



BRUNO JOSÉ COSTA DA CUNHA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DA
CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO CICLO
PRODUTIVO DE INDÚSTRIA DE
REFRIGERANTE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pela Prof^a. Dra. Luiza Carla Girard Teixeira.

Belém – Pará – Brasil

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO CICLO
PRODUTIVO DE INDÚSTRIA DE REFRIGERANTE**

BRUNO JOSÉ COSTA DA CUNHA

BELÉM

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL-PPGEC

BRUNO JOSÉ COSTA DA CUNHA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO CICLO
PRODUTIVO DE INDÚSTRIA DE REFRIGERANTE**

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, para obtenção do título de mestre em engenharia civil, sob a orientação do Prof. Dra. Luiza Carla Girard Teixeira.

BELÉM
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

C972a Cunha, Bruno José Costa da
Análise de Viabilidade Técnica da Conservação de Água
no Ciclo Produtivo de Indústria de Refrigerante / Bruno José
Costa da Cunha. — 2019.
ix, 120 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Luiza Carla Girard Teixeira
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade
Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Protocolo de engenharia. 2. Conservação da água.
3. Cenários do uso da água. 4. Sustentabilidade. 5.
Balanço hídrico. I. Título.

CDD 333.91



**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DA CONSERVAÇÃO DE
ÁGUA NO CICLO PRODUTIVO DE INDÚSTRIA DE REFRIGERANTE**

AUTOR:

BRUNO JOSÉ COSTA DA CUNHA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM RECURSOS
HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

APROVADO EM: 07/06/2019.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Luiza Carla Girard Mendes Teixeira
Orientadora (UFPA)

Prof. Dr. Hélio da Silva Almeida
Membro Interno (UFPA)

Prof. Dr. Neyson Martins Mendonça
Membro Externo (UFPA)

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves
Membro Externo (UFES)

Visto:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver protocolo de engenharia contendo procedimentos técnicos necessários para otimizar o consumo de água em indústrias de bebidas, mediante a avaliação do potencial de conservação da água, determinação de indicadores de desempenho ambiental e econômico, bem como a proposição de cenários de uso água. A fim de explorar as oportunidades de conservação de água, foi realizado um balanço hídrico com a ajuda de métodos de medição de vazão. As análises do uso da água foram efetuadas para determinar as áreas e processos onde existe um potencial significativo de economia de água. Com base nas avaliações, investigações, práticas de reciclagem e reutilização foi observado que o setor produtivo da fábrica de refrigerantes, principalmente a etapa de envase, têm potencial para a redução do consumo de água. Os cenários propostos podem proporcionar ao empreendimento uma redução do consumo específico de água de 2,53 para 1,92 $m^3_{\text{água}}/m^3_{\text{refrigerantes}}$, reduzindo a captação de água subterrâneas da empresa em 24,1%. Assim, levando-se em conta a produção média de refrigerantes, a economia diária de água pode ser de até 81,4 m^3 , enquanto a geração específica de efluentes da empresa pode ser reduzida em 36,7 m^3/d , equivalente a 24,1% de redução. Além disso, os custos de operação da ETE e ETA podem ser abatidos em R\$ 39.272,83 por ano, o que representa uma economia de 24,5%. Desta forma, este estudo provou que a reutilização de água pode ser implementada com sucesso na indústria de refrigerantes como uma abordagem sustentável de gerenciamento de água industrial, pois o protocolo de engenharia estabelecido neste trabalho se mostrou adequado para o levantamento de informações necessários para o controle e otimização do uso d'água.

Palavras-chaves: protocolo de engenharia, balanço hídrico, conservação da água, sustentabilidade, cenários do uso da água.

ABSTRACT

This work aims to formalize an engineering protocol containing technical procedures necessary to optimize the consumption of water in the beverage industry, through the evaluation of the potential of water conservation, determination of environmental and economic performance indicators, as well as the proposition of scenarios of water use. In order to explore the opportunities for water conservation, a water balance was carried out with the help of flow measurement methods. Water use analyzes were performed to determine areas and processes where there is significant potential for water savings. Based on the evaluations, investigations, recycling and reuse practices it was observed that the productive sector of the soft drink factory, especially the packaging stage, has the potential to reduce water consumption. The proposed scenarios can provide the company with a reduction in specific water demand from 2.53 to 1.92m³/m³refrigerants, reducing the company's groundwater abstraction by 24.1%. Thus, considering the average production of refrigerants, the daily water savings can be up to 81.4m³, while the company's specific effluent generation can be reduced by 36.7 m³ / d, equivalent to 24, 1% reduction. In addition, the operating costs of the ETE and ETA can be reduced by R\$ 39,272.83 per year, representing a savings of 24.5%. Thus, this study proved that water reuse can be successfully implemented in the soft drink industry as a sustainable approach to industrial water management, since the engineering protocol established in this work proved adequate for the collection of information necessary for the control and optimization of water use.

Keywords: engineering protocol, water balance, water conservation, sustainability, water use scenarios.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros e padrões de qualidade da água de reúso para diversos usos.	16
Tabela 2 - Metodologias e descrição das variáveis físico-química e biológica de análise de água.	37
Tabela 3 - Modelo de tabela com os resultados dos indicadores de desempenho em cada de cenários de uso da água proposto.	40
Tabela 4 - Vazões (l/s) de descarga rápida de efluente da caldeira.....	59
Tabela 5 - Resultados da 1º campanha de medição de vazão no poço 02 da fábrica de refrigerante.	73
Tabela 6 - Resultados da primeira análise estatística.	74
Tabela 7 - Caracterização das amostras do efluente do <i>rinse</i> e lavadora de garrafas retornáveis.....	93
Tabela 8 - Levantamento de equipamentos da ETE e determinação do indicador R\$/m ³	98
Tabela 9 - Levantamento de equipamentos da ETA e determinação do indicador R\$/m ³	98
Tabela 10 - Determinação dos gastos com energia elétrica na ETA e ETE.....	99
Tabela 11 - Determinação dos gastos com produtos químicos da ETE do empreendimento.	100
Tabela 12 - Determinação dos gastos com produtos químicos da ETA do empreendimento.	100
Tabela 13 - Resultados dos indicadores para os cenários propostos.	101
Tabela 14 - Avaliação do impacto de reaproveitamento de efluentes na vazão e custos operacionais da fábrica de refrigerantes.	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação e conceitos de reúso da água.	12
Quadro 2 - Classificação da água de reúso conforme os tipos usos.....	15
Quadro 3 - Classificação dos indicadores de desempenho ambiental (IDA).....	18
Quadro 4 - Indicadores utilizados em algumas literaturas.....	19
Quadro 5 - Metas e/ou resultados de referência para este trabalho.	20
Quadro 6 - Distribuição das áreas do empreendimento.	23
Quadro 7 - Métodos de medição de vazão utilizados neste trabalho.....	28
Quadro 8 - Locais e cotas per capitas de consumo de água para determinação de consumo de água.....	29
Quadro 9 - Indicadores de avaliação de cenários do uso de água na indústria.	38
Quadro 10 - Identificação de fontes poluidoras e destinação dos efluentes.	52
Quadro 11 - Tempo de operação das atividades de CIP e sanitização de máquinas e equipamentos da fábrica de refrigerantes.	64
Quadro 12 - Tarefas consumidoras de água executadas ao longo da semana na fábrica de refrigerantes.	65
Quadro 13 - Máquinas, equipamentos e atividades consumidoras de água e geram efluentes.....	70
Quadro 14 - Identificação dos consumidores de água e geração de efluentes nos setores da fábrica de refrigerantes.....	72
Quadro 15 - Resultados do balanço hídrico.	76
Quadro 16 - Oportunidades de reúso/reaproveitamento e medida de redução do consumo de água.....	89
Quadro 17 - Indicadores ambientais e de desempenho da fábrica de refrigerantes.	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de refrigerantes no Brasil no período entre 2010 e 2016.	5
Figura 2 - Infográfico do processo produtivo de refrigerantes.	7
Figura 3 - Representação das etapas de gerenciamento de águas e efluentes.	10
Figura 4 - Delineamento da metodologia adotada neste estudo.	22
Figura 5 - Planta baixa de identificação das áreas de investigação na fábrica de refrigerantes.	24
Figura 6 - Delineamento da metodologia de medição de vazão.	27
Figura 7 - Registros fotográficos dos instrumentos de medição de vazão.	28
Figura 8 - Metodologia do tratamento estatístico dos dados preliminares e finais. ...	30
Figura 9 - Diagrama de blocos dos fluxos de água em indústrias de refrigerantes. ...	34
Figura 10 - Fluxos de massa d'água em atividade componente do processo produtivo.	34
Figura 11 - Metodologia de caracterização qualitativa de oportunidade de reúso de água.	36
Figura 12 – Pontos de consumo água na indústria de refrigerante.	39
Figura 13 - Esquema do processo de produção do refrigerante.	47
Figura 14 - Esquema da ETA da fábrica refrigerantes.	48
Figura 15 - Linhas de distribuição de água do empreendimento.	49
Figura 16 – Unidades componentes do sistema de abastecimento de água da fábrica de água.	51
Figura 17 - Processo de tratamento de efluentes industriais do empreendimento. ...	55
Figura 18 - Registros fotográficos das unidades de tratamento de efluente da fábrica de refrigerantes.	56
Figura 19 – Registro fotográfico e esquema de operação do sistema de resfriamento de água da fábrica de refrigerante.	57
Figura 20 – Caldeira de produção de vapor na fábrica de refrigerantes.	58
Figura 21 - Esquema de distribuição de vapor da caldeira.	59
Figura 22 - Registro fotográfico de atividades de lavagem de piso e equipamentos. ...	60
Figura 23 - Registro de fotográfico da atividade de CIP das máquinas de envase. ...	62
Figura 24 - Registros fotográficos das máquinas e equipamentos do setor de produção de refrigerante.	66

Figura 25 - Planta baixa da ETE da fábrica de refrigerantes.....	68
Figura 26 - Retrolavagem do filtro de areia e carvão ativado da ETA da fábrica de refrigerantes.	69
Figura 27 - Pontos de medição de vazão de água e efluentes.....	75
Figura 28 - Diagrama de Pareto do consumo de água nos setores da fábrica de refrigerantes.	76
Figura 29 - Diagrama de Pareto do consumo de água no setor produtivo da fábrica de refrigerantes.	77
Figura 30 – Representação gráfica do consumo de água e direcionamento de efluentes.....	79
Figura 31 - Diagrama de Pareto de geração de efluentes no setor produtivo da fábrica de refrigerantes.....	79
Figura 32 - Gráfico <i>box plot</i> do consumo de água nos setores da fábrica.	81
Figura 33 - Gráfico <i>box plot</i> da geração de efluentes nos setores da fábrica.	81
Figura 34 - Gráfico <i>tree map</i> da vazão média de água (m ³ /d) das atividades indiretas.	82
Figura 35 - Gráfico <i>tree map</i> de geração de efluentes (m ³ /d) das atividades indiretas.	82
Figura 36 – Representação gráfica do teste de normalidade de água captada.	83
Figura 37 - Representação gráfica do teste de normalidade de efluentes direcionados para a ETE.	84
Figura 38 - Regressão linear simples da relação de consumo de água e produção de refrigerantes.	84
Figura 39 - Regressão linear para a produção de até 3 sabores de refrigerantes em um dia.	85
Figura 40 - Regressão linear para a produção de até 2 sabores de refrigerantes em um dia.	86
Figura 41 - Regressão linear simples da relação de consumo de água e geração de efluente bruto.	86
Figura 42 - Diagrama de blocos do consumo de água e geração de efluentes do empreendimento.	87
Figura 43 - Atividade de lavagem de garrafa PET e ponto de lançamento de efluentes.	90

Figura 44 - Registro fotográfico da máquina de lavagem de garrafas retornáveis. ...	91
Figura 45 - Consumo de água na lavagem de pisos do setor produtivo.	92
Figura 46 - Gráfico boxplot da análise qualitativa das amostras do efluente do <i>rinse</i>	94
Figura 47 - Gráfico boxplot da análise das amostras do efluente da lavadora de garrafas de vidro.	96
Figura 48 - Percentuais de reduções do volume de água e esgoto, energia elétrica e custos operacionais nos cenários propostos.....	103
Figura 49 - Gráficos com os percentuais dos custos de operação da ETE (a) e ETA (b).....	104
Figura 50 - Diagrama de blocos do consumo de água e geração de efluentes do empreendimento – cenário II.....	105
Figura 51 - Diagrama de blocos do consumo de água e geração de efluentes do empreendimento – cenário III.....	105

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	II
LISTA DE TABELAS	III
LISTA DE QUADROS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1. INDÚSTRIA DE BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS	4
3.2. PROCESSO PRODUTIVO DE REFRIGERANTE.....	5
3.3. USO DA ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTE	7
3.4. GERENCIAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES NA INDÚSTRIA.....	9
3.5. REÚSO DE ÁGUA E EFLUENTES NA INDÚSTRIA.....	11
3.6. PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUAS DE REÚSO	14
3.7. INDICADORES DE DESEMPENHO	17
3.8. LEIS BRASILEIRAS REFERENTES AO REÚSO DOS RECURSOS HÍDRICOS	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
4.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DO REFRIGERANTE	25
4.2.1. Análise documental e levantamento de campo	25
4.2.2. Conhecimento de rotinas operacionais	25
4.2.3. Identificação das demandas de água	26

