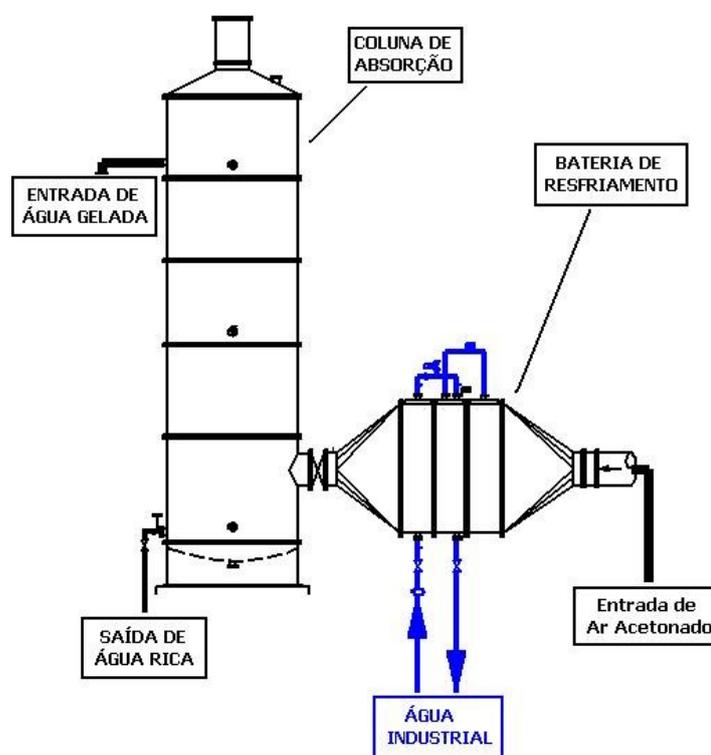
Vazão	(m ³ /h)	650
Volume	(m ³)	140
ΔT	(°C)	4,0
Arraste	(m ³ /h)	0,7
Evaporação	(m ³ /h)	4,0
Ciclo	---	3,0
Blow-Down	(m ³ /h)	1,3
Perda Líquida	(m ³ /h)	2,0
Make-up	(m ³ /h)	6,0

Fonte: Arquivos da empresa (2021)

Para este conjunto, o make-up é a quantidade de água recebida da sobra da torre E-7702, pois a quantidade total de água que sobra das colunas de destilação é cerca de 15 m³/h.

A água industrial resfriada por esse conjunto de torres é utilizada nas baterias de resfriamento do ar acetinado, nos resfriadores e condensadores de segurança de acetona. Estes últimos só entram em funcionamento caso haja algum problema com a água acetinada no condensador principal. A figura 8 mostra uma representação de uma bateria de resfriamento.

Figura 8 – Bateria de Resfriamento



Fonte: Desenho técnico da própria empresa (2021)

4.2 Etapas do sistema piloto de captação de água da chuva

O projeto de captação de água de chuva surgiu com o objetivo de balancear os custos hídricos da empresa, uma vez que houve uma crescente demanda desse recurso.

Iniciadas as discussões utilizando metodologias de melhorias de processos, reuniões com o objetivo de resolver o problema da demanda excessiva de água foram realizadas de forma que as discussões em grupo receberam a contribuição de ideias de todos os participantes envolvidos (colaboradores de vários níveis hierárquicos, inclusive o estagiário). Posteriormente, o planejamento e concepção da área de captação, bombas, reservatórios, tubulações, sensores de nível e demais utensílios do projeto foram feitos pelos engenheiros responsáveis da empresa.

4.2.1 Qualidade da água na utilização em Torres de Resfriamento

Em áreas urbanas como a região metropolitana de São Paulo existe uma grande poluição em geral. Esse fator deve ser levado em consideração em respeito a qualidade da água na captação da chuva e, portanto, a primeira etapa do projeto consistiu na caracterização da água afim de entender se sua utilização afetaria os processos atuais da fábrica.

A qualidade da água de chuva está sobre influência do contato com a área exterior e do ar atmosférico de sua região. Dessa forma, o quadro 4 apresenta os pontos de atenção e os valores sugeridos de qualidade da água utilizada nas torres de resfriamento.

Quadro 4 - Padrão de qualidade sugerido para a água

Parâmetro	Unidade	Valor
pH	-	6,5 a 8,5
Condutividade	µS/cm	< 3000
Alcalinidade Total	mg/l	< 400
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/l	< 2800
Dureza Total	mg/l	< 400
Cloretos	mg/l	< 200
Sílica	mg/l	< 150
Ferro	mg/l	< 5
Sólidos Suspensos	mg/l	< 20
Sulfatos	mg/l	< 300

Fonte: Trovati (2004).

Estes parâmetros são analisados em detrimento de possíveis problemas que podem acontecer nas Torres de Resfriamento caso não haja controle adequado de

seus valores. Os problemas são facilmente tratados se levados com seriedade e, na maioria das vezes, são estes:

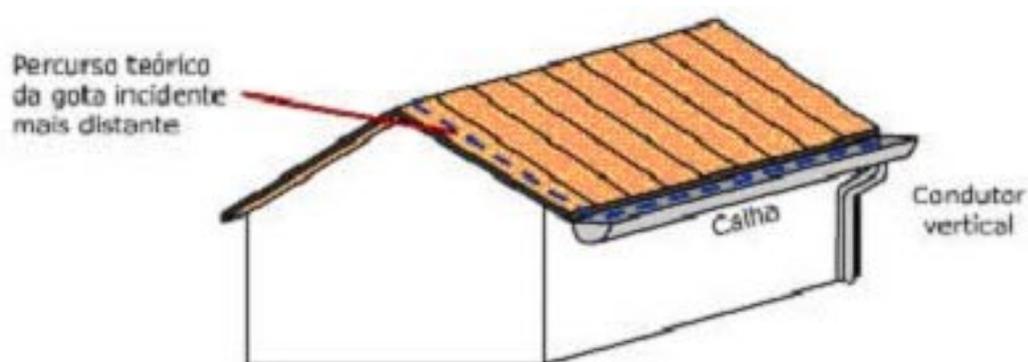
- Menor fluxo de água de resfriamento
- Baixas taxas de transferência de calor
- Aumento do consumo de água e custos
- Volumes de água de efluentes aumentados
- Danos aos equipamentos
- Incrustações e corrosões
- Proliferações demasiadas de bactérias

4.2.2 Dimensionamento de calhas e condutores

4.2.2.1 Chuvas intensas e vazão máxima

Os dimensionamentos das calhas, condutores verticais e horizontais requerem estudo e cálculo das chuvas intensas para, assim, obter exatidão de planejamento e bom funcionamento envolvendo suas vazões de pico. Os equipamentos citados são um conjunto essencial em um sistema de captação de água de chuva e estão ilustrados na figura 9.

Figura 9: Calha e condutor vertical



Fonte: Fórum da construção (2013).

Por meio da equação de chuva intensa (equação 1), *Equação Geral de Otto Pfafstetter* de 1982, estima-se a quantidade de chuvas intensas em uma região.