4.3. BALANÇO HÍDRICO DA INDÚSTRIA DE BEBIDAS	26
4.3.1. Campanhas de medição de vazão	27
Balde de plástico translúcido graduado com volume de 10L e cronometro digital.....	28
4.3.2. Procedimento de análise estatística.....	29
4.3.3. Elaboração de diagrama de blocos	33
4.4. PROPOR CENÁRIOS DO USO DA ÁGUA	35
4.3.1. Identificação de oportunidades de reúso e formas de otimização do uso da água.....	35
4.4.2. Caracterização qualitativa da água de reúso/reaproveitamento	36
4.4.3. Definição de indicadores de desempenho ambiental	38
4.4.4. Proposição e avaliação cenários de uso da água no empreendimento ...	39
4.4.4.1. Determinação dos custos de operacionais do uso dos recursos hídricos	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1. DESCRIÇÕES DOS PROCESSOS PRODUTIVO E OPERACIONAIS	44
5.1.1. Análise documental e levantamento de campo	44
5.1.1.1. <i>Descrição do processo produtivo do refrigerante.....</i>	<i>44</i>
5.1.1.2. <i>Descrição do sistema de abastecimento de água.....</i>	<i>48</i>
5.1.1.3. <i>Descrição do sistema de coleta e tratamento de efluentes.....</i>	<i>52</i>
5.1.1.4. <i>Descrição da torre de resfriamento.....</i>	<i>57</i>
5.1.1.5. <i>Descrição da caldeira de produção de vapor.....</i>	<i>58</i>
5.1.2. Conhecimento de rotinas operacionais	59
5.1.2.2. <i>Limpezas de máquinas e equipamentos de produção.....</i>	<i>61</i>
5.1.2.3. <i>Condições físicas dos equipamentos, tubulações e outros componentes.....</i>	<i>66</i>
5.1.2.4. <i>Estação de tratamento de esgoto (ETE).....</i>	<i>67</i>
5.1.2.5. <i>Estação de tratamento de água.....</i>	<i>69</i>

5.1.3. Identificação das demandas de água	70
5.2. BALANÇO HÍDRICO	73
5.2.1. 1º Campanha de medição de vazão	73
5.2.2. 1º análise estatística	74
5.2.3. 2º Campanha de medição de vazão	75
5.2.4. 2º análise estatística	80
5.2.4.1. Estatística descritiva	80
5.2.4.2. Teste de normalidade	83
5.2.4.2. Regressão linear simples	84
5.2.5. Diagrama de blocos	87
5.3. PROPOSIÇÃO CENÁRIOS DO USO DA ÁGUA	89
5.3.1. Identificação de oportunidades de reúso da água	89
5.3.2. Caracterização qualitativa da água de reúso	93
5.3.3. Análise dos indicadores de desempenho ambiental	97
5.3.4. Proposição e avaliação de cenários do uso da água	101
6. CONCLUSÕES	107
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
8. APÊNDICES	115
8.1. CENÁRIOS DE USOS DA ÁGUA E INDICADORES	115

1. INTRODUÇÃO

A água é utilizada na maioria das indústrias para uma ampla gama de aplicações. Processos e sistemas que usam água, atualmente, estão sendo submetidos a regulamentos ambientais cada vez mais rigorosos sobre o lançamento de efluentes e a demanda crescente de água doce. Essas mudanças aumentaram a necessidade do gerenciamento de água visando a minimização de águas residuais (HSINE *et al.*, 2010). De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, os setores que mais demandam por água no mundo são agricultura, pecuária, industrial, energético e abastecimento urbano. Dentre estes, o setor industrial corresponde a 19% da retirada de água doce no mundo, com potenciais impactos na qualidade da água (UNESCO 2016, apud FAO 2014).

A indústria de bebida, por exemplo, requer grandes quantidades de água potável. De acordo com o BNDES (2016), no Brasil, estima-se que, aproximadamente, 26,3 milhões de metros cúbicos de água são utilizados anualmente na produção de refrigerantes, o que gera consideráveis volumes de águas residuárias durante diferentes processos, tais como: produção da bebida, lavagem das garrafas, lavagem da área de trabalho e dos pisos (FATAH *et al.*, 2009). Difante & Silva (2007) mencionam que o consumo de água da indústria de bebidas não alcoólicas no mundo é de 2,54 litros de água por litro de bebida produzida, no entanto, existem fábricas brasileiras em que o índice está próximo de 1,5 litro de água por litro produzido (ABIR, 2017).

De acordo com Kasmi *et al.* (2016), indústrias de bebidas não alcoólicas, como bebidas gaseificadas e sucos produzem 0,5 L de esgoto para cada 2 L de água consumido no processo de fabricação das bebidas. Estima-se que, aproximadamente, 50% do esgoto gerado durante a produção da bebida vêm da lavagem das garrafas (HAROON, WASEEM & MAHOOD, 2013). Em um estudo realizado em uma fábrica de refrigerantes em Bangkok, Haydar *et al.* (2015) concluíram que, aproximadamente, 75,7% da água utilizada na produção de bebidas não alcoólicas tornam-se esgoto.

Uma das formas aplicáveis para a redução no consumo da água e geração de efluentes no setor industrial é o reaproveitamento e o reúso dos recursos hídricos dentro do processo produtivo. A primeira forma consiste na utilização de águas e efluentes não submetidos a tratamento, mas adequados qualitativamente para a

finalidade ou processo no qual se destina, a outra maneira deve ser prescindida de tratamento para que, posteriormente, possa ser reutilizada (FIESP/CIESP, 2011).

Segundo Alves (2012) a identificação das aplicações para o efluente pode ser feita por meio da comparação entre parâmetros genéricos de qualidade, exigidos pela aplicação na qual se pretende fazer o reúso, assim como os parâmetros do próprio efluente. Neste sentido, a combinação do gerenciamento dos recursos hídricos na linha de produção e o conceito de produção limpa, ou seja, sem o desperdício de água, têm resultado em benefícios tanto econômicos quanto ambiental (HAROON, WASEEM & MAHOOD, 2013).

Alkaya & Demirer (2015) realizaram um trabalho em uma indústria de bebida na Turquia, os pesquisadores concluíram que após a implementação das práticas de reúso, obteve-se um decréscimo de 55% de água utilizada durante o processo de produção e 57,4% de esgoto gerado depois do processo produtivo, resultando em uma economia anual de, aproximadamente, \$ 97.003,00 para a fábrica.

Essas práticas estão sendo aplicada nas indústrias brasileiras. Em um estudo realizado por Souza *et al.* (2016) em duas empresas do ramo de lavanderias industriais, de médio porte, localizadas na região Sul do Brasil, pôde-se realizar a diminuição da carga poluidora com o processo de reúso da água, com conseqüente redução de custos. Uma das empresas estudadas, por exemplo, reaproveita 80% da água em seus processos com o tratamento de efluentes, obtendo uma economia bastante satisfatória, cerca de R\$ 1.278,00 por dia.

Diante do exposto, o setor industrial de produção de bebidas pode desempenhar um papel importante para as práticas sustentáveis do uso da água. Contudo, este trabalho desenvolveu um protocolo de engenharia contendo procedimentos técnicos necessários para otimizar o consumo de água em indústrias de bebidas, além de analisar a viabilidade técnica e de custos do uso racional de água, mediante a proposição de cenários do uso otimizado da água em indústria de refrigerantes.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver protocolo de engenharia contendo procedimentos técnicos necessários para otimizar o consumo de água em indústrias de bebidas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar diagnóstico do uso dos recursos hídricos no processo produtivo do refrigerante;
- Gerar alternativas para otimizar o consumo de água na indústria de refrigerantes;
- Criar indicadores de desempenho ambiental;
- Propor cenários para o uso da água no empreendimento.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. INDÚSTRIA DE BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS

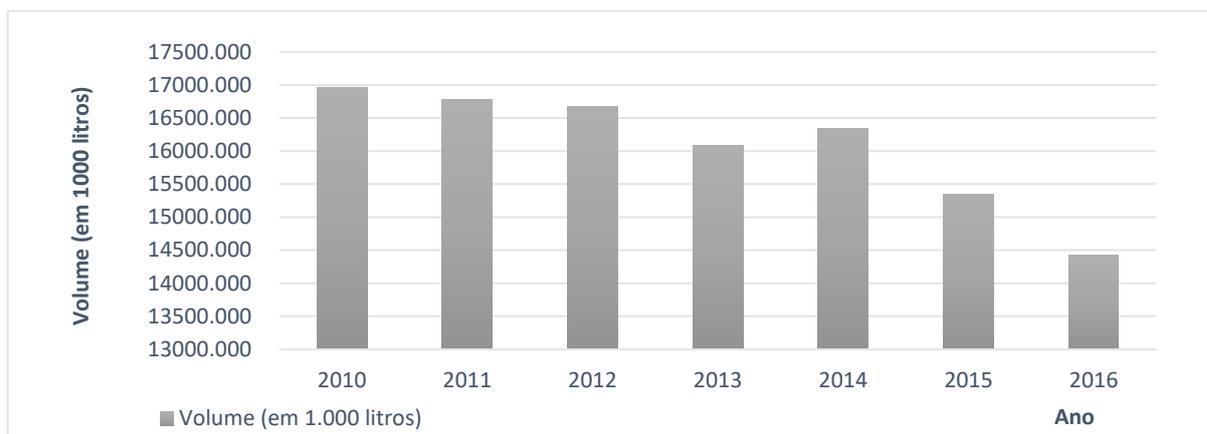
A indústria de bebidas é constituída, de maneira geral, por bebidas alcoólicas e bebidas não alcoólicas. Os refrigerantes, em conjunto com os sucos de frutos e néctares e com as águas engarrafadas constituem o setor das bebidas não alcoólicas (FARIAS, 2017). No Brasil, a produção de refrigerantes destaca-se como o principal produto do setor de bebidas, seguida pela produção de cervejas. Esses ramos apresentam números robustos, respondendo por fração significativa do valor adicionado da indústria de transformação (BNDES, 2016).

Responsável por 3% do PIB do Brasil (BNDES 2016), o segmento de bebidas frias, que compreende a produção de sucos, águas, refrigerantes, cervejas, chás e isotônicos movimentam uma extensa cadeia produtiva e tem se destacado por grandes investimentos (PROBEB, 2017). De acordo com um estudo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os subsídios da indústria de bebidas na economia brasileira mais que triplicaram nos últimos cinco anos, passando de R\$ 2,2 bilhões em 2009, para R\$ 7,4 bilhões em 2013. Nesse período, as empresas de bebidas frias investiram R\$ 30,8 bilhões no país.

Segundo informações da Pesquisa Industrial Mensal do IBGE (PIM-PF) o setor de bebidas vem apresentando grande dinamismo, o crescimento acumulado da produção física de bebidas no Brasil chegou a 50% no período 2004 - 2013. Nesse período, a taxa média de crescimento do volume produzido foi de 4,2% a.a (IBGE, 2014). Dado que nesse intervalo de tempo o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro cresceu a uma taxa média real de 3,7% a.a., esses números revelam como o setor apresentou uma resposta elástica ao crescimento da renda da população. Entretanto, uma pequena queda na produção de refrigerantes, provocada pelo baixo crescimento do PIB registrado desde 2011 e alterações tributárias contribuíram para a estagnação da produção física no passado recente, o que não anula, porém, o caráter expressivo da trajetória observada ao longo dos últimos dez anos (ABIR, 2016).

Na Figura 1 segue a representação gráfica da produção de refrigerante entre os anos de 2010 a 2016.

Figura 1 - Produção de refrigerantes no Brasil no período entre 2010 e 2016.



Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes (ABIR, 2016).

Conforme a Associação Brasileira das indústrias de Refrigerantes e bebidas não alcoólicas (ABIR) o volume de produção de refrigerantes no Brasil vem diminuindo nos últimos 5 anos, contudo, os valores de produção não deixam de ser expressivos, chegando a 14.500.000 de m³ em 2016.

3.2. PROCESSO PRODUTIVO DE REFRIGERANTE

Os refrigerantes são bebidas industrializadas, não alcoólicas, produzidos a partir da mistura da água com concentrados aromatizados e açúcar ou adoçante. Podem ser encontrados nos sabores cola, guaraná, laranja, limão, uva, framboesa, canela, entre outros (BNDES 2016).

A produção de refrigerantes emprega grandes quantidades de água, açúcar cristal, CO₂ para carbonatação, além de diversos aditivos como conservantes (sorbato de potássio e benzoato de sódio), estabilizantes, acidulantes, corantes, essências (guaraná, cola, limão, laranja, uva), entre outros (ALVES, 2012).

Segundo Tosin (2010), as etapas para preparo de refrigerantes são: preparo do xarope simples, preparo do xarope final, preparo de vasilhames, envase dos refrigerantes, empacotamento e o desenvolvimento das operações auxiliares.

A 1ª etapa do processo de produção do refrigerante inicia-se com a produção do xarope simples, também conhecido como calda base, que é uma solução aquosa de açúcar, que pode ser enriquecida com ácidos orgânicos (FARIA, 2017). Sua obtenção ocorre através da diluição do açúcar em água quente, seguido de cozimento à temperatura de 85-100 °C, para retirar impurezas que possam gerar problemas de

odor e sabor no produto (CETESB, 2005). Após a separação da fração sólida do filtrado, o xarope simples é resfriado em trocadores de calor até uma temperatura aproximada de 20°C (CETESB, 2005).

Após a preparação do xarope simples são incorporados alguns aditivos para a obtenção do xarope composto, como: sucos naturais de frutas, estabilizantes, conservantes, corantes, antioxidantes, entre outros. Tais insumos são responsáveis por distinguir os refrigerantes entre si, conferindo as características de cor, sabor, odor e propriedades químicas adequadas à sua conservação (MENDA, 2011).