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

Onde:

i = Potência da chuva (mm/h)

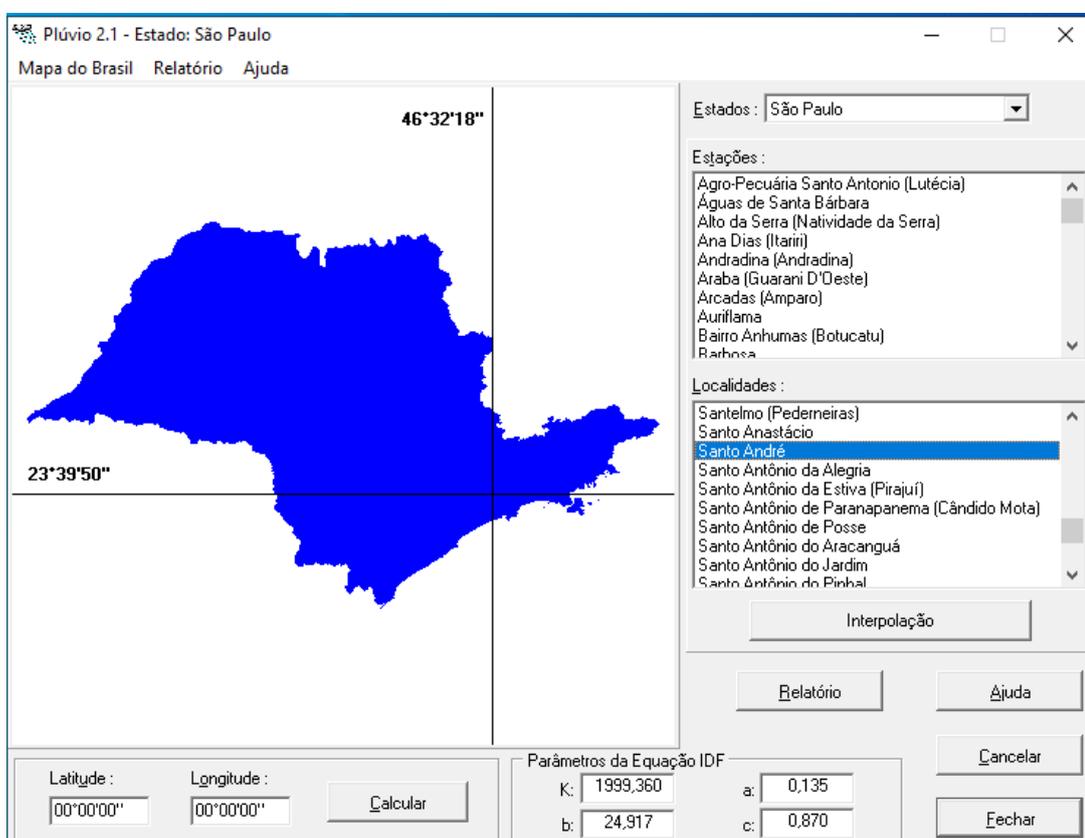
T = Tempo de retorno da chuva (anos)

t = Tempo de duração da chuva (min)

K , a , b e c = parâmetros locais de ajuste da equação

Os valores dos parâmetros da equação 1 foram obtidos por meio de um Software chamado *Plúvio 2.1*, o qual disponibiliza parâmetros para diversas regiões do país conforme a figura 10:

Figura 10: Software *Plúvio 2.1*



Fonte: Captura autoral de tela do Software *Plúvio 2.1* (2022)

O valor determinado para o tempo de retorno (T) seguiu o quadro 5, o qual foi disponibilizada pela professora doutora Lúcia Helena de Oliveira, chefe do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Quadro 5: Tempo de retorno em relação a local

Local	T (Anos)
Áreas pavimentadas	1
Coberturas e/ou terraços	5
Coberturas e áreas onde empoçamento não é tolerado	25

Fonte: Adaptado AECweb (2021)

Em seguida, para o cálculo da vazão máxima (Q), utiliza-se da equação do *Método Racional da Hidrologia* apresentado pela primeira vez em 1851 por Mulvaney e usado por Emil Kuichling em 1889 (equação 2).

$$Q = \frac{c.i.A}{60} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

Q = Vazão máxima (L/min)

c = Coeficiente de escoamento superficial

i = Intensidade da chuva de projeto obtida com a Equação 2

A = Área de captação (m²)

O coeficiente de escoamento utilizado na equação 2 é também necessário para dar prosseguimento a caracterização da área de captação, uma vez que relaciona o volume total precipitado e o volume efetivamente escoado. Este coeficiente depende do material utilizado na área de captação e está presente para diferentes superfícies como aparece no quadro 6.

Quadro 6 - Coeficiente de escoamento para cada tipo de superfície

Características da superfície	Coeficiente de escoamento
Telhados	0,75 a 1,00
Pavimentação asfáltica	0,70 a 0,95
Pavimentação com paralelepípedo	0,70 a 0,85
Pavimentação em concreto	0,80 a 0,95
Gramados – terrenos arenosos	0,05 a 0,20
Gramados – terrenos argilosos	0,13 a 0,35

Fonte: Baptista (2003) *apud*. Nez (2010).

4.2.2.2 Calhas

Para que a calha suporte as vazões de pico, o seu dimensionamento é calculado considerando o método proposto pela norma técnica NBR 10844. O método utiliza o conceito do escoamento permanente uniforme das calhas inclinadas. As calhas semicirculares, retangulares, trapezoidais ou de outras formas são dimensionadas de acordo com a equação 3, *Equação de Manning-Strickler*, para descobrir o raio hidráulico destes equipamentos (NETTO, 2018).

A calha deste projeto é considerada com seção do semicircular feita de plástico e o valor utilizado para o coeficiente de rugosidade baseou-se no quadro 7, também disponibilizada pela professora Lúcia Helena de Oliveira.

Quadro 7: Materiais e seus coeficiente de rugosidade

Material	Coeficiente de rugosidade (n)
Plástico, fibrocimento, alumínio, aço inoxidável, aço galvanizado, cobre e latão	0,011
Ferro fundido, concreto alisado e alisado e alvenaria revestida	0,012
Cerâmico e concreto não alisado	0,013
Alvenaria de tijolos não revestidas	0,015

Fonte: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-fazer-o-correto-dimensionamento-do-sistema-de-agua-pluvial/20973>

$$Rh^{2/3} = \frac{Q}{K \cdot \frac{S}{n} \cdot I^{1/2}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Q = Vazão de projeto (l/min)

n = coeficiente de rugosidade

Rh = S/P, Raio hidráulico (m)

S = Área da seção molhada (m²)

P = Perímetro molhado (m)

I = Declividade da calha (m/m)

K = 60000

Para o dimensionamento das calhas foi utilizada o quadro 8 disponibilizada pelo site Guia da engenharia, a qual está já vinculada com a *Equação 3 de Manning-Strickler* e possibilitou mais rapidez na execução.

Quadro 8: Diâmetro interno de calhas relacionando sua rugosidade e declividade

Diâmetro interno (mm)	n = 0,011		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1167	1634

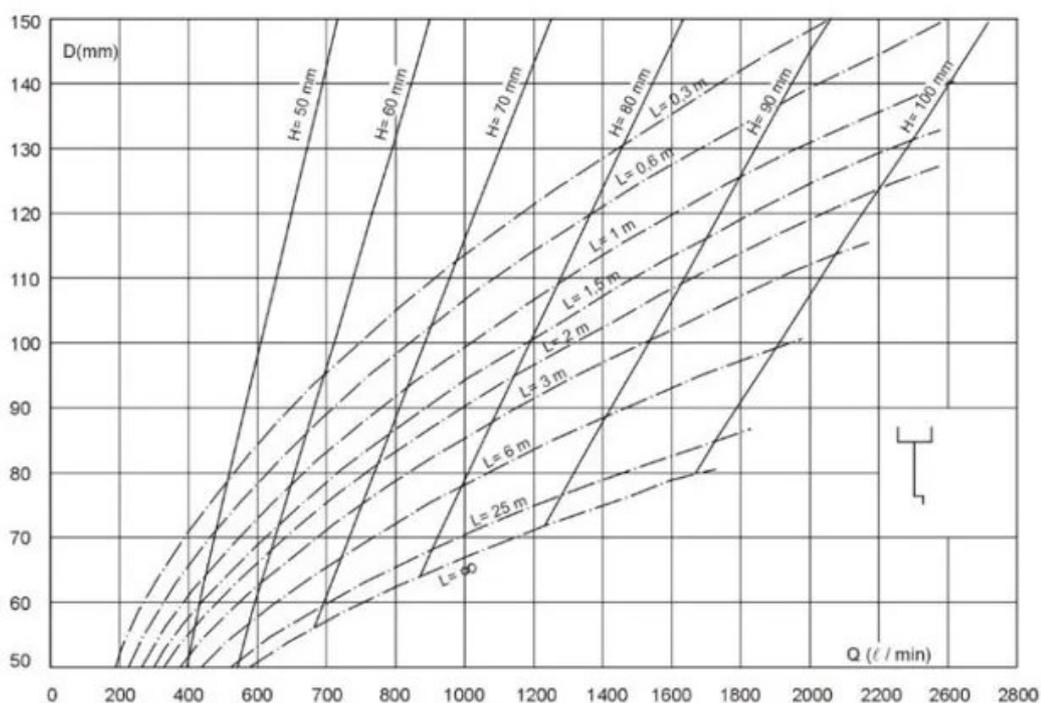
Fonte: Adaptado Guia da Engenharia (2022)

A escolha do diâmetro interno da calha deve ser o que se adequa a vazão de projeto, declividade e rugosidade do material escolhido.

4.2.2.3 Condutores verticais

O dimensionamento dos condutores verticais seguiram o ábaco (figura 11) disponibilizado pelo Centro Científico e Técnico da Construção da Bélgica e encontrado no site Guia da engenharia.

Figura 11: Ábaco de dimensionamento de condutores verticais



Fonte: [AECweb \(2021\)](#)

A determinação do diâmetro interno, D (mm), utilizando o ábaco consiste em duas etapas:

1ª Etapa: A partir do valor de Q , levantar uma vertical até interceptar as curvas de H (comprimento do condutor vertical) e L (lamina d'água da calha).

2ª Etapa: Traçar horizontais ligando as intersecções $Q \times H$ e $Q \times L$ sobre o eixo do diâmetro. O maior valor encontrado será o diâmetro procurado.

4.2.2.4 Condutores horizontais

Em relação aos condutores horizontais, estes equipamentos são dimensionados utilizando a equação hidráulica para condutores livres e, para este trabalho, considerou-se escoamento em regime permanente.

Para o presente trabalho, considerou-se também o escoamento com altura de lâmina de água igual a metade do diâmetro interno do condutor horizontal e, de forma semelhante as calhas, prosseguiu-se o recomendado pela norma NBR – 10844, supondo uma declividade mínima uniforme de 0,5% para utilização da equação de *Manning-Strickler* (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR – 10844).

Os valores de diâmetro interno (D) em milímetros estão descritos no quadro 9 a seguir e devem se adequar a vazão de projeto, declividade e rugosidade do material escolhido.

Quadro 9: Diâmetro interno do condutor horizontal relacionado a rugosidade e declividade

Diâmetro interno (mm)	n = 0,011			
	0,5%	1%	2%	4%
50	32	45	64	90
75	95	133	188	267
100	204	287	405	575
125	370	521	735	1040
150	602	847	1190	1690
200	1300	1820	2570	3650
250	2350	3310	4660	6620
300	3820	5380	7590	10800

Fonte: Adaptado [AECweb](#) (2021)

4.3 Remoção de sólidos grosseiros e descarte da primeira água de chuva

4.3.1 Remoção de sólidos grosseiros

O modelo *aquapluvstyle flexível bco* (figura 12), é sugerido como dispositivo de remoção de sólidos grosseiros para instalação em cada parte da área de captação. Este equipamento é flexível, poder ser instalado em qualquer parte da tubulação, apresenta fácil manuseio e custo baixo de compra/reposição.

Figura 12 - Dispositivo de retenção de sólidos grosseiros



Fonte: Site Magazine Luiza (2021)

4.3.2 Descarte da primeira água de chuva

Pela a necessidade de rejeitar da primeira água de chuva é sugerido a escolha do aparelho *Downpipe First Flush Water Diverter*. Esse equipamento possibilita um controle automático de volume que guia o curso da água após o descarte para o reservatório de captação de água precipitada.

Além do instrumento citado a cima, no reservatório de descarte um regulador de fluxo no tubo cascata deve estar presente para que ele escoe automaticamente e evite manutenção demasiada.

De forma semelhante ao dispositivo de remoção de sólidos grosseiros, o *Downpipe First Flush Water Diverter* (figura 13) deve ser instalado em par para satisfazer as duas partes do telhado estudado.

Figura 13 - *Downpipe First Flush Water Diverter*



Fonte: Site Bunnings (2021)

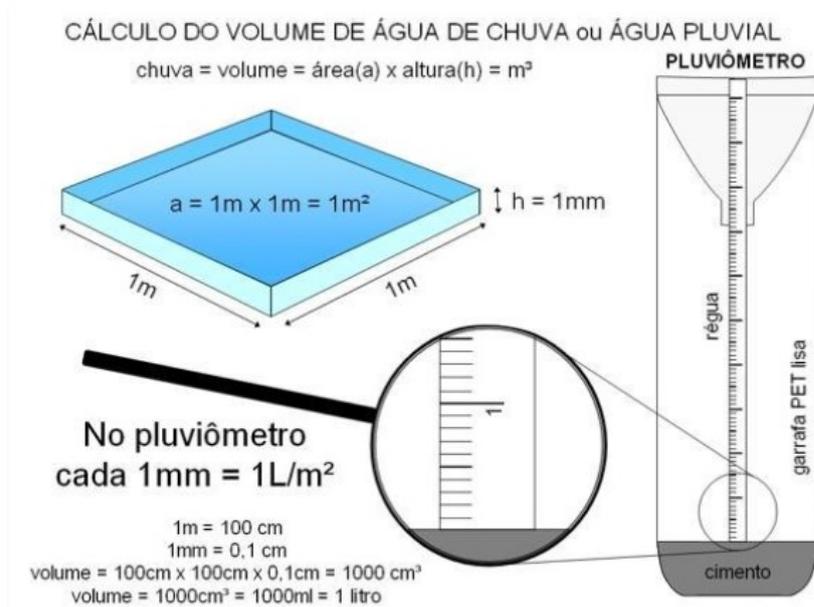
4.4 Estudos pluviométricos

No segmento a seguir são relatados os estudos e passos realizados para conseguir os valores relacionados a chuva da região. A partir do estudo da pluviometria da região durante os anos de 2019 à 2021, foi possível obter o entendimento e compreensão dos dias em que ocorrem chuvas e, assim, determinar os melhores meses para implementar e iniciar o projeto.

A água precipitada de possível captação teve seu volume calculado a partir do levantamento e estudo do histórico de chuva durante os anos da região.

Os dados pluviométricos foram obtidos no site da prefeitura de Santo André e foram calculados, pela mesma, por meio de um método ilustrado na figura 14. As estações escolhidas foram as de Parque das Nações, Curuçã e Novo Oratório, localizadas o mais próximo possível da empresa.

Figura 14: Método de cálculo do volume de água de chuva



Fonte: Site do Departamento de Proteção e Defesa Civil da Santo André (2021)

As estações pluviométricas foram designadas por dois fatores principais. Primeiro, a proximidade geográfica com a empresa e a menor quantidade de falhas registradas no site. O período da série de informações abrangem os anos de 2019 à 2021 e estão presentes nos quadros 10, 11 e 12, respectivamente.