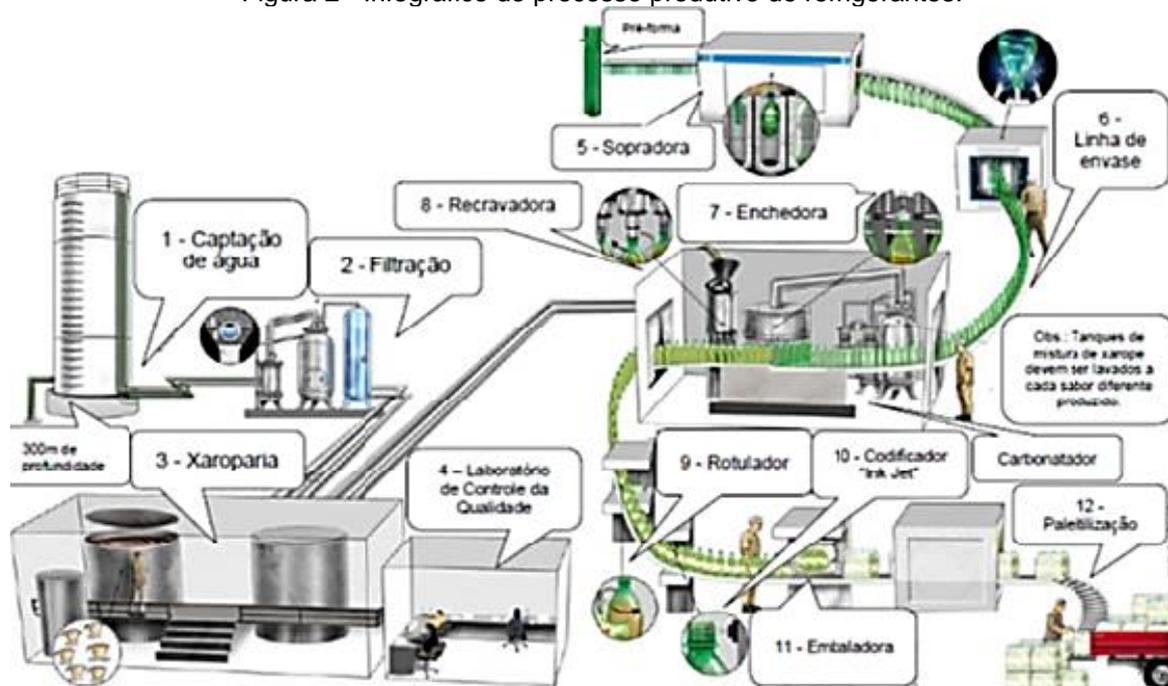
Segundo Lima & Afonso (2009) as garrafas de vidro são cuidadosamente inspecionadas, aqueles que estejam fora das especificações para uso (garrafas trincadas, bicadas, lascadas, lixadas, quebradas, sujas) são retiradas. Após a seleção, as garrafas são colocadas na esteira de transporte e entram nas lavadoras, onde se iniciam o processo por um tanque de pré-lavagem com água e, posteriormente, são enxaguadas em tanque com esguichos de água limpa (CETESB, 2005). As garrafas PET, após passarem pela etapa de expansão com injeção de ar são enxaguadas com água clorada para a sua higienização e, posteriormente, seguem para o envasamento (VALT, 2004).

Para produzir o refrigerante propriamente dito, o xarope composto é diluído em água tratada, de acordo com os requisitos necessários de qualidade, e acrescido de CO₂ (carbonatação). O envase de refrigerantes deve ser realizado logo após a carbonatação, de modo a evitar perdas de CO₂ (LIMA & AFONSO, 2009).

Ao passar pela máquina enchedora os vasilhames são conduzidos através de esteiras para uma máquina de arrolhamento, onde são inseridos as tampinhas e os lacres nas garrafas, em seguida, as garrafas são rotuladas em máquinas rotuladoras finalizando o processo de produção do refrigerante (FARIA, 2017). Os rótulos podem ser de papel (garrafas de vidro) ou de plástico do tipo BOPP (garrafas PET).

Na Figura 2 pode ser visualizado o infográfico resumido todas as etapas do processo de produção do refrigerante.

Figura 2 - Infográfico do processo produtivo de refrigerantes.



Fonte: Adaptado de FERREIRA, 2009.

3.3. USO DA ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTE

A água na indústria de bebidas é utilizada para vários fins, como por exemplo, refrigeração de equipamentos, limpeza em geral, uso em torres de resfriamento, geração de vapor, desadocicamento do açúcar, retrolavagem de filtros de carvão e areia, fabricação do xarope simples, limpeza das linhas de produção e da própria fabricação do refrigerante (GALVÃO, 2010).

Em uma concepção ambiental, as preocupações relacionadas com a indústria de refrigerantes abrangem os resíduos, provenientes principalmente do seu embalamento, o consumo de energia e a utilização da água (ALKAYA & DEMIRER, 2015).

De acordo com Hertle *et al.* (2009), a produção de águas residuais na indústria de bebidas é altamente variável para diferentes indústrias e dentro do setor industrial. Conforme os autores, a produção de águas residuais será influenciada pela:

- Idade das máquinas e equipamentos que operam na produção do refrigerante;
- Horas de funcionamento (por dia e semana);
- Frequência das mudanças no produto;
- Produção em lote ou contínua;

- Custo do m³ de água;
- Custo para eliminação de águas residuais e resíduos sólidos, e;
- Incentivos dos empregados para reduzir o uso da água, produtos e matérias-primas.

As indústrias de bebidas, de maneira geral, requerem grandes quantidades de água potável, o que gera grandes quantidade de águas residuárias durante diferentes processos. Conforme Fatah *et al.* (2009), a lavagem de pisos e a lavagem de garrafas de vidro e PET's são os principais meios de geração de efluentes. Para Imoobe & Okoye (2011), grande parte das vazões de efluentes geradas nas indústrias de refrigerantes são ocasionadas pelos despejos de águas de lavagem de tanques das linhas de garrafas de vidro e tanques de preparo de xaropes, presentes nas linhas de produção do refrigerante. Outras fontes, como: lavagem das máquinas, equipamentos e tubulações do setor de envasamento e descargas dos tanques de solução de soda caustica das lavadoras de vidro, também geram grandes vazões de efluentes (CETESB, 2005).

De acordo com o Instituto Turco de Estatística (ETI), cerca de 131,2 milhões de metros cúbicos de água são utilizados por ano na produção de bebidas não alcoólicas, sendo responsável por 10% do consumo total de água industrial (ETI, 2008). No Brasil, estima-se que, aproximadamente, 26,3 milhões de metros cúbicos de água são utilizados anualmente na produção de refrigerantes (BNDES, 2016).

A grande maioria das indústrias deste setor apresenta um consumo específico de água entre 1,5 e 4,5 litros (UNIDO, 2014). Porém, para a Associação Portuguesa de Bebidas Refrescantes Não Alcoólicas (PROBEB) um consumo acima de 3 litros é considerado alto, entretanto, de acordo com indicadores ambientais na indústria de bebidas não alcoólicas da associação, houve uma redução de 10,4% no período de 2009 a 2011, atingindo consumo médio de 2 litros de água por cada litro de bebida produzida (PROBEB, 2017). Já para a CETESB (2005), na produção de refrigerantes, devido à predominância da utilização de embalagens descartáveis, é comum encontrar unidades industriais operando com índices de consumo de 2,5 a 3,5 l água /l bebida.

Com expressivos volumes nos indicadores de consumo de água e vários pontos de geração de efluentes, é notório que o volume de efluentes gerados em indústrias de refrigerantes seja considerável. De acordo com Kasmi *et al.* (2016), a indústria de bebidas não alcoólicas, tais como bebidas gaseificadas e sucos produzem 0,5 L de esgoto para cada 2 L de água consumido no processo de fabricação das

bebidas. Em uma fábrica de refrigerantes em Bangkok, Haydar *et al.* (2015) concluíram que, aproximadamente, 75,7% da água utilizada na produção da bebida tornam-se esgoto.

A composição dos efluentes de indústria de refrigerantes é bastante variável em tanto no processo produtivo como nas etapas de lavagem (CETESB, 2005). Segundo Nweke & Igbokwe (2015), os efluentes de indústria de refrigerantes são constituídos por sólidos em suspensão, substâncias orgânicas, pH elevado, DQO, DBO, nitratos, fosfatos, sódio e potássio. Filho *et al.* (2013) afirmam que os efluentes gerados na indústria de bebidas são ricos em açúcares, possuem pH alcalino, temperatura ambiente, elevada carga orgânica (DBO, DQO e sólidos totais) devido ao açúcar do xarope e dos extratos vegetais utilizados na formulação das bebidas.

Quando a indústria possui formas de reúso de efluentes os tipos de tratamentos mais usuais empregados são: floculação; precipitação, abrandamento, adsorção em carvão ativado; troca iônica; destilação, oxidação com ozônio, dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio e separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa) (MIERZWA & HESPANHOL, 2005; METCALF & EDDY, 2003; MANCUSO & DOS SANTOS, 2003).

Mierzwa & Hespanhol (2005) destacam que a escolha de uma ou mais combinações entre duas ou mais técnicas de tratamento sempre dependerá do potencial de cada tecnologia envolvida na redução do contaminante de interesse e da qualidade da água de reúso que se necessita.

3.4. GERENCIAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES NA INDÚSTRIA

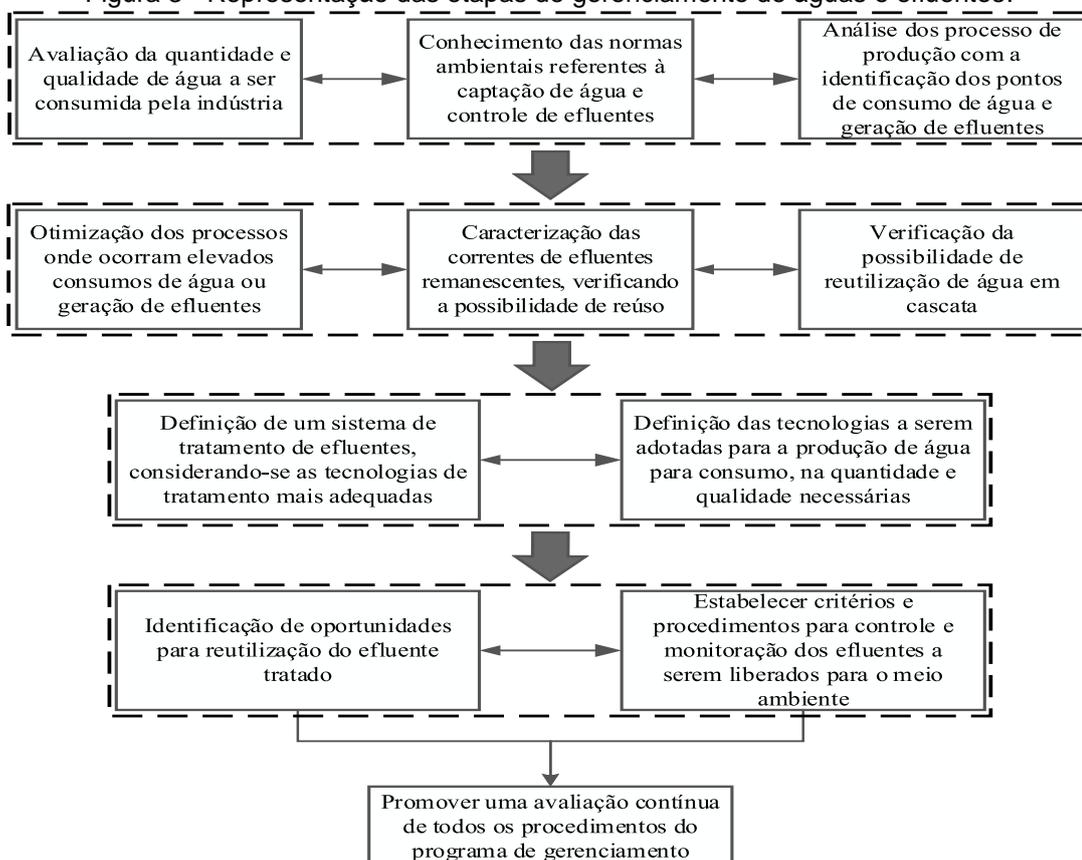
Segundo Ferreira (2001) o termo gerenciamento pode ser entendido como um conjunto de princípios, normas e funções que têm por fim ordenar os fatores de produção e controlar a sua produtividade e eficiência, de forma a otimizar a utilização de todos os recursos disponíveis. Para que sejam atendidas as diretrizes de maximização do uso dos recursos hídricos e minimização dos impactos negativos relativos à geração e liberação de efluentes, torna-se necessário o desenvolvimento de um programa de gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias (MIERZWA & HESPANHOL, 2000). Desta forma, o gerenciamento de água se torna uma ferramenta

amplamente utilizada para compreender o balanço de massa d'água em sistemas naturais e construídos (BLACKHURST, HENDRICKSON e VIDAL, 2010).

O gerenciamento de água em parques industriais tem como conceito-chave o balanço de massa que é responsável por todos os movimentos da água através de um volume definido na área do parque industrial, tal ferramenta baseia-se em princípios de conservação de massa ao longo do tempo (TUAN *et al.*, 2010) e tem como planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, o conhecimento das vazões é necessário para fazer um balanço de disponibilidades e consumo de água ao longo do tempo (MIERZWA & HESPANHOL 2005). Segundo Tuan *et al.* (2010) os saldos de massas d'água podem ser reutilizados para complementar vários usos em plantas de parques industriais.

Desta forma, o gerenciamento da água nas atividades industriais, pode ser fundamental para a redução, especialmente, da contaminação de corpo d'água e a perdas de água (YUAN, JIANG e BI., 2010). Na Figura 3 é apresentado o fluxograma adotado por Mierzwa & Hespanhol (2000) para a elaboração de um programa de gerenciamento de águas e efluentes, deverá ser contemplado as seguintes etapas:

Figura 3 - Representação das etapas de gerenciamento de águas e efluentes.



Fonte: Adaptado MIERZWA & HESPANHOL, 2000.

Com base na Figura 3, pode-se verificar que o programa de gerenciamento de águas e efluentes proposto por Mierzwa & Hespanhol, inicialmente, são dadas orientações aos profissionais que atuam na área, no qual os autores propõem que seja realizado: a avaliação dos requisitos de água a ser consumida pela indústria; que o profissional tenha conhecimento das normas ambientais referentes à captação de água e controle de efluentes; e que seja realizado a análise dos processos desenvolvidos pela instalação, com a identificação dos pontos de consumo de água e geração de efluentes. Na segunda etapa do fluxograma ocorre a investigação por formas de otimização do uso da água ao longo do processo industrial. A terceira etapa envolve a ação e/ou implantação de melhorias, que abrangem novas tecnologias e forma de tratamento de água e efluentes. Em seguida, na quarta etapa, há o planejamento dos métodos de operação e monitoramento dos sistemas de reutilização da água. Por fim, os autores destacam que deve haver uma avaliação contínua de todos os procedimentos utilizados no programa de gerenciamento, visando a sua atualização e identificação e correção de falhas, para que o mesmo possa ser aperfeiçoado.