Quadro 10: Pluviometria em milímetro de chuva 2019

Mês	Parque das Nações	Curuçá	Novo Oratório	Média
Janeiro	108,50	88,40	154,20	117,03
Fevereiro	117,40	117,80	107,90	114,37
Março	1,00	33,70	25,90	20,20
Abril	124,10	1,00	160,00	95,03
Maio	55,50	1,00	67,80	41,43
Junho	12,20	12,20	12,20	12,20
Julho	102,30	1,00	100,90	68,07
Agosto	1,80	1,00	2,20	1,67
Setembro	71,10	1,00	74,80	48,97
Outubro	13,40	1,00	9,40	7,93
Novembro	53,80	1,00	88,70	47,93
Dezembro	0,00	1,00	100,40	33,80

Fonte: Site do Departamento de Proteção e Defesa Civil da Santo André (2021)

Quadro 11: Pluviometria em milímetro de chuva 2020.

Mês	Parque das Nações	Curuçá	Novo Oratório	Média
Janeiro	1,00	64,5	216,5	94,00
Fevereiro	178,00	292,30	342,80	271,03
Março	103,90	55,40	58,30	72,53
Abril	1,40	0,60	1,40	1,13
Maio	10,00	9,90	11,10	10,33
Junho	102,30	60,90	106,30	89,83
Julho	8,00	8,30	9,30	8,53
Agosto	19,80	38,30	72,20	43,43
Setembro	3,80	19,30	19,40	14,17
Outubro	61,2	100,2	118,2	93,20
Novembro	94,15	37,20	106,90	79,42
Dezembro	1,00	187,70	209,40	132,37

Fonte: Site do Departamento de Proteção e Defesa Civil da Santo André (2021)

Quadro 12: Pluviometria em milímetro de chuva 2021

Mês	Parque das Nações	Curuçá	Novo Oratório	Média
Janeiro	107,50	105,00	40,60	84,37
Fevereiro	161,10	251,10	0,00	137,40
Março	154,10	162,90	137,10	151,37
Abril	55,30	51,10	39,40	48,60
Maio	44,30	45,40	44,80	44,83
Junho	13,00	12,20	12,60	12,60
Julho	41,30	42,70	43,90	42,63
Agosto	34,80	34,20	37,40	35,47
Setembro	19,90	18,20	22,60	20,23
Outubro	131,80	102,50	150,50	128,27
Novembro	83,50	101,30	93,90	92,90
Dezembro	171,4	180,90	180,00	177,43

Fonte: Site do Departamento de Proteção e Defesa Civil da Santo André (2021)

4.5 Água industrial utilizada nas torres de resfriamento

Os dados referentes à demanda das torres de resfriamento foram disponibilizados pela área financeira da empresa e são do ano de 2021. Estes dados foram obtidos por hidrômetros instalados na saída dos reservatórios de distribuição para monitorar e avaliar a quantidade de água usada pelas torres de resfriamento e estão presentes no quadro 19 que será apresentado na seção dos resultados. Estes valores foram necessários para possibilidade de estimar o custo economizado com funcionalidade do sistema quando instalado.

4.6 Custos e despesas

Inicialmente, quando o projeto estava apenas no “campo das ideias”, realizaram-se pesquisas e estudos sobre a possibilidade e o potencial da empresa em receber a implementação de um sistema de captação de água de chuva. Dessa forma, com objetivo de analisar economicamente o projeto piloto, custo de implementação, custos de manutenção e gasto com água industrial foram coletados e destrinchados, de acordo com o que será apresentado na seção de resultados e discussões.

4.6.1 Custos iniciais

Nesta seção são destacadas as despesas de instalação e que não ocorreriam novamente.

- Calhas horizontais
- Condutores verticais
- Mecanismo de descarte
- Grades
- Tubulações subterrâneas

Para o cálculo de gastos/custos referentes as calhas e condutores, o site da *Balaroti* (empresa de material de construção) foi consultado e usado de referência, além do desenho da planta dos telhados da empresa no sentido de obter o comprimento (valores contidos no quadro 17 na seção de resultados). Por fim, os mecanismos de descarte e grades foram obtidos em conversas pessoais com empresas provedoras do serviço, como por exemplo a *Plastolândia*.

Engenheiros responsáveis pelos processos da indústria química estudada auxiliaram no orçamento das tubulações enterradas que são necessárias para guiar a água proveniente do conduto vertical em direção ao poço de armazenagem de água de chuva.

Uma vez que bombas seriam instaladas para bombear água originária do lençol freático, ocorreu a possibilidade de serem aproveitadas também para bombear água de chuva utilizando os poços como reservatório. Dessa forma, custos iniciais com bombas não foram tidas para cálculos.

4.6.2 Custos de manutenção e operação

Mensalmente é necessário um gasto de manutenção para precaver-se e corrigir o funcionamento do sistema.

- Manutenção do sistema (dispositivos hidráulicos e aparatos elétricos)
- Substituição das grades
- Inspeção da qualidade da água
- Energia elétrica para funcionamento das bombas

Engenheiros da indústria química estudada designaram um valor médio estimado com a manutenção dos equipamentos por não ser possível controlar de forma perfeita as alterações decorrentes de imprevistos (acidentes por exemplo).

Os instrumentos de gradeamento foram previstos a serem repostos mensalmente e os custos de análise da água dos poços foram feitos pelo laboratório interno da indústria química parceira.

4.7 Cálculo do volume de captação e seu valor monetário

Por meio da pluviometria da região e aplicando a equação 4, o volume de captação foi alcançado.

$$V = A \times c \times Ac \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

V = Volume de captação (m³)

A = Área de captação (m²)

c = Coeficiente de escoamento

Ac = Acúmulo de chuva (m³)

A partir do valor pago por metro cúbico disponibilizado pelos colaboradores do financeiro e do volume de captação calculado pela equação 4, o valor possível de ser economizado anualmente foi orçado pela equação 5.

$$Ve = V \times Vp \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

Ve = Valor médio anual economizado (R\$)

V = Volume de captação (m³)

Vp = Valor pago por metro cúbico (R\$/ m³)

4.8 Balanço custo-benefício

Após a determinação do benefício financeiro, houve comparação deste com as despesas do sistema de forma a balancear o investimento e o resultado.

Para o cálculo do custo-benefício do primeiro ano de implementação do projeto (Equação 7), utilizou-se dos custos da empresa para conseguir os volumes de captação e o valor médio anual economizado em água industrial pela indústria química

analisada por metro cúbico, o qual foi obtido por meio de entrevista com colaboradores responsáveis pela respectiva área de atuação.

$$C_t = C_i + C_m \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

C_t = Custos totais (R\$)

C_i = Custos de implementação (R\$)

C_m = Custos de manutenção (R\$)

$$CB_i = V_e - C \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

CB_i = Custo-benefício do primeiro ano (R\$)

V_e = Valor médio anual economizado (R\$)

C_t = Custos totais (R\$)

A equação 9 deve ser levada em consideração para o cálculo do custo-benefício dos anos seguintes a implementação, uma vez que apenas os gastos com manutenção continuarão existindo.

$$CB_f = V_e - C_m \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

CB_f = Custo-benefício demais anos (R\$)

V_e = Valor médio anual economizado (R\$)

C_m = Custos de manutenção (R\$)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As torres de resfriamento da indústria química em questão serão explicadas e caracterizadas de forma a apresentar a demanda e abastecimento de água da planta. O projeto piloto de captação de água de chuva da indústria química analisada, sua concepção e estrutura serão apontados para que o sistema funcione. Por meio de análise, os gastos, custos, despesas e benefício financeiro da implementação do projeto serão debatidos e mostrados. Por fim, a probabilidade estatística de acontecimentos de dias secos e chuvosos consecutivos no município de Santo André proporcionará a idealização da maior quantidade em volume de água pluvial possível de captação e, assim, planejamento de operação dos equipamentos e mecanismos necessários.