Diante do exposto, pode-se concluir que a elaboração de um plano de gerenciamento de águas e efluentes pode gerar uma grande redução nas despesas de um sistema industrial. Difante & Silva (2007) elaboraram um plano de gerenciamento de água para uma indústria de refrigerantes, localizada na região central do Rio grande do Sul, com a aplicação de um plano de conservação da água, foi possível reduzir o consumo de água em, aproximadamente, 199 m³/dia, gerando uma economia de R\$ 141.957,36 por ano.

3.5. REÚSO DE ÁGUA E EFLUENTES NA INDÚSTRIA

Para Metcalf & Eddy (2005), o reúso de água consiste na recuperação de efluentes de modo a utilizá-las em aplicações menos exigentes. Segundo Mierzwa & Hespanhol (2002), o reúso da água visa principalmente garantir o atendimento às demandas e, dessa forma, possibilitar que uma melhor pretensão de qualidade de vida seja atingida. Diante de vários conceitos existentes para o termo “reúso”, Filho e Mancuso (apud Lavrador Filho, 1985) sugerem as seguintes classificações para a uniformização de linguagem, descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação e conceitos de reúso da água.

Tipos de Reúso	Definição
Reúso indireto	Ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída.
Reúso direto	É o uso planejado (consciente) e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades, como irrigação, uso industrial e recarga de aquífero.
Reciclagem interna	É o reúso da água internamente às instalações industriais, antes de sua descarga em um sistema de tratamento ou outro ponto qualquer de disposição, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Fonte: Adaptado de BREGA FILHO e MANCUSO, 2003.

Atualmente há a necessidade de novos investimentos em tecnologias que possam criar ou ampliar sistemas de abastecimento de água no setor industrial Segundo Silva (2006) métodos conservacionistas como o uso eficiente e o reúso d'água, tais práticas constituem uma maneira inteligente de ampliar o número de usuários de um sistema de abastecimento.

Conforme Zhou & Fu (2014) há alguns fatores que influenciam na seleção de tecnologias de água na indústria, tais como: qualidade dos recursos hídricos; se há ou não possibilidade de reúso da água com o uso do equipamento (SHAO *et al.*, 2017); método de resfriamento (quando necessário); e consumo de eletricidade. O reúso para fins industriais pode ser concebido sob diversos aspectos, conforme as possibilidades existentes no contexto interno ou externos às indústrias, tais usos podem ser em: torres de resfriamento, caldeiras, lavagem de peças e equipamentos, processos industriais, recarga de aquíferos, reservatórios de combate a incêndios, irrigação e outros (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Segundo Galvão (2010), na indústria de bebidas, existem várias possibilidades de reúso de água e efluentes dentro da maioria dos processos envolvidos na produção de refrigerantes. Algumas ações de recuperação de água são mais simples, como por exemplo, a recuperação de água de contra lavagem dos filtros de carvão e areia, existentes no tratamento de água em indústrias de bebidas.

Para reduzir o consumo dos recursos hídricos dentro de uma instalação industrial, por meio da reutilização interna da água, é necessário implantar medidas para a

otimização do consumo, para a redução de perdas por desperdícios, estabelecer programas de conscientização e treinamentos (SAUTCHÚK *et al.*, 2004). Cook *et al.* (2014) defendem que 37% da demanda não potável pode ser atendida pela água de chuva coletada em edifícios comerciais. Entretanto, Mierzwa & Hespanhol (2005) ressaltam que a prática de reúso, embora seja uma ferramenta bastante útil e importante, não deve ser considerada a principal meta em um modelo de gerenciamento de águas e efluentes, ela deve ser vista como um dos componentes desse modelo.

A seguir são descritos alguns exemplos de sucesso decorrentes da aplicação do gerenciamento e reúso da água em indústrias:

- Agana *et al.* (2013), efetuaram um estudo em uma planta industrial de bebidas não alcoólicas na Austrália, após identificar oportunidades de reutilização de água e realizar campanhas de análises da amostra de água, os autores obtiveram como resultado a economia de água de 83,2 m³/dia.
- Lozano *et al.* (2013) realizaram um estudo de implantação *leasing* químico resultou na eliminação do uso de água no processo de lubrificação de uma empresa de bebidas localizada na Sérvia, com isso o consumo de água utilizada na atividade foi reduzido em 1500 m³ anualmente.
- Alkaya & Demirer (2015) efetuaram um trabalho em uma indústria de bebida na Turquia, os pesquisadores concluíram que após a implementação das práticas de reúso, obteve-se um decréscimo de 55% de água utilizada durante o processo de produção e 57,4% de esgoto gerado depois do processo produtivo, totalizando uma economia de \$97.000,00 em 9 meses para a empresa estudada.
- Na Austrália, Hertle *et al.* (2009) realizaram a implantação de técnicas de reúso de água na Lion Nathan National Foods (LNNF), como resultado os autores reduziram o consumo de água durante a produção de cerveja de 3,8 para 2,2 L_{água}/L_{cerveja}, caracterizando uma redução de, aproximadamente, 40% no consumo de água da fábrica.

No Brasil, algumas indústrias do setor bebidas não alcoólicas já possuem altas taxas de reúso da água em suas instalações. Uma pesquisa realizada, em 2017, pela Associação Brasileira das indústrias de Refrigerantes e bebidas não alcoólicas (ABIR) concluiu que reaproveitamento da água no setor de bebidas possibilitou uma redução de 40% da água necessária para produção de bebidas não alcoólicas nos últimos anos, sendo necessário apenas 1,5 litro de água para a produção de 1 litro de refrigerante.

3.6. PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUAS DE REÚSO

Os requisitos para qualidade e tratamento da água são os que mais recebem atenção nos regulamentos estaduais de reutilização (U.S. EPA, 1992). Inversamente, no Brasil, conforme Cichinelli (2008) ainda não existem normas específicas para reúso de água, o que representa ponto relevante quanto aos cuidados especiais com esses sistemas.

Contudo, existem referências que são adotadas por autores brasileiros para a elaboração de trabalhos, são elas: NBR 13969 (ABNT, 1997) - Tanques sépticos, Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, Construção e Operação; Manual de Conservação e reúso de Águas em Edificações da SindusCon-SP (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo); e Guia para Reúso de Água da Agência Americana de Proteção Ambiental (Guidelines for Water Reuse – EPA: Environmental Protection Agency).

Antes de determinar o grau de tratamento da água a ser reutilizada, deverá ser conhecida a finalidade do uso da água. Morelli (2005) classifica o reúso da água em duas grandes categorias, sendo eles:

- O **reúso potável**, também denominado de direto, existe quando o esgoto recuperado, por meio de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável;
- **Reúso não potável** ou indireto, caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto nas águas superficiais ou subterrâneas para diluição e, em seguida, é realizada a captação, tratamento e finalmente ser utilizado como água potável.

Quanto ao **reúso não potável** este possui um potencial maior de aplicação devido a facilidade de execução, por não exigir níveis elevados de tratamento, se tornando o processo mais viável técnica e economicamente. O reúso não potável possui inúmeras aplicações, tais como: agrícolas, industriais, urbano, recarga de aquíferos subterrâneos e entre outros.

Geralmente, onde há uma maior exposição do usuário, as águas residuais devem ser tratadas no mais alto grau antes de sua utilização, no entanto onde a exposição não é provável, um nível mais baixo de tratamento é geralmente aceito (U.S. EPA, 1992).

De acordo com os usos da água, pode-se definir classes de reúso da água que resumem os critérios para a qualidade da água nas atividades apresentados anteriormente. Desta forma, no Quadro 2 segue, em resumo, a classificação para reúso da água estabelecidos conforme critérios de qualidade de água, proposta no Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações (2005) e NBR 13969 (ABNT, 1997).

Quadro 2 - Classificação da água de reúso conforme os tipos usos.

Classe	NBR 13969:1997	Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações
I	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	Descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.); lavagem de roupas e de veículos.
II	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira.
III	Reúso nas descargas dos vasos sanitários.	Irrigação de áreas verdes e rega de jardins
IV	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	Resfriamento de equipamentos de ar condicionado (torres de resfriamento).

Fonte: adaptador de NBR 13969 (ABNT, 1997) e Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações.

A qualidade da água utilizada e o objetivo específico do reúso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados, bem como os custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas (U.S. EPA, 1992). Desta forma, na Tabela 1 seguem os padrões de qualidade de reúso da água para Classe I, ou seja, onde há um maior contato do usuário com a água de reúso.

Tabela 1 – Parâmetros e padrões de qualidade da água de reúso para diversos usos.

Parâmetros de qualidade	USO CLASE I				Torres de Resfriamento com recirculação	Caldeiras de pressão intermediária	Irrigação	Captação de água de chuva
	SABESP (apud Semura <i>et al.</i> , 2005)	NBR 13969:1997	Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações	EPA (1992)	Mancuso (2000)	Metcalf & Eddy (2003)	EPA (1992); NBR 13969/97	NBR 15527:2007
pH	6 a 9	6 a 8	6 a 9	6 a 9	6,5 - 7,5	8,2 - 10	6	6 a 8
Turbidez (uT)	< 20	< 5	≤ 2	≤ 2	1	---	≤ 5	< 5
Cor aparente (uC)	---	---	10	---	---	---	---	< 15
SST (mg/L)	<35 (em 95% das amostras)	---	≤ 5	---	2	5	---	---
SDT (mg/L)	---	<200	≤ 500	---	200	500	---	---
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	< 200 (em 80% das amostras)	<200	Não detectáveis	Não detectável	---	---	500	Não detectáveis
Cloro residual total (mg/L)	2 a 6	0,5 a 1,5	Deve ser detectável	≤ 1	0,5 - 1	---	0,5 - 1	0,5 a 3,0
DBO (mg/L)	<25 (em 95% das amostras)	---	≤ 10	≤ 10	2	5	---	---
Cloretos (mg/L)	---	---	---	600	70	--	---	---
Oxigênio dissolvido (mg/L)	---	---	---	---	---	>1	---	---
Dureza (mg/L)	---	---	---	---	70	1	---	---
Alcalinidade (mg/L)	---	---	---	---	50	100	---	---
Ferro (mg/L)	---	---	---	---	0,3	0,3	≤ 5	---

Fonte: adaptado de NBR 13969 (ABNT, 1997), NBR 15527 (ABNT, 2007), Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações, U.S. EPA (1992), SABESP (2005) e Metcalf & Eddy (2003).

Conforme a Tabela 1 os parâmetros em comum adotados pelas referências citadas anteriormente, são: pH, turbidez, coliformes termotolerantes e cloro residual. Os limites qualitativos praticados pela EPA e Manual de Conservação e reúso da água se mostraram mais rigorosos quando comparados com as demais referências.

Os atendimentos desses parâmetros são fundamentais para atividades ligadas ao manuseio da água pelo ser humano. Entretanto, quando o reúso da água tem a finalidade de atender as necessidades de equipamentos industriais, tais como torres de resfriamento e caldeiras, outros parâmetros devem ser levados em consideração, como: oxigênio dissolvidos, dureza e alcalinidade. Conforme Metcalf & Eddy (2003), para caldeiras, os valores mais rigorosos requeridos para tais parâmetros são de 0,007, 0,07 e 40 mg/L, respectivamente.

O uso da água, com qualidade inadequada, pode causar problemas aos processos industriais como incrustações, corrosão e manchas, além de provocar o aumento dos custos de manutenção preventiva e corretiva em máquinas e equipamentos (PROSAB, 2006).

3.7. INDICADORES DE DESEMPENHO

De acordo com a NBR ISO 14031 (ABNT, 2004), um indicador ambiental é uma expressão específica que fornece informações sobre o desempenho ambiental de uma organização ou processo. Quando aplicados às questões ambientais, há três tipos de indicadores: condição (ar, solo, água, fauna e flora), pressão (energia, transportes, indústria e agricultura) e respostas (administrativas, empresas, obrigações e cidades) (RORIGUES e THIAGO, 2008).

Para Van Bellen (2006) “o objetivo principal dos indicadores é agregar e quantificar informações de uma maneira que sua significância fique mais aparente”. Partindo desse pressuposto, os indicadores de desempenho ambiental servem para otimizar informações, bem como auxiliar nas tomadas de decisões que buscam o desenvolvimento sustentável, sendo a sua principal função fornecer informações sobre o estado das diversas dimensões (ambientais, econômicas, socioeconômicas, culturais, institucionais, etc.) que compõem o desenvolvimento sustentável do sistema na sociedade (CARVALHO, J. *et al.*, 2011).

A NBR ISO 14031 (ABNT, 2004) prevê duas categorias gerais de indicadores a serem considerados na avaliação de desempenho ambientais (ADA): os Indicadores de Condição Ambiental (ICA) e os Indicadores de Desempenho Ambiental (IDA).

Os ICA fornecem informações sobre a qualidade do meio ambiente local. Os dados para estes indicadores são geralmente coletados de acordo com padrões e regras ambientais estabelecidos por normas e dispositivos legais. Quanto aos IDA, são divididos em dois grupos:

- 1) Os Indicadores de Desempenho de Gestão (IDG), que fornecem informações sobre as práticas de gestão que influenciam no desempenho ambiental.
- 2) Os Indicadores de Desempenho Operacional (IDO), que fornecem informações sobre as operações do processo produtivo que interferem no desempenho ambiental.

No Quadro 3, segue a classificação dos indicadores ambientais estabelecida pela NBR ISO 14031 (ABNT, 2004).

Quadro 3 - Classificação dos indicadores de desempenho ambiental (IDA).

Categoria	Tipo	Exemplos de Indicadores
Indicadores de Desempenho Ambiental (IDA)	Indicador de Desempenho Operacional (IDO)	Consumo relativo de energia
		Consumo relativo de água
		Geração de resíduos sólidos
		Consumo de matéria-prima
	Indicador de Desempenho de Gestão (IDG)	Quantidade de ocorrência ambientais
		Percentual de metas atingidas
Indicador de Condições Ambientais (ICA)		Concentração de um contaminante específico na água, ar ou solo
		Número total de espécies de fauna em uma área local definida

Fonte: NBR ISO 14031 (ABNT, 2004).

Em face do exposto, a condição ambiental deve ser, sempre, considerada para a seleção de indicadores das áreas de gerenciamento ambiental e para a definição de prioridades para a gestão operacional. De acordo com o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (SENAI-RS, 2003) ao identificar uma condição ambiental específica que decorra diretamente de suas próprias operações, a organização deve desenvolver indicadores que relacionem suas operações à melhoria ou degradação nas condições do meio ambiente.

No Quadro 4 contém alguns indicadores desempenho operacional, ambiental e econômico adotados por autores internacionais e nacionais para a execução de estudos e pesquisas envolvendo o uso de recursos hídricos em indústrias de refrigerantes.

Quadro 4 - Indicadores utilizados em algumas literaturas.

Autores	Título do trabalho	Indicadores
Difante & Silva (2007)	Conservação de água no sistema de produção em indústria de refrigerantes	Litros de água por litro de bebida produzida
CETESB (2005)	Cervejas e refrigerantes (Série P + L)	
Haydar (2015)	Iniciativas de conservação de água e avaliação de desempenho da instalação de tratamento de águas residuais em uma indústria locais de bebidas em Lahore	Volume de esgoto gerado por volume de água consumida
Alkaya & Demirer (2015)	Reciclagem e reutilização de água na indústria de refrigerantes / bebidas: estudo de caso para gestão sustentável da água industrial na Turquia	Custo de operação por volume de água consumida
Hertle <i>et al.</i> , (2009)	Reciclagem de água na indústria australiana de alimentos e bebidas: um estudo de caso - Pegada ambiental reduzida	Volume de água de reúso por volume de água captada

Através da utilização de indicadores ambientais é possível analisar as condições, mudanças da qualidade ambiental, além de favorecer o entendimento das interfaces da sustentabilidade, bem como de tendências, como uma ferramenta de suporte no processo de tomada de decisão e formulação de políticas e práticas sustentáveis (GOMES e MALHEIROS, 2012).

É importante destacar que a implantação de indicadores de desempenho não é uma exigência legal. Porém, Kemerich *et al.* (2014) afirmam que os indicadores são importantes instrumento para o gerenciamento ambiental, visto que eles podem auxiliar na melhoria da gestão ambiental de um processo e aumentar a comunicação ente gestores, além disso eles devem possibilitar uma visão conjunta, necessitando para tal, serem construídos a partir dos problemas e da realidade existente, a fim de que se possa entender seus aspectos críticos e usufruir de seu verdadeiro potencial.

No Quadro 5 podem ser conhecidas alguns resultados alcançados por autores que elaboraram estudos de reúso da água no setor industrial. Esses resultados servirão como parâmetros, neste trabalho, para a elaboração dos cenários de enquadramento de viabilidade do uso da água na fábrica de refrigerante estudada.

Quadro 5 - Metas e/ou resultados de referência para este trabalho.

Metas	Autores
50% redução de custos de operação de ETA e ETE	Mierzwa (2002)
0,25 m ³ efluente/m ³ água 0,75 m ³ efluente/m ³ água	Kasmi <i>et al.</i> (2016) Haydar <i>et al.</i> (2015)
3,0 m ³ água/m ³ refrigerante 2,5 a 3,5 m ³ água/m ³ refrigerante 1,5 m ³ água/m ³ refrigerante	PROBEB (2014) CETESB (2005) ABIR (2017)
0,40 m ³ água-reúso/m ³ água-cap 0,55 m ³ água-reúso/m ³ água-cap	ABIR (2017) Alkaya & Demirer (2015)

No Quadro 5, pode-se observar que o consumo de água por litro de refrigerante indicados pela CETESB e PROBEB são semelhantes, já o valor de 1,5 m³ de água por metros cúbicos de refrigerantes apontados pela ABIR é o melhor resultado alcançado por fábricas de bebidas não alcoólicas no Brasil. Quanto às taxas de reúso de água, os autores Alkaya & Demirer (2015) alcançaram os melhores resultados identificados durante as pesquisas referenciais deste trabalho, com valores que superam 50% de redução na captação de água na indústria estudada, conseqüentemente, houve a redução de mais de 50% nos custos de lançamento do efluente da indústria de bebidas. Tais resultados, se assemelham como a redução de custos de 50% proposta por Mierzwa (2002). A grande diferença de resultados ocorreu nos valores de geração de efluentes por metro cúbico de água, onde foram encontrados 0,25 e 0,75 m³ de efluentes por m³ de água, onde os valores apontados por Haydar *et al.* (2015) é 3 vezes maior que o resultado encontrado por Kasmi *et al.* (2016).

3.8. LEIS BRASILEIRAS REFERENTES AO REÚSO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A importância da água para o desenvolvimento das diversas atividades industriais, tornou-se necessário a criação de normas que estabelecesse limites para a utilização dos recursos hídricos pelos diversos segmentos da sociedade, principalmente pelas indústrias. As leis ambientais têm como principal objetivo minimizar os problemas de poluição, causados ao meio ambiente, devido à emissão de efluentes para os corpos receptores, desmatamentos e emissões de gases para a atmosfera e entre outras (MIERZWA, 2002). Entretanto, Silva *et al.* (2003) afirma que

o tratamento jurídico dado às águas no Brasil sempre considerou a mesma como um bem inesgotável, passível de utilização farta e abundante.

As normas desenvolvidas incorporam o conceito conhecido como Comando e Controle, ou seja, órgãos federais e estaduais estabelecem padrões de qualidade para os recursos hídricos conforme o seu enquadramento, bem como os padrões para a emissão de efluentes, os quais devem ser seguidos pelas indústrias e demais ramos de atividade (SILVA *et al.*, 2003).

Para Silva *et al.* (2003), o princípio do poluidor-pagador foi um importante passo para a cobrança dos recursos hídricos utilizados, já que esse título não se caracteriza por uma compensação por danos causados à poluição, não significando também, ser tributado pela poluição que causou, e assim conquistar o direito de poluir. Conforme Mancuso & Santos (2003), o conceito de poluidor-pagador consiste no reconhecimento da água como valor econômico, e por esse motivo, seu uso deve ser cobrado.

No estado do Pará, a Lei Nº 8.091 (Pará, 2014) institui a Taxa de Controle, Acompanhamento e Fiscalização das Atividades de Exploração e Aproveitamento de Recursos Hídricos (TFRH), cujo fato gerador é o exercício regular do Poder de Polícia conferido ao Estado sobre a atividade de exploração e aproveitamento de recursos hídricos em território paraense. Conforme o Art. 5º da referida lei, os contribuintes da TFRH é a pessoa física ou jurídica, que utilize recurso hídrico como insumo no seu processo produtivo ou com a finalidade de exploração ou aproveitamento econômico. O valor da TFRH corresponderá a 0,2 (dois décimos) da Unidade Padrão Fiscal do Estado do Pará - UPF-PA por metro cúbico de recurso hídrico utilizado (Art. 6ª, LEI nº 8.901/2014).

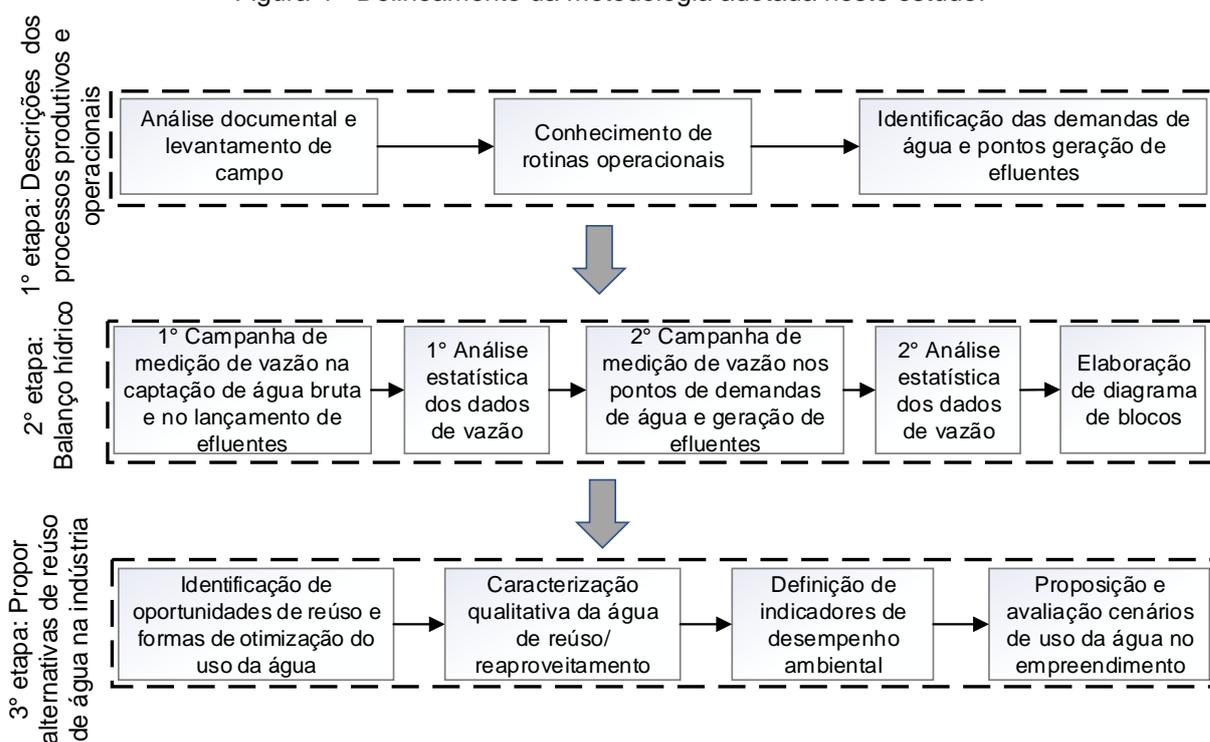
A criação de leis que têm como objeto o controle e a fiscalização dos recursos hídricos, tem como objetivo promover a sustentabilidade ambiental no país (MIERZWA, 2002), além de ser uma ferramenta importante no combate a escassez hídrica, enfrentada, em regiões brasileiras, como o nordeste e sudeste nos últimos anos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este item apresenta a metodologia utilizada para alcançar os objetivos da pesquisa. Desta forma foram expostas as informações referentes a área de estudo, delineamento da metodologia utilizada, diagnóstico do processo produtivo, identificação dos pontos de consumo de água da fábrica, descrição da metodologia de medição de vazão e balanço hídrico, planejamento de coleta de amostras de efluentes, além do procedimento de análise estatística dos resultados obtidos nas campanhas de medição de vazão.

A Figura 4 contém o delineamento da metodologia, de maneira simplificada, de cada etapa e atividade da metodologia aplicada neste trabalho.

Figura 4 - Delineamento da metodologia adotada neste estudo.



4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado em uma fábrica de refrigerante localizada no município de Benevides no Estado do Pará, a 25 km da capital Belém. O empreendimento trabalha com a prestação de serviços terceirizados, ou seja, ela efetua a produção de

outras marcas de refrigerantes. Em 2018, a fábrica estudada é responsável pela produção de oito (08) marcas de refrigerantes.

A fábrica possui 132 funcionários no setor de produção, 7 na área administrativa, 3 seguranças, 2 operadores nas estações de tratamento de água e efluentes, totalizando 144 empregados.

O empreendimento possui 3 setores, sendo eles: administrativo, produção e almoxarifado. Além desses há áreas de atividades complementares que estão ligadas indiretamente com a produção do refrigerante, tais como: ETE, ETA, casa de máquinas, área de produção de vapor e resfriamento. Ao todo o empreendimento possui área de 21.104 m². No Quadro 6 podem ser identificados os locais e as áreas que compõem a fábrica de refrigerantes.