5.1 Torres de Resfriamento na indústria química analisada

Para atender às demandas da empresa, a indústria química possui 3 torres de resfriamento. Os processos e os equipamentos que os englobam atuam utilizando a água chamada de industrial e são os que definem a proporção em que o consumo de água das torres de resfriamento ocorre.

A rede pública é a responsável pelo abastecimento de água para as torres de resfriamento e, vale ressaltar, não passa por qualquer tipo de tratamento prévio.

Iniciando o sistema, a água concebida pela rede pública é armazenada em um reservatório com volume de 500 m³ para posteriormente abastecer toda a indústria que, por meio da força gravitacional, dois reservatórios de polietileno interligados de 6 m³ são abastecidos. Os reservatórios são fiscalizados por sensores de nível e transferem a água para as torres de resfriamento

5.2 Avaliação da qualidade da água

No quadro 13 seguem análises de qualidade da água que abastece as Torres de Resfriamento, água oriunda dos telhados e água sugerida pelo laboratório seguindo orientação de *Tovati*.

Quadro 13 - Comparação da água da chuva com a água de abastecimento em 2021

Parâmetro	Valor médio medido no telhado	Valor medido na água utilizada nas torres atualmente	Valor sugerido por <i>Trovati</i> (2004)
Alcalinidade Total (mg/l)	26,00	29,0	< 400
Cloretos (mg/l)	3,70	7,60	< 200
Dureza (mg/l)	15,00	36,0	< 400
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)	16,20	32,5	< 20

Fonte: Autoria própria (2021)

De acordo com o quadro conclui-se que os dados da água de chuva estão relativamente dentro do estabelecido previamente e, por meio do descarte da primeira água de chuva, os sólidos totais também se adequarão posteriormente ao orientado pela NBR 15.527, não havendo necessidade de outro tipo de tratamento.

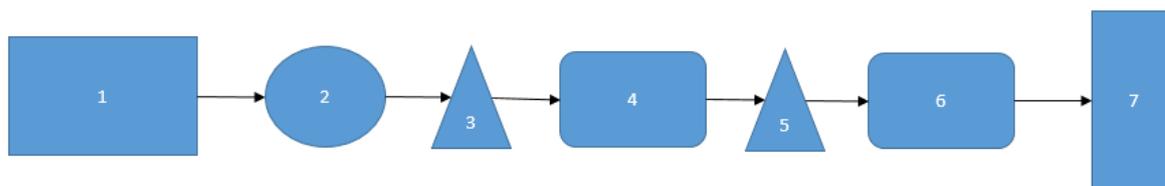
Em comparação com a água de abastecimento das torres de resfriamento, a água proveniente da chuva apresenta parâmetros melhores e, dessa forma, não prejudicará o funcionamento dos equipamentos e dos processos que os envolvem.

5.3 Projeto Piloto

Nesta seção será apresentado o projeto piloto de captação de água pluvial para as torres de resfriamento da indústria química onde está presente o plano de busca de redução dos custos de abastecimento de água.

O projeto piloto como ideia de contrapor o alto consumo de água das torres de resfriamento da indústria química está representado no fluxograma da figura 15.

Figura 15 - Fluxograma do projeto piloto



Fonte: Desenho autoral.

Legenda:

1. Superfície de coleta
2. Poço
3. Bomba centrífuga submersa
4. Reservatório de 50 m³ (2 Reservatórios de 25 m³ interligados)
5. Conjunto de Bombas Centrifugas
6. Reservatório de 12 m³ (2 Reservatórios de 6 m³ interligados)
7. Torres de resfriamento

5.4 Área de captação do projeto piloto

O telhado do prédio de manufatura foi a área de captação escolhida para o projeto para depois encaminhar a água para o poço.

A água previamente “guardada” poderá ser transportada por bombas para dois reservatórios de 25 m³ que se comunicarão por meio dos comumente chamados “vasos comunicantes”, os quais armazenarão a água pluviométrica em conjunto com a água de poço. O volume nestes reservatórios pode ser bombeado através de bombas centrífugas para reservatórios de 6 m³ controlados por sensores de nível que abastecerão as torres de resfriamento.

A área de captação foi escolhida levando em consideração a localização próxima as torres de resfriamento e aos reservatórios.

O telhado de área 1200 m² foi dividido e colaboram de forma autônoma para o volume a ser captado de água e, dessa maneira, sugere-se instalação de calhas e condutores verticais para ambas as partes.

A área de captação do telhado da produção da indústria analisada é constituído de alumínio e para este trabalho será considerado o coeficiente para esse respectivo material como 0,95 segundo quadro 13. Este valor de coeficiente representa em percentagem 95% do volume captado de água de chuva.

5.5 Dimensionamento das calhas, condutores verticais e condutores horizontais

5.5.1 Intensidade da chuva

Com auxílio da experiência compartilhada por engenheiros da área em projetos similares, adotou-se tempo de retorno da chuva como 25 anos, tempo de duração de chuva de 5 minutos e, resultante da equação 1, intensidade (i) de aproximadamente 160,53 mm/h. Todos os valores citados estão presentes no quadro 14 a seguir.

Quadro 14 – Parâmetros da equação 1

Parâmetro	Valor
K	1999,360
T	25
t	5
a	0,135
b	24,917
c	0,870
i	160,53

Fonte: Autoria própria (2021)

5.5.2 Calhas

A partir do cálculo de intensidade de chuva (Equação 1), foi calculado pela equação 2 a vazão de pico (Q) 1522,04 L/min de cada metade do telhado (600 m²). Todos os valores citados estão presentes no quadro 15 a seguir.

Quadro 15 – Parâmetros da equação 2

Parâmetro	Valor
c	0,95
i	160,53
A	600
Q	1525,04

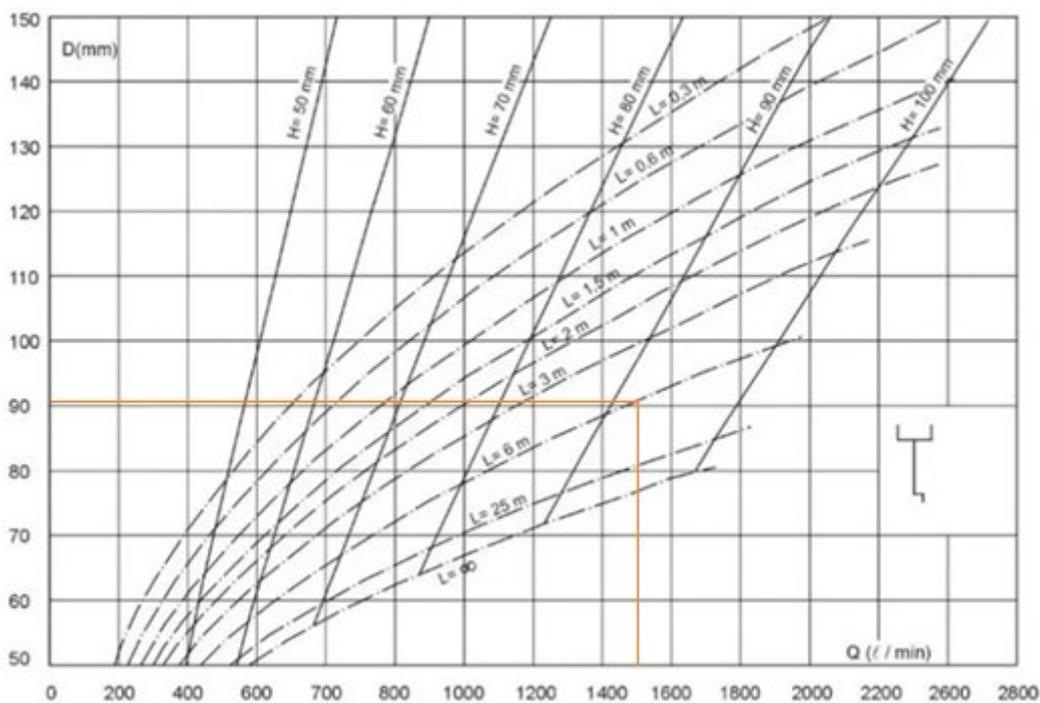
Fonte: Autoria própria (2021)

A partir do valor encontrado para a vazão de pico foi possível por meio da quadro 11 (quadro da seção de metodologia) determinar o diâmetro interno da calha que suporta tal vazão para coeficiente de rugosidade de 0,011 e declividade de 2% como 200 milímetros.