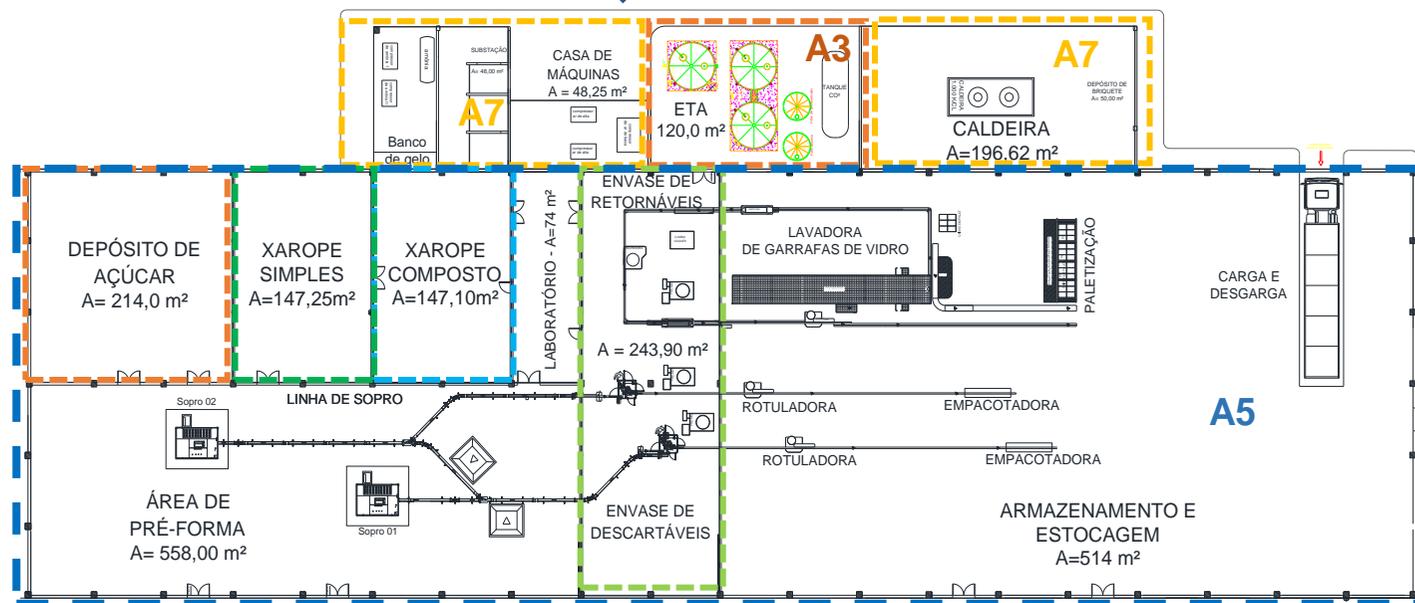
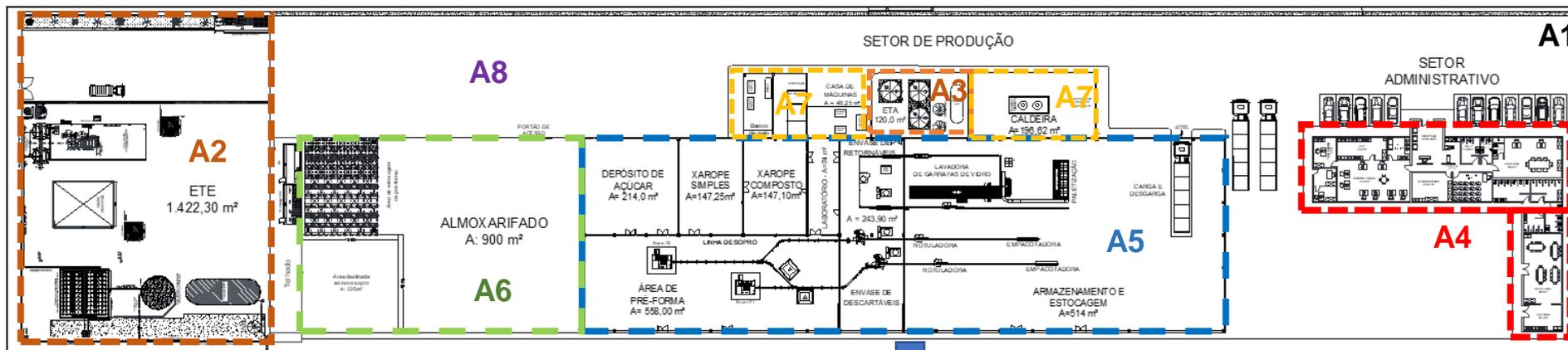
Quadro 6 - Distribuição das áreas do empreendimento.

Código de identificação	Local	Área (m²)
A1	Área total do terreno	21.104
A2	ETE	1.422,30
A3	ETA	120,00
A4	Prédio da Administração	543,20
A5	Área de produção	2934,00
A6	Almoxarifado	900,00
A7	Área para caldeira, subestação e casa de máquinas	342,15
A8	Área livre	14.842,35

A fábrica produz, em média, 133 mil litros de refrigerantes por dia, sendo classificada como médio porte, funcionando com regime que varia entre 10 e 20 horas de operação. No local são produzidos refrigerantes de vários sabores, tais como: cola, uva, limão, laranja e guaraná. Os produtos são envasados em garrafas PET e retornáveis com volumes de 290 mL, 350 mL, 600 mL, 1 L, 1,5 L e 2 L. Geralmente, ocorre a produção de 3 marcas de bebidas, porém há dias em que são produzidos refrigerantes de 6 marcas diferentes, o que eleva a dinâmica operacional da fábrica.

Na Figura 5 é apresentada a planta baixa do empreendimento industrial abrangendo todos os setores da fábrica, identificados no Quadro 6. Além disso, nesta figura é exibida, em maiores detalhes, a planta baixa do setor produtivo com as principais áreas de investigação no balanço hídrico executada de neste trabalho.

Figura 5 - Planta baixa de identificação das áreas de investigação na fábrica de refrigerantes.



Legenda:

ID	Local
A1	Área total do terreno
A2	ETE
A3	ETA
A4	Prédio da Administração
A5	Área de produção
A6	Almoxarifado
A7	Área para caldeira, subestação e casa de máquinas
A8	Área livre

4.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DO REFRIGERANTE

Neste item são descritos os procedimentos de análise de documentos disponíveis na fábrica de refrigerantes, os métodos aplicados no balanço hídrico e as formas de identificação dos pontos de consumos de água em todo o empreendimento.

4.2.1. Análise documental e levantamento de campo

O início deste trabalho ocorreu mediante a avaliação dos documentos disponíveis na própria indústria, objetivando obter informações, como: fluxogramas de processo produtivo, manuais de operação de equipamentos, descrição e protocolos de operação de sistemas, bem como fluxogramas da estação de tratamento de água e esgoto da fábrica. Além da avaliação dos documentos disponíveis na fábrica, foi levado em consideração o conhecimento técnico e as experiências dos profissionais que trabalham diariamente no local.

Ademais a análise das informações que abrangem, diretamente, a produção do refrigerante, foram considerados, também, os documentos que retratam às atividades secundárias no processo produtivo, tais como: a produção de vapor, torres de resfriamento, atividades de manutenção em geral e outras atividades que estejam diretamente ligadas ao consumo de água ou geração de efluentes.

4.2.2. Conhecimento de rotinas operacionais

Nesta etapa foi efetuado a descrição de todo o processo de manufatura do refrigerante, mediante visitas ao empreendimento, objetivando o reconhecimento de todas as rotinas operacionais do processo industrial para descrever detalhadamente as atividades desenvolvidas, tais como: operações de limpeza e lavagens; operação e manutenção de máquinas e equipamentos; condições físicas dos equipamentos, tubulações e outros componentes; rotinas operacionais do setor de produção; rotinas operacionais da estação de tratamento de água (ETA) e estação de tratamento de esgoto (ETE) da fábrica.

As visitas nas instalações da fábrica de refrigerante ocorreram com o acompanhamento dos profissionais que trabalham no local, a fim de obter informações

mais detalhadas e relevantes sobre as atividades desenvolvidas durante a produção da bebida e esclarecer quaisquer dúvidas que possam surgir durante a visita de campo.

4.2.3. Identificação dos pontos de consumo de água

A identificação dos pontos de consumo de água da fábrica de refrigerantes ocorreu mediante acompanhamentos dos processos que utilizam água, tendo como objetivo identificar possíveis alterações operacionais para reduzir o consumo água das atividades que estão ligados diretamente e indiretamente com o processo de manufatura, além de proporcionar a setorização do consumo de água na fábrica, e auxiliar no planejamento do cronograma de execução das campanhas de medição de vazão.

Após o levantamento de todas as etapas do processo produtivo da fábrica de refrigerante, foram identificados na fábrica os tipos e os locais de consumo de água e as máquinas e equipamentos que consomem água e que geram efluentes, fundamentais para comporem o balanço hídrico do empreendimento.

4.3. BALANÇO HÍDRICO DA INDÚSTRIA DE BEBIDAS

O balanço hídrico da fábrica de refrigerantes foi realizado após o levantamento das informações sobre as rotinas operacionais, pontos de consumo de água e geração de efluentes, todas as informações foram documentadas e analisadas, a fim de encontrar resultados que reflitam a realidade vivenciada na indústria de refrigerante.

As campanhas de medição de vazão tiveram como finalidade aferir e coletar os dados de vazão para compor o balanço hídrico da fábrica de refrigerante. Esses dados foram tratados estatisticamente, objetivando obter as médias de vazões reais que auxiliem na compreensão do fluxo da massa líquida que ocorre durante a manufatura da bebida.

Paralelamente às campanhas de medição de vazão, foram realizadas coletas dos dados de produção diária dos refrigerantes. Essas informações foram essenciais para compreender a relação entre o consumo de água e a produção da bebida, até obter um padrão de consumo do recurso hídrico e geração de efluentes.

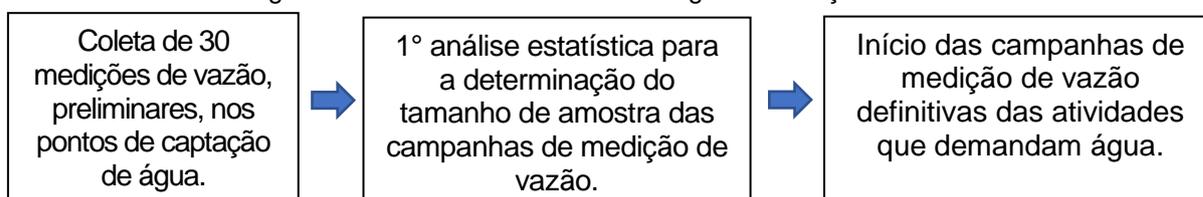
No item a seguir são descritos os procedimentos realizados nas campanhas de medição de vazão. As descrições dos métodos estatísticos que foram utilizados no tratamento dos dados de vazão seguem no item 4.3.2 deste trabalho.

4.3.1. Campanhas de medição de vazão

Em um primeiro momento, foi realizada a coleta de 30 dados de vazão no poço de captação de água subterrânea presente na fábrica de refrigerante. Essas medições ocorreram uma vez ao dia durante 30 dias, sempre às 9 horas da manhã. A partir deste resultado foi efetuada uma análise estatística preliminar, que determinou o número definitivo de medições necessárias para compor a 2ª coleta de dados de vazão. Estes testes estatísticos tiveram como objetivo prevenir a coleta de dados excessiva ou muito pequenas, prevenindo o desperdício de tempo e a inconsistência dos dados para compor o balanço hídrico da fábrica de refrigerantes.

Assim, a segunda campanha de medição de vazão foi composta pelo número de dados determinados na estatística preliminar. Nesta etapa do trabalho, foram realizadas medições de vazões em todos os pontos de consumo de água ou geração de efluentes, identificados na etapa de diagnóstico do processo produtivo da fábrica. Na Figura 6 pode-se visualizar o procedimento de definição do número de medições de vazão necessárias para o conhecimento dos fluxos hídricos no empreendimento.

Figura 6 - Delineamento da metodologia de medição de vazão.



A seleção dos métodos de medição de vazão ocorreu conforme o acesso e praticidade do local de medição, sempre buscando a forma mais eficiente e adequada para a realização do trabalho. No Quadro 7, seguem os métodos de medição de vazão adotados neste trabalho, nos pontos identificados de consumo de água. Mais adiante seguem os registros fotográficos dos instrumentos de medição de vazão utilizados neste trabalho.

Quadro 7 - Métodos de medição de vazão utilizados neste trabalho.

Métodos de medição	Locais	Especificação do equipamento
Medidor eletromagnético	<ul style="list-style-type: none"> Poços de captação de águas subterrâneas. 	Modelo: PRO10412K Saída de 4/20 mA DN: 75 mm
Vertedor triangular	<ul style="list-style-type: none"> Lançamento de efluente tratado da ETE. 	---
Método volumétrico	<ul style="list-style-type: none"> Tubulações cujo escoamento ocorre por gravidade; Água de resfriamento de CMB; Mangueiras utilizadas na lavagem de pisos, máquinas e equipamentos. 	Balde de plástico translúcido graduado com volume de 10L e cronometro digital
Medidor ultrassônico	<ul style="list-style-type: none"> Tubulações pressurizadas na ETA, ETE e setor produtivo. 	Modelo: Handheld Ultrasonic Flow Meter Precisão: $\pm 1\%$

Figura 7 - Registros fotográficos dos instrumentos de medição de vazão.



Conforme o Quadro 7, neste trabalho, foram utilizados 4 métodos de medição direta de vazão para quantificar a massa líquida nos pontos de consumo de água identificados. Entretanto, também, foram adotados métodos indiretos de quantificação

de vazão nos locais em que não foram possíveis efetuar as medições de vazão de forma direta, para isso adotou-se cotas per capita para determinar as vazões de consumo de água e geração efluentes das atividades que ocorrem nestes locais da fábrica. No Quadro 8 seguem os locais e os valores das cotas per capitas utilizadas para quantificar as vazões de consumo de água.

Quadro 8 - Locais e cotas per capitas de consumo de água para determinação de consumo de água.

Local / setor	Atividades	Per capita	Referência bibliográfica
Vestiários	<ul style="list-style-type: none"> • Uso por parte dos funcionários; • Lavagem dos pisos 	<ul style="list-style-type: none"> • 50 L/funcionário.d • 2 L/m² 	Melo, V.O & Netto, J.M.A (1988)
Refeitório	<ul style="list-style-type: none"> • Produção de refeições • Lavagem dos pisos 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 L/refeição • 2 L/m² 	Melo, V.O & Netto, J.M.A (1988)
Banheiros / administrativo	<ul style="list-style-type: none"> • Uso dos funcionários; 	<ul style="list-style-type: none"> • 50 L/funcionário.d 	Melo, V.O & Netto, J.M.A (1988)

As principais dificuldades ocorridas nas medições de vazão, nos locais expostos no Quadro 8, foram por conta de não haver trechos de tubulação adequado para instalação do medidor de vazão ultrassônico e, também, nesses locais, não foram plausíveis a obtenção de dados consistentes referentes ao tempo e vazão de operação, em função da grande variabilidade dos acionamentos das torneiras e mangueiras, além disso os funcionários que realizam as atividades de limpeza, por exemplo, não tinham rotinas bem definidas para executar tais atividades.