5.5.3 Condutores verticais

Para o cálculo do diâmetro do conduto vertical utilizou-se de referência o ábaco já citado. Para isso, a vazão de pico adotada foi igual a das calhas (1525,04 L/min), comprimento do condutor vertical como 6 metros (elevação da calha) e lamina d'água de 100 milímetros (metade do diâmetro interno). Dessa forma, por meio do ábaco já demarcado e ilustrado na figura 16, foi possível utilizar o comprimento do condutor com referência e obteve-se o valor de diâmetro interno de 90 milímetros.

Figura 16: Âbaco de dimensionamento de condutores verticais demarcado



Fonte: Adaptado Aecweb (2022)

5.5.4 Condutores horizontais

Para o cálculo do diâmetro do conduto horizontal de valor 250 mm, utilizou-se de referência a quadro 12 (quadro da seção de metodologia) com vazão de pico e rugosidade igual a das calhas, porém declividade de 0,5%.

5.6 Balanço Custo-Benefício

5.6.1 Cálculo do gasto com água industrial

Para dar prosseguimento ao projeto, foi necessário obter o valor gasto mensalmente com a água dita industrial que abastece as torres de resfriamento.

Colaboradores da área financeira disponibilizaram os dados de 2021 e foi realizado um resumo como segue o quadro 16.

Quadro 16 – Dados quantitativos e financeiros da água industrial em 2021.

Meses	Quantidade (m³)	BRL	Unit. BRL
Janeiro	6530	R\$ 3.480,29	R\$ 0,88
Fevereiro	7020	R\$ 3.659,68	R\$ 0,59
Março	6625,67	R\$ 3.516,61	R\$ 1,99
Abril	6394,67	R\$ 3.402,54	R\$ 1,31
Maio	6476,33	R\$ 3.492,17	R\$ 1,09
Junho	8260,67	R\$ 4.180,94	R\$ 0,87
Julho	9479	R\$ 4.684,69	R\$ 0,59
Agosto	8184	R\$ 4.185,30	R\$ 1,71
Setembro	5475,8	R\$ 1.906,85	R\$ 0,74
Outubro	5380,5	R\$ 1.917,66	R\$ 4,56
Novembro	5902	R\$ 2.049,84	R\$ 0,83
Dezembro	4920,5	R\$ 1.808,48	R\$ 15,10
Máximo	9479	R\$ 4.684,69	R\$ 15,10
Mínimo	4920,50	R\$ 1.808,48	R\$ 0,59
Média	6624,96	R\$ 3.179,19	R\$ 2,52
Anual	80649,13	R\$ 38.285,04	

Fonte: Arquivos da empresa (2021)

5.6.2 Cálculo do acúmulo de chuva anual

Em sequência, foi contabilizado o acúmulo captado anualmente em função da chuva média nos três anos estudados segundo a respectiva série histórica (quadro 17).

Quadro 17 – Acúmulo anual de chuva

Acúmulo	2019	2020	2021	Média
Acúmulo (mm=L/m ²)	608,53	910,32	976,10	831,65
Acúmulo (m ³ /m ²)	0,61	0,91	0,98	0,83

Fonte: Autoria própria (2021)

5.6.3 Cálculo do volume possível de captação

$V = \text{Área de captação} \times \text{Coeficiente de Escoamento} \times \text{Acúmulo de chuva}$

$$\text{Volume de captação} = 1200 \text{ m}^2 \times 0,95 \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} = 946,2 \text{ m}^3 \text{ ou } 946200 \text{ L}$$

Importante frisar que este valor em comparação ao volume de abastecimento das Torres é pequeno, porém o objetivo deste trabalho consiste em contrapor as perdas de água por arraste de evaporação e purgas. O sistema que envolve o funcionamento de um Torre de Resfriamento é semifechado e, portanto, segue uma recirculação, ou seja, o abastecimento das Torres é constante e com a mesma água.

5.7 Custos do projeto piloto

5.7.1 Custos iniciais

A quantia que possivelmente seria necessária com calhas horizontais e condutores verticais foram calculados utilizando a planta, a qual não foi disponibilizada para fotografia e implementação no trabalho. Colaboradores da área de compras auxiliaram na busca do preço que mais exibiu-se no mercado de tubulações, grades para remoção de sólidos, dispositivo de descarte e todos os outros materiais necessários para o projeto entrar em prática.

Como observação, vale ressaltar que as galerias enterradas que guiam a água de chuva em direção aos poços foram calculadas previamente por projetistas da

indústria química. Em relação à logística, o custo foi ignorado por apresentar valor insignificante em comparação aos gastos. Todos os custos citados estão contidos no quadro 18 a seguir.

Quadro 18 - Custos iniciais da implantação do sistema

Material	Quantidade	Valor unitário	Total
Calhas	40	R\$ 66,15	R\$ 2.646,00
Condutores verticais	8	R\$ 44,53	R\$ 356,24
Grades	02	R\$ 8,88	R\$ 17,76
Dispositivo de descarte	02	R\$ 177,00	R\$ 354,00
Galerias	-	-	R\$ 1.800,00
TOTAL			R\$ 5174,00

Fonte: Autoria própria (2021)

O valor com custos iniciais seria de R\$ 5174,00

5.7.2 Custos de manutenção e operação

Os custos de manutenção são os gastos recorrentes calculados e considerados despesas constantes ao longo do tempo.

A água captada pode ser armazenada nos poços chamados de Poço 1 e Poço 2 localizados dentro da parque industrial. Estes poços estão localizados próximos às torres de resfriamento e serviam apenas para a drenagem de potenciais alagamentos no local. Dessa forma, eles poderiam ser utilizados mais uma vez, porém para complementar o abastecimento da fábrica.

Em ambos os poços atuariam uma bomba com uma vazão máxima de 3 m³/h e potência de 0,75 kW. Estas possíveis bombas poderiam ser controladas por controladores onde no momento em que a água atinge o nível máximo a bomba é acionada e o fluxo ocorre.

O gasto com energia elétrica consumida pelas bombas é calculado a partir do seu tempo de operação (equação 10) e, para isso, torna-se necessário a obtenção do tempo de bombeamento anual de cada bomba por meio do volume captado anual.

$$\text{Tempo bombeamento médio anual} = \frac{\text{Valor captado médio anual}}{\text{Vazão máxima}} \quad \text{Equação 10}$$

Em detrimento dos cálculos, as bombas funcionarão, quando acionadas, o tempo todo em sua vazão máxima (3 m³/h cada bomba) e potência máxima (0,75 kW cada bomba). Portanto, a energia obtida nos cálculos representará a energia de fato utilizada.

$$\text{Tempo de bombeamento médio anual} = \frac{946,2 \text{ m}^3}{3 \text{ m}^3/\text{h}} = 315,4 \text{ h}$$

O preço em média arrecadado por energia elétrica utilizada por indústrias denominadas como grandes no município de Santo André aproxima-se 0,20 R\$/kWh e este foi o valor empregado para calcular-se o restante do projeto.