4.3.2. Procedimento de análise estatística

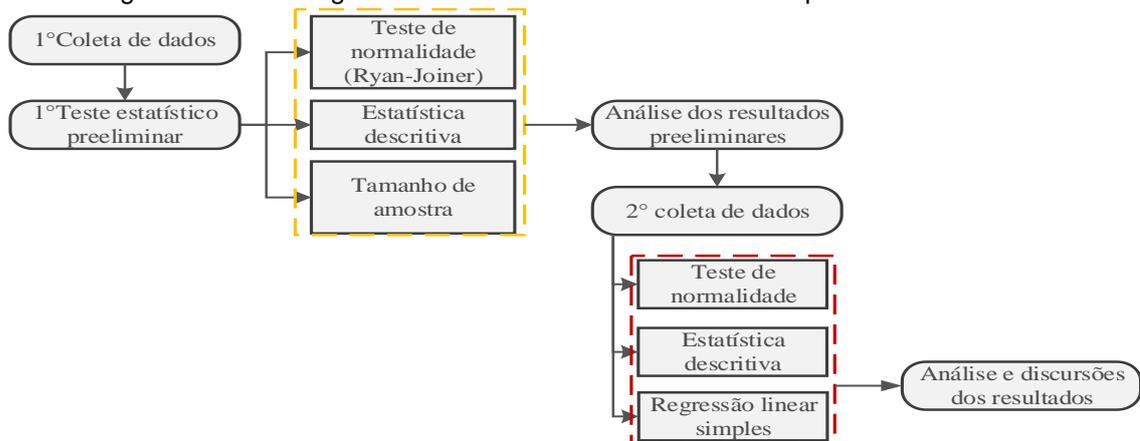
O primeiro tratamento estatístico ocorreu para analisar 30 medições de vazão, referentes a 1º coleta de dados. Nesta etapa, os dados coletados foram organizados e analisados através da estatística descritiva (média, mediana, mínimo, máximo, variância e desvio padrão), teste de normalidade de Ryan-Joiner e, por fim, determinação tamanho de amostras por intervalo de confiança.

Finalizada a estatística preliminar e obtidos os resultados da segunda coleta de amostras (dados de vazão), foram efetuados novos testes estatísticos, os quais compõem os resultados do trabalho, além do diagrama de blocos com os fluxos de massa líquida presentes no empreendimento estudado. Esses resultados foram analisados e interpretados, bem como foram fundamentais para proposição de medidas sustentáveis para a indústria de refrigerante. Os testes estatísticos realizados

na segunda coleta de dados, foram: teste de normalidade, estatística descritiva (média, mediana, mínimo, máximo, variância e desvio padrão) e regressão linear simples.

Na Figura 8 é apresentado o fluxograma da metodologia estatística posto em prática nesta pesquisa. Mais adiante, são descritos cada método estatístico adotado nesta pesquisa.

Figura 8 - Metodologia do tratamento estatístico dos dados preliminares e finais.



Nos itens a seguir serão expostas as metodologias dos testes estatísticos a serem aplicados neste trabalho.

a) Teste de normalidade Ryan-Joiner

O teste de Ryan-Joiner fornece um coeficiente de correlação, o que indica a correlação entre os dados e as contagens normais dos dados. Se o coeficiente de correlação estiver próximo de 1, seus dados ficarão próximos do gráfico de probabilidade normal. Se for menor que o valor crítico adequado, rejeita-se a hipótese nula de normalidade (MINITAB, 2018). O coeficiente de correlação é calculado como:

$$R_p = \frac{\sum Y_i b_i}{\sqrt{s^2(n-1) \cdot \sum b_i^2}} \quad (\text{Equação 01})$$

Em que:

Y_i : observações ordenadas;

b_i : número de dados ordenados;

S^2 : variância da amostra

b) Estatística descritiva

Os métodos de estatística descritiva adotados para o tratamento dos dados de vazão foram: média, mediana, máximo, mínimo, variância e desvio padrão. O uso destas ferramentas teve como objetivo organizar e sumarizar dados obtidos durante as campanhas de medição de vazão. Para representar os resultados obtidos na estatística descritivos, eles serão representados em gráficos *boxplot*.

c) Determinação do tamanho de amostras

A determinação do tamanho de uma amostra é muito importante, pois as amostras desnecessariamente grandes acarretam desperdício de tempo e de dinheiro; e amostras excessivamente pequenas podem levar a resultados não confiáveis (AYRES, 2012).

No software MINITAB (2018), os cálculos dependem de uma distribuição F com um parâmetro de não centralidade λ . O parâmetro de não centralidade (λ) e a determinação do poder são calculados pelas seguintes equações:

$$\lambda = \frac{n \times \sum_{i=1}^k \{2 \cdot (\mu_i - \bar{\mu})\}}{\sigma^2} \quad \text{(Equação 02)}$$

$$\text{Poder} = 1 - F(f_{\alpha}; k - 1, v, \lambda) \quad \text{(Equação 03)}$$

Em que:

k: número de níveis;

n: tamanho amostral em cada nível;

α : nível de significância;

σ : desvio padrão;

v: graus de liberdade para erro iguais para $k * (n - 1)$;

f_{α} : valor crítico (ponto superior α da distribuição F com $k - 1$ e v graus de liberdade);

μ_i : resposta média no nível i ;

$\bar{\mu}$: $\sum_{i=1}^k \frac{\mu_i}{k}$ soma (μ_i) / k ;

$F(f_{\alpha}; k - 1, v, \lambda)$: FDA da distribuição F com $k - 1$ graus de liberdade do numerador, v graus de liberdade do denominador e parâmetro de não centralidade λ , avaliado a f_{α} .

O software calcula λ sob a suposição de pior cenário que as outras médias que estão no meio caminho entre o mínimo e o máximo. O resultado é uma configuração das médias que minimiza o poder para um tamanho amostral especificado e uma diferença máxima especificada entre as médias (MINITAB, 2018).

Fornecendo os valores de poder e tamanho da amostra, o software irá calcular o valor da diferença máxima. Inseridos os valores de poder e a diferença máxima, o MINITAB 17 calculará o valor do tamanho da amostra.

d) Regressão Linear Simples

A análise de regressão é um método que procura estabelecer as relações funcionais entre duas ou mais variáveis, isto é, procura encontrar um modelo que descreva da melhor e mais segura forma possível, o comportamento das variáveis analisadas (AYRES, 2012).

O coeficiente de determinação (R^2) é também chamado de poder explicativo da regressão tem por objetivo avaliar a qualidade da reta aos pontos observados das variáveis x e y , ou seja, o valor de R^2 fornece a proporção da variação total da variável y explicada pela variável x através da função ajustada (VANNI, 1998). O Poder Explicativo da Regressão é obtido pela seguinte equação matemática:

$$R^2 = \frac{b^2 \left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N} \right)}{\left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N} \right)}$$

Vanni (1998) faz as seguintes interpretações sobre o R^2 : se $R^2 = 1$, a reta ajustada explica toda a variação de y , ou seja, melhor é a qualidade do ajuste da função aos pontos do diagrama de dispersão; os valores de R^2 entre 0,65 e 0,75 é considerado como REGULAR; entre 0,75 e 0,85 é classificado como BOM e acima de 0,85 deve ser considerado com ÓTIMO. Abaixo de 0,60 demonstra que a variável independente de x não explica com segurança a variação de y , devendo ser encontrada outra causa (variável x) que melhor explique ou justifique a variação de y .

e) Ferramentas de análise estatística

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o software MINITAB 17 para os cálculos referentes à toda análise estatística, sendo eles: estatística descritiva; teste de normalidade; tamanho de amostras; teste de hipótese; regressão múltipla e correlação. O MINITAB foi desenvolvido em 1972 na Universidade Estadual da Pensilvânia, este programa é um exemplo de pacote estatístico largamente utilizado por empresas e universidades ao redor do mundo. O MINITAB é um software estatístico de capacidades intuitivas. Permite obter estatísticas descritivas, simulações e distribuições, inferência estatística elementar, análise da variância, regressão, análise de dados categóricos, métodos não paramétricos, análise de séries temporais etc.

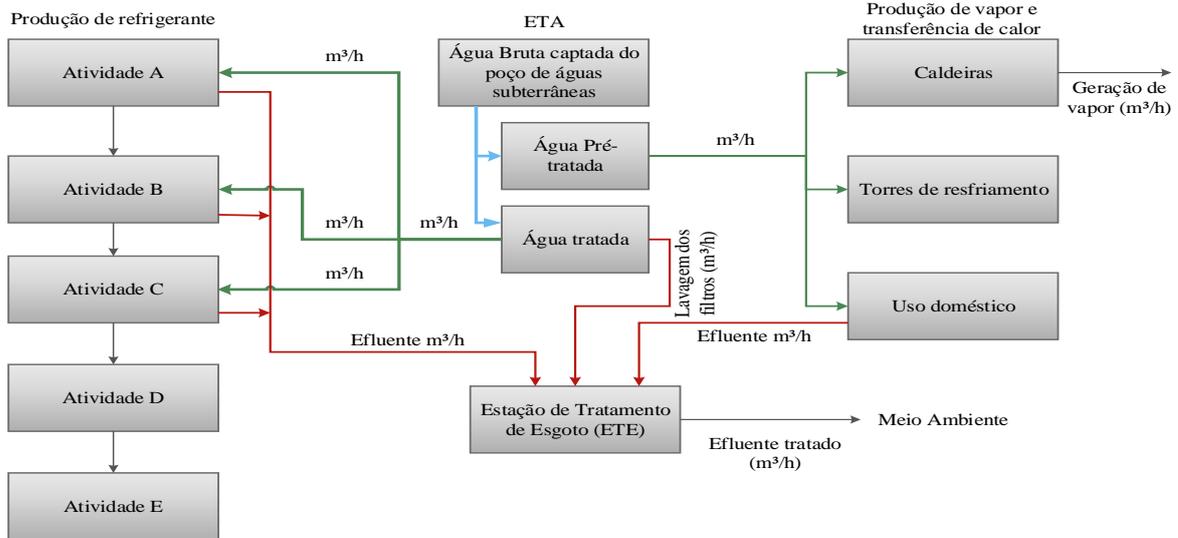
Outro software adotado nesta pesquisa é o MS Office Excel 2016. Este programa computacional foi utilizado para a elaboração de gráficos, criação de tabelas dinâmicas, bem como cálculos estatísticos que irão auxiliar não balanço hídrico e na avaliação de cenários do uso da água na fábrica de refrigerante estudada.

O MS Excel 2016 é um software que faz parte do "Office", um pacote de produtos que combinam vários tipos de software para criar documentos, folhas de cálculo e apresentações e para gerir correio eletrônico. Resumindo o MS Excel 2016 é um programa de software que permite criar tabelas que calculam automaticamente os totais de valores numéricos introduzidos, imprimir tabelas em esquemas atrativos.

4.3.3. Elaboração de diagrama de blocos

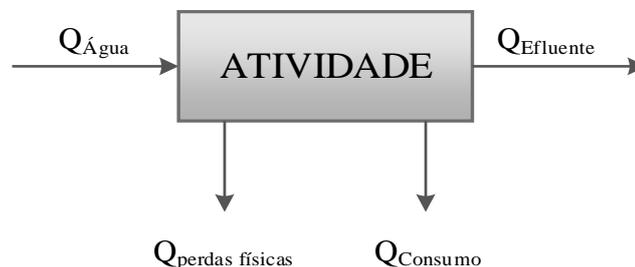
Encerradas as campanhas de medição de vazão e tratamento estatísticos, para facilitar o entendimento dos fluxos de água na indústria, as informações obtidas foram agrupadas e organizadas num diagrama de blocos, onde foi possível visualizar os fluxos de água e efluentes em cada etapa e/ou atividade no qual foram aferidas as vazões. Na Figura 9 segue o modelo de diagrama de blocos de fluxo de massa d'água elaborados neste trabalho.

Figura 9 - Diagrama de blocos dos fluxos de água em indústrias de refrigerantes.



O desmembramento do diagrama de blocos pode ser visto na Figura 10, nela pode-se constatar que o fluxo de massa líquida é composto por: vazão de abastecimento ($Q_{\text{água}}$), vazão de efluente (Q_{efluente}), vazão de consumo (Q_{consumo}), vazão de perdas físicas ($Q_{\text{perdas físicas}}$). Na equação 4 tem-se a expressão matemática composta pelos fluxos de massa líquida citados anteriormente e o fator de correção ($\Delta_{\text{Correção}}$) que consistiu em um valor variável usado para corrigir a equação, além disso, este valor, também, representou perdas não quantificáveis neste trabalho, tais como a vazão de evaporação ($Q_{\text{evaporação}}$) que podem ocorrer durante as atividades industriais que são propícias a esse tipo de perda.

Figura 10 - Fluxos de massa d'água em atividade componente do processo produtivo.



A fim de analisar o fluxo de massa líquida em cada atividade investigada, a composição do balanço hídrico da indústria de refrigerante obedeceu ao seguinte equacionamento:

$$Q_{\text{Água}} = (Q_{\text{Efluente}} + Q_{\text{Perdas físicas}} + Q_{\text{Consumo}}) \cdot \Delta_{\text{Correção}} \quad (\text{Equação 4})$$

Nesta etapa, além do diagrama de blocos, foi elaborado o diagrama de Pareto. O uso desta ferramenta de qualidade teve como objetivo conhecer, entre as etapas do processo produtivo, qual o maior e menor ponto de consumo de água na qual permitiu identificar quais as etapas do processo produtivo, máquinas e equipamentos que possuem os maiores consumos de água durante a produção do refrigerante e, com isso, identificar o potencial hidráulico e energético para reúso/reaproveitamento de água no local. Além disso, foi utilizado gráficos de *tree map* para representar as maiores atividades e/ou equipamentos consumidores de água e geração de efluentes.

4.4. PROPOSIÇÃO DE CENÁRIOS DO USO DA ÁGUA

Com base nas informações obtidas nas etapas do diagnóstico do processo produtivo do refrigerante e balanço hídrico, para propor medidas de otimização do uso da água na fábrica de refrigerantes, foram realizadas as seguintes etapas: definição de indicadores de desempenho ambiental e econômico; identificação de oportunidades de reúso/reaproveitamento/redução de água nos setores da fábrica de refrigerantes; e propor três cenários de consumo de água, com diferentes alternativas de reutilização e/ou reaproveitamento de água.

4.3.1. Identificação de oportunidades de reúso e formas de otimização do uso da água

Nesta etapa foi efetuada a avaliação detalhada das descrições do processo produtivo do refrigerante realizado na 1ª etapa deste trabalho, com ênfase nos pontos que contribuem para a geração de efluentes, incluindo-se vazamentos, derramamentos, operação inadequada, falta de manutenção nos equipamentos, e etc.

Além da avaliação do diagnóstico do processo produtivo, foram realizadas entrevistas com os operadores do setor produtivo da fábrica, encarregados e coordenadores do empreendimento, pois estes profissionais forneceram maiores detalhes sobre as peculiaridades dos processos, que somente são observadas por aqueles que estão em contato diário com os procedimentos operacionais.