Calcula-se a energia consumida de acordo com tempo de funcionamento das duas bombas. Posteriormente, o custo energético de operação das duas bombas que em conjunto resultam em uma potência total de 1,5 kW e foi calculado seguindo a equação 11.

Observação: Tempo de bombeamento médio = tempo de operação.

$$\text{Custo energ.} = 1,5 \text{ kW} \times \text{Tempo de opera.} \times \text{R}\$0,20/\text{kWh} \quad \text{Equação 11}$$

$$\text{Custo energ.} = 1,5 \text{ kW} \times 315,4 \text{ hora} \times \text{R}\$0,20/\text{kWh}$$

Custo energético médio anual para o acionamento e operação das bombas envolvidas no projeto piloto de captação de água de chuva seria de aproximadamente R\$ 94,62.

É importante frisar que uma análise mensal da água proveniente do poço deve ser realizada para monitorar sua qualidade e, assim, manter os parâmetros necessários.

É recomendado entorno de 20 limpezas das grades de remoção dos sólidos grosseiros ao decorrer do ano. Gastos com manutenção das grades foram estipulados por funcionários da indústria.

No Quadro 19 estão os custos anuais para assegurar a conservação do sistema de captação de água de chuva e mantê-lo atuando com qualidade e a soma destes custos consiste no valor anual total gasto com manutenção do projeto.

Quadro 19 – Custo anuais com a manutenção do sistema piloto.

Equipamentos	Quantidade	Valor unitário	Total
Grades	20	R\$ 8,00	R\$ 160,00
Análise da qual. da água	03	R\$ 120,00	R\$ 360,00
Manutenção (dispositivos e equipamentos em geral)	2	R\$ 100,00	R\$ 200,00

Fonte: Autoria própria (2021)

O custo estipulado anual com manutenção do sistema piloto é R\$ 720,00

5.8 Cálculo dos benefícios

Nesta seção serão realizados os cálculos envolvendo os possíveis benefícios da implementação do sistema de forma a balancear os custos de implementação, manutenção e operação que o envolve, além de estimar um tempo de retorno do projeto.

5.8.1 Comparação dos benefícios ao decorrer dos anos

Após o cálculo do volume de água possível de captar com o projeto, converte-se este valor em dado monetário para que se possa obter comparação.

Volume médio anual economizado = Volume de capt. x Valor médio pago por m^3

Valor médio anual economizado = $946,2 m^3 \times R\$ 2,52/m^3 = R\$ 2384,42$

Calcula-se os custos totais do projeto, levando em consideração a instalação, para obter o custo benefício do primeiro ano em que o projeto estaria em funcionamento.

Custos totais = Custos de implementação + Custos de manutenção e operação

Custo de manutenção = Custo energético + Custo manutenção sistema

Custos totais = R\$ 5174,00 + (R\$ 94,62+ R\$ 720) = R\$ 5988,62

Custbenef 1º ano = Valor médio anual economizado – Custos totais

$$\text{Custbenef 1º ano} = \text{R\$ } 2384,42 - \text{R\$ } 5988,62 = -\text{R\$ } 3604,20$$

O resultado mostra-se negativo como previsto, uma vez que o custo de instalação é alto e consiste em um investimento para receber retorno posteriormente.

Para os demais anos o cálculo torna-se diferente, isso pois os custos de instalação não são mais necessários.

Custbenef = Valor médio anual economizado – Custos de manutenção e operação

$$\text{Custbenef} = \text{R\$ } 2384,42 - \text{R\$ } 814,62 = \text{R\$ } 1569,80$$

O valor para os demais anos demonstra-se positivo e razoavelmente satisfatório. Dessa forma, resta apenas o cálculo do tempo de retorno do projeto em anos e, assim, comprovar-se um projeto em que vale a pena o investimento

5.8.2 Tempo de retorno

A partir dos resultados obtidos nos cálculos de custo-benefício após implementação, podemos calcular o tempo de retorno previsto do projeto de acordo com o quadro 21.

Quadro 20 – Tempo de retorno

Custo benefício (R\$)	Ano	Resultado (R\$)
- 3604,20	1	- 3604,20
1569,80	2	- 2034,40
1569,80	3	- 464,60
1569,80	4	1105,20

Fonte: Autoria própria (2021)

A coluna mais à esquerda mostra o balanço econômico do ano contabilizado na segunda coluna e, portanto, no primeiro ano existe o valor negativo. As linhas que refletem os anos após instalação, segundo ano em diante, demonstram valores

positivos e refletem na última coluna. A quarta coluna é a somatória do balanço econômico do ano e seus anos antecessores.

Portanto, o projeto traria retorno no 4º ano de implementação do sistema de captação de água de chuva para uso nas Torres de Resfriamento da empresa estudada.

6. CONCLUSÃO

A abrangente conscientização mundial da escassez de recursos naturais reflete na população e sistematicamente nas grandes indústrias. As indústria química estão aumentando suas possibilidades para tornar-se mais sustentáveis. Um dos possíveis projetos sustentáveis seria o de captação de água de chuva para uso das torres de resfriamento que diminuiria quantitativamente e financeiramente o abastecimento de água para uso nos processos industriais.

A pesquisa pluviométrica e a análise estatística dos dias secos e chuvosos validou a tese da região em que a empresa está localizada (Santo André) contém alta frequência de atividade pluvial, certificando o projeto e concretizando a ideia de contrapor os altos gastos com abastecimento. O intervalo de tempo em que ocorrem mais chuvas pertence aos meses de dezembro e janeiro e, dessa forma, a preocupação em permanecer seguro o projeto, mantendo a manutenção, trocas de grades e dispositivos torna-se mais necessária, uma vez que serão frequentemente acionados com a maior intensidade de chuva.

O intervalo de tempo mais seco não deixa a desejar no que diz respeito à manter a atenção. Entre os meses de maio à agosto a qualidade da água muda e requer monitoramento, pois os detritos podem aglomerar nas superfícies de captação de água de chuva.

Por meio de análise laboratorial, a qualidade da água proveniente da chuva demonstrou padrões dentro de normas e trabalhos técnicos possibilitando seu uso sem modificar negativamente as condições de operação e eficiência dos sistemas, incluindo as torres de resfriamento.

Os resultados obtidos nesse sistema piloto de captação de água de chuva significaram uma conscientização sustentável, existindo influencia na empresa para futuros projetos de veia semelhante. O possível benefício da captação da água de chuva pode ser escalonado, uma vez que houver à utilização de mais prédios da fábrica e suas respectivas áreas de telhado.

De acordo com os resultados, o projeto demonstrou uma possível economia anual de R\$ 1569,80 com água industrial e, este valor, traria um retorno rápido de 4

anos. Dessa forma, os volumes perdidos de água resultantes do arrasto da evaporação e purgas do sistema que envolve o funcionamento de uma Torre Resfriamento poderiam ser minimizados.

REFERÊNCIAS

Site prefeitura de Santo André: <https://www3.santoandre.sp.gov.br/defesacivil/indices-pluviometricos-cemaden/>

ANDREOLI, Cleverson Vitório et al. Limites ao desenvolvimento da região metropolitana de Curitiba, impostos pela escassez de água. Sanare, Curitiba, v. 12, n. 12, p. 31-42, 1999.

BALBINOT, Rafaelo et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins. *Ambiência*, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BEBER, Anderson José; PEREIRA, Renato André Nunes; STRIEDER, Roberto. REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA EM UMA TORRE DE RESFRIAMENTO PELA UTILIZAÇÃO DE UM NOVO BIOCIDA. 2015.

CARETA, L. et al. RECUPERAÇÃO DE ÁGUA RESIDUAL POR OSMOSE REVERSA PARA REPOSIÇÃO EM SISTEMA DE TROCADORES DE CALOR. 2019.

CORTINOVIS, Giorgia Francine; SONG, Tah Wun. Funcionamento de uma torre de resfriamento de água. *Revista de Graduação da Engenharia Química, Sao Paulo, SP*, v. 6, n. 14, p. 5-10, 2006.

Bombasa na página Sistema de Água de Tratamento e como Funciona. Disponível em: <https://bombasa.com.br/aguas/sistema-de-tratamento-de-agua-industrial-e-como-funciona/>

Balaroti, empresa referência em material de construção: <https://www.balaroti.com.br/>

Bunnings Group Limited, cadeia australiana de hardware doméstico: <https://www.bunnings.com.au/>

Magazine Luiza, loja de varejo referência no Brasil: <https://www.magazineluiza.com.br/>

CLIMA-DATA.ORG. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/santo-andre-5118/#climate-graph>.

DEMAJOROVIC, Jacques; CARUSO, Carla; JACOBI, Pedro Roberto. Cobrança do uso da água e comportamento dos usuários industriais na bacia hidrográfica do Piracicaba, Capivari e Jundiaí. *Revista de Administração Pública*, v. 49, p. 1193-1214, 2015.

DETONI, Terezinha Lucia; DONDONI, Paulo Cezar. A escassez da água: um olhar global sobre a sustentabilidade e a consciência acadêmica. *Revista Ciências Administrativas*, v. 14, n. 2, 2008.

SAREV, Allan Sven. CARACTERÍSTICAS E TRATAMENTO DA ÁGUA PARA TORRES DE RESFRIAMENTO

DO AMARAL, Karen Juliana; DE AZEVEDO, José Paulo Soares. O SETOR INDUSTRIAL E A COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA: o caso do setor industrial de papel e celulose. 2017.

DOS SANTOS, Nathalia Oliveira et al. II-402-TRATAMENTO DE ÁGUA DE PURGA DE TORRE DE RESFRIAMENTO VISANDO AO REÚSO. 2015.

FERNANDES, Diogo Robson Monte; MEDEIROS NETO, Vicente Batista de; MATTOS, KM da C. Viabilidade econômica do uso da água da chuva: um estudo de caso da implantação de cisterna na UFRN/RN. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, v. 27, 2007.

FERREIRA, César Argentieri; MORUZZI, Rodrigo Braga. Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis. *Encontro nacional*, v. 4, p. 1027-1036, 2007.

FINKLER, Nicolás Reinaldo et al. Cobrança pelo uso da água no Brasil: uma revisão metodológica. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 33, 2015.

FLORES, CAROLINE MORAIS. ESTUDO EXPLORATÓRIO DE PARÂMETROS DE ANÁLISE DE ÁGUA DE UMA TORRE DE RESFRIAMENTO EM EMPRESA DE UBERABA-MG. 2018.

GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano; DE MOURA, Magna Soelma Beserra. Aspectos climáticos da captação de água de chuva no Estado de Pernambuco. *Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 2005.

GNADLINGER, Johann. Tecnologias de Captação e Manejo de Água de Chuva em Regiões semiáridas. *Tecnologias Apropriadas para Terras Secas*, p. 103, 2006.

GOMES, Jésus de Lisboa; BARBIERI, José Carlos. Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo: um novo modelo de política pública. *Cadernos EBAPE. BR*, v. 2, p. 01-21, 2004.

GOMES, Uende Aparecida Figueiredo et al. A captação de água de chuva no Brasil: novos aportes a partir de um olhar internacional. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 1, p. 7-16, 2014.

HAGEMANN, Sabrina Elicker et al. Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso. 2009.

IORIS, Antônio Augusto. Passado e presente dos recursos hídricos no Brasil. *Finisterra*, v. 41, n. 82, 2006.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. Recursos hídricos no Brasil e no mundo. *Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)*, 2001.

NOGUEIRA, Daniela. Segurança hídrica, adaptação e gênero: o caso das cisternas para captação de água de chuva no semiárido brasileiro. *Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate*, v. 8, n. 3, 2017.

OLIVO, Andréia de Menezes; ISHIKI, Hamilton Mitsugu. Brasil frente à escassez de água. In: *Colloquium Humanarum*. ISSN: 1809-8207. 2014. p. 41-48.

OSTRENSKY, Vitor Pestana; GARCIA, Junior Ruiz. A cobrança pelo uso da água na Região Metropolitana de Curitiba: uma análise dos impactos econômicos no setor industrial. *Revista da FAE*, v. 20, n. 2, p. 7-20, 2017.

PICCOLI, Andrezza de Souza et al. A Educação Ambiental como estratégia de mobilização social para o enfrentamento da escassez de água. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 21, p. 797-808, 2016.

REBOUÇAS, Aldo da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. *Bahia análise & dados*, v. 13, p. 341-345, 2003.

RIBEIRO, Gabriel Travagini et al. PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA DE TORRE DE RESFRIAMENTO VISANDO REÚSO. PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA DE TORRE DE RESFRIAMENTO VISANDO REÚSO, p. 1-388–416. 2017.

RIBEIRO, MARIA AM. Sistema de Blowdown para a Torre de Resfriamento A do Reator IEA-R1. 2015.

SAMPAIO, Franco Serighelli. Torre de resfriamento modelagem, simulação e testes experimentais para apoio ao ensino de engenharia mecânica. 2013.

SANTOS, Paula Gonçalves. Reutilização de efluente de torre de resfriamento de uma planta petroquímica. Revista Tecnologia e Tendências, v. 5, n. 1, p. 16-21, 2006.

SALVIANO, Marcos Figueiredo. Análise da relação custo-benefício de um sistema de captação de água da chuva em uma indústria metalúrgica.

SCHALY, R.; BRESCIANI, É.; GUARDANI, R. ESTUDO DA VIABILIDADE DE TRATAMENTO FÍSICO PARA ÁGUA DE RESFRIAMENTO. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 9053-9060, 2015.

SOARES, Rogério Barbosa et al. Estimativa do consumo da água no setor industrial cearense: uma aplicação da matriz insumo-produto. 2019.

TUNDISI, José Galizia. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. Ciência e Cultura, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

US Geological Survey. Uso de água industrial. Disponível em <http://ga.water.usgs.gov/edu/wuin.html> Externo.

VICENTE, Ana Cristina. Uso de Ácido Peracético como Biocida em Tratamento de Água de Torre de Resfriamento. 2018.

VICTORINO, Valério Igor P. Uma visão histórica dos recursos hídricos na cidade de São Paulo. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, p. 51-68, 2002.

ZEN, Barbara Potrich. Caracterização da purga da torre de resfriamento de uma indústria petroquímica e propostas de tratamento. 2013.

Site de referência sobre torres circuito e balanço de torres de resfriamento: <http://op-unit23.blogspot.com/2010/07/torres-de-resfriamento.html>

Empresa fornecedora de calhas e materiais envolvendo hidráulica:
<https://www.plastolandia.com.br/hidraulica/grelha-calha-piso>

Luiz Rigoti dos Anjos, V. (2017). O LIVRO DE RUTE NO TEMPO DOS JUÍZES E RUTE A MOABITA. Revista Contemplação, (15).