Cada oportunidade de reúso identificada foi avaliada de maneira quantitativa, mediante o uso dos dados obtidos durante o balanço hídrico. Esses resultados foram utilizados para compor o indicador de desempenho “vazão de água de reúso / vazão

consumida”. Todas as atividades que foram identificadas como potencial de reúso de água foram listados e somados os volumes de água reaproveitado, a fim de obter o potencial máximo de reúso de água.

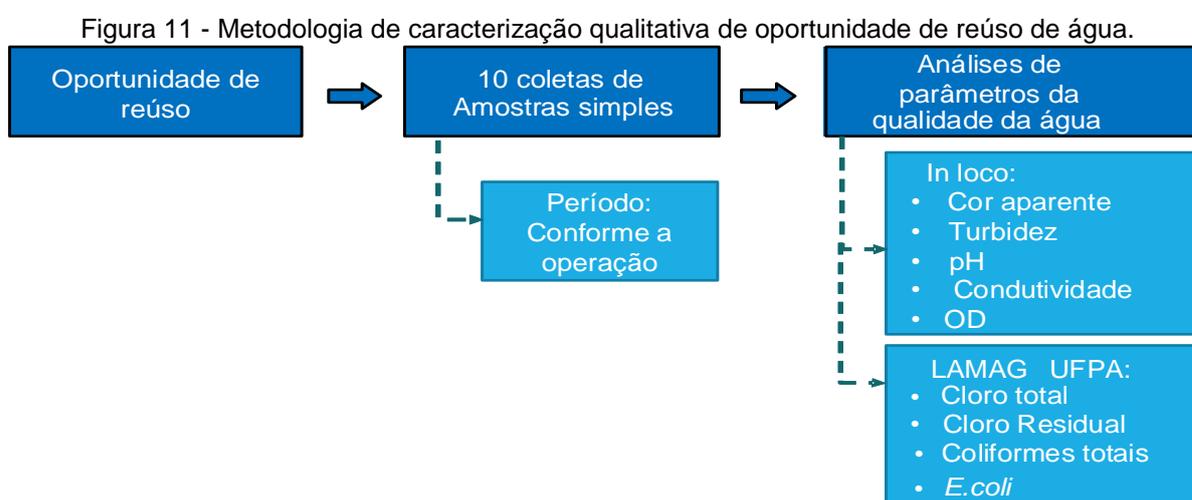
O resultado da somatória dos volumes de água reutilizável e/ou reaproveitável foram usados para compor o indicador “volume de água de reúso / volume de água captada”, e foi direcionado para os cenários de uso da água propostos para a fábrica de refrigerantes.

4.4.2. Caracterização qualitativa da água de reúso/reaproveitamento

Para caracterizar a água das oportunidades de reúso e/ou reaproveitamento de efluentes identificados ao longo da execução deste trabalho, para uma maior representatividade, foram realizadas 10 coletas de amostras simples de cada oportunidade de reaproveitamento identificada.

Após a coleta das amostras foram realizadas, *in loco*, análises das seguintes variáveis: cor aparente, turbidez, pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido. Outras variáveis como: cloro residual total, coliformes totais e *e-coli* foram realizadas no Laboratório de Instalações Piloto de Tratabilidade de Águas e Lodo (LAMAG) sob coordenação do Grupo de Estudos em Tratabilidade de Água e Reúso de Efluente (GESA) nas dependências do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA) na Universidade Federal do Pará (UFPA).

A metodologia aplicada na etapa de caracterização qualitativa das oportunidades de reúso de água identificadas durante as investigações de trabalho seguem na Figura 11.



Para as possibilidades de reutilização e/ou reaproveitamento de água para usos de equipamentos industriais, tais como caldeiras e torres de resfriamento, foram incluídas nas análises das amostras de água os parâmetros alcalinidade e dureza total. Na Tabela 2 são fornecidos os métodos de análises de cada parâmetro utilizado na pesquisa, juntamente com uma breve descrição conceitual das referidas variáveis.

Tabela 2 - Metodologias e descrição das variáveis físico-química e biológica de análise de água.

Variáveis	Método	Especificação do equipamento	Descrição
pH	Potenciométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor Multiparâmetro • Marca: akso • Modelo: AK88 	Medida da intensidade do caráter ácido de uma solução
Temperatura (°C)	Potenciométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor Multiparâmetro • Marca: akso • Modelo: AK88 	Medir a quantidade de calor da amostra
Turbidez (uT)	Turbidimétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidímetro SL 2K 	Grau de interferência na passagem da luz
Cor Aparente (uC)	Fotométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Fotômetro de Bolso para Medição da Cor da Água. • Marca: Hanna • Modelo: HI727 	Responsável pela coloração da água. É constituído por sólidos dissolvidos
Condutividade elétrica (mS/cm)	Conduvímetero	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor Multiparâmetro • Marca: akso • Modelo: AK88 	Quantificação de íons na Amostra
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Oxímetro	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor Multiparâmetro • Marca: akso • Modelo: AK88 	Quantificação de oxigênio dissolvido na amostra
Cloro total (mg/L)	Fotométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Fotômetro de Bolso para Medição de Cloro total. • Marca: Hanna • Modelo: HI711 	Quantificação do Cloro total presente na água.
Cloro Residual livre (mg/L)	Fotométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Fotômetro de Bolso para Medição da Cloro Residual Livre. • Marca: Hanna • Modelo: HI727 	Quantificação de Cloro ativo presente na água, ainda não ligado com outros elementos
<i>Coliformes Totais (NMP/100mL)</i>	Substrato enzimático (presença/ausência)	<ul style="list-style-type: none"> • Cartela colilert • Incubadora termo-regulável (35±2°C) 	Verificação de contaminação por coliformes totais
<i>E.coli (NMP/100mL)</i>	Substrato enzimático (presença/ausência)	<ul style="list-style-type: none"> • Cartela colilert • Câmara escura equipada de radiação UV • Incubadora termo-regulável (35±2°C) 	Verificação de contaminação exclusivamente por E.coli

Os resultados obtidos foram comparados com as referências da literatura brasileira, citadas no item 3.6 deste trabalho, para análise do grau de conformidade dos parâmetros qualitativos analisados e, conseqüentemente, indicando ou não a viabilidade do uso da água na fábrica de refrigerantes estudada.

4.4.3. Definição de indicadores de desempenho ambiental

Após a realização das etapas de descrição do processo industrial e balanço hídrico foram definidos os indicadores de desempenho. Estes foram quantificáveis e medidos para conhecer os cenários atual do uso da água na fábrica, permitindo assim uma avaliação comparativa entre a situação atual do empreendimento e os cenários que foram propostos neste trabalho, bem como uma análise dos ganhos obtidos em termos ambientais e econômicos. Assim, seguem, no Quadro 9, os indicadores selecionados para avaliar os cenários de uso da água na indústria de refrigerantes.

Quadro 9 - Indicadores de avaliação de cenários do uso de água na indústria.

Indicador		Descrição	Tipo de indicador	Categoria do indicador
A	$m^3_{\text{água-captada}}/m^3_{\text{refr.}}$	Volume de água consumida / Volume de refrigerante produzido	Indicador de desempenho operacional	Ambiental
B	$m^3_{\text{efluente}}/m^3_{\text{água-captada}}$	Volume de efluente tratado / Volume de água captada	Indicador de geração de efluentes	Ambiental
C	$m^3_{\text{água-reúso}}/m^3_{\text{água-captada}}$	Volume de água de reúso / Volume de água captada	Indicador de desempenho operacional	Ambiental
D	kWh/m ³	Consumo de energia elétrica / volume de água e efluente tratado	Indicador de desempenho operacional	Ambiental e Econômico
E	R\$/m ³	Custos de operação por metro cúbico de água consumida	Indicador financeiro	Econômico

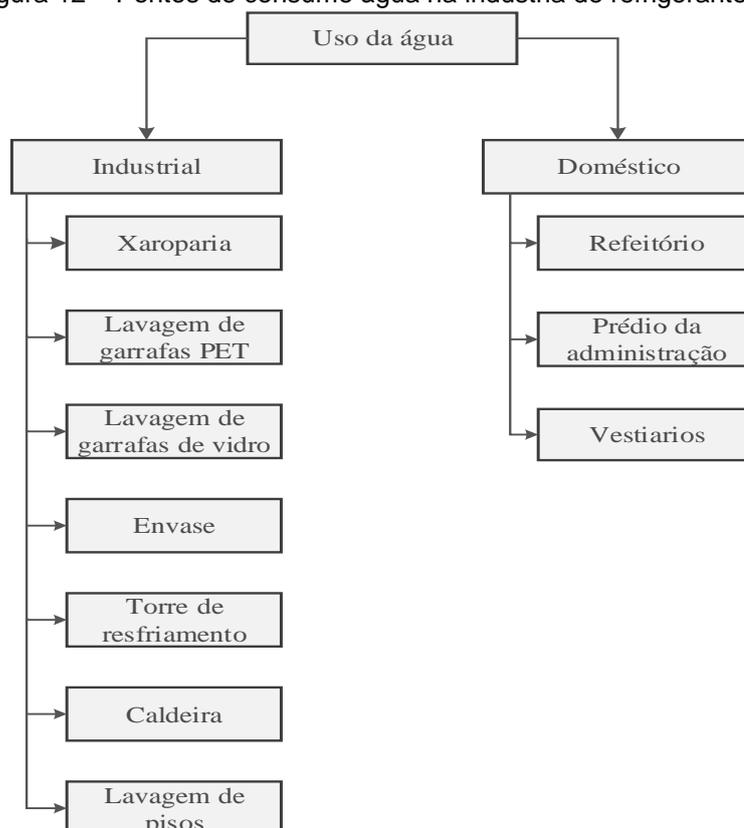
A escolha dos indicadores ocorreu de acordo com as características dos projetos desenvolvidos na indústria. Além disso, foi considerado as experiências dos autores citados nos Quadros 4 e 5 do item 3.7 deste trabalho. Os autores realizaram trabalhos similares, portanto as práticas e técnicas de reúso/reaproveitamento de água em plantas industriais adotadas por eles, auxiliaram na seleção dos indicadores de desempenho ambientais.

Quanto ao indicador R\$/m³, a metodologia a ser utilizada no levantamento dos custos de operação para referentes ao indicar R\$/m³, seguem no item 4.5 deste trabalho.

4.4.4. Proposição e avaliação cenários de uso da água no empreendimento

Os cenários de avaliação do uso da água na indústria de refrigerante foram realizados com base nos consumos de água para fins domésticos e industriais que se encontram no empreendimento. Na Figura 12 pode-se visualizar os locais de consumo de água na indústria de refrigerante.

Figura 12 – Pontos de consumo água na indústria de refrigerante.



Ao serem identificadas as oportunidades de reúso e/ou reaproveitamento de água na fábrica de refrigerantes, foram propostos três cenários de avaliação, aqui denominados: pessimista (I), provável (II) e otimista (III), e avaliados os indicadores.

Logo, pode-se conhecer, na Tabela 3, o modelo da tabela a ser preenchida com os resultados dos indicadores de desempenho conforme os cenários de uso dos recursos hídricos na fábrica de refrigerantes.

Tabela 3 - Modelo de tabela com os resultados dos indicadores de desempenho em cada de cenários de uso da água proposto.

Indicadores		Cenário I	Cenário II	Cenário III
A	$m^3_{\text{água}}/m^3_{\text{refrigerante}}$	-	-	-
B	$m^3_{\text{efluente}}/m^3_{\text{água}}$	-	-	-
C	$m^3_{\text{água-reúso}}/m^3_{\text{água-cap}}$	-	-	-
D	kWh/ m^3	-	-	-
E	R\$/ m^3	-	-	-

Os cenários, pessimista (I), provável (II) e otimista (III) contidos na Tabela 2 correspondem as seguintes interpretações:

- Cenário I (pessimista): refere-se à situação atual da fábrica de refrigerante;
- Cenário II (provável): é composto dos resultados dos indicadores selecionados referentes a 50% das oportunidades de reúso/reaproveitamento identificados durante este estudo;
- Cenário III (otimista): é composto dos resultados dos indicadores selecionados referentes a 100% das oportunidades de reúso/reaproveitamento identificados durante este trabalho.

Mediante o uso dos indicadores de desempenho foi possível efetuar a discussão dos cenários de uso da água, obtendo o entendimento das oportunidades de reúso/reaproveitamento da água no empreendimento e como eles podem impactar no uso dos recursos hídricos ao longo do processo de manufatura do refrigerante, além de auxiliar na escolha das práticas de reúso em uma eventual implantação, em escala real, na fábrica de refrigerantes.

4.4.4.1. Determinação dos custos operacionais do uso dos recursos hídricos

Esta etapa tem como objetivo descrever os procedimentos de obtenção dos custos de operação por metro cúbico de água consumida (captação + reúso). Os resultados obtidos a partir destes procedimentos foram utilizados no indicador R\$/ m^3 contido em cada cenário proposto para o uso de água na indústria de refrigerantes.

Os custos de manutenção do sistema de reúso de água foram estimados com base em cálculos das despesas de energia elétrica, gastos com produtos químicos utilizados no tratamento de água e esgoto, bem como taxa de fiscalização de recursos hídricos (TFRH).

Para a determinação dos custos de operação do(s) sistema(s) de reúso de água a serem proposto para a operação na fábrica de refrigerantes foram considerados seguintes itens:

- Custo 01: Consumo e custos estimados de energia elétrica da ETA e ETE

Para estimar do consumo energético do sistema de reúso/reaproveitamento de água foi considerada a potência nominal e o tempo de operação dos equipamentos, tais como conjuntos moto-bomba e bombas dosadoras que demandam energia elétrica.

Após a obtenção do consumo de energia, foi investigada a categoria de consumo em que está enquadrada a fábrica de refrigerantes e o valor cobrado pelo kWh. A partir disso, foi realizado o cálculo da tarifa média para faturamento diferenciado em horário de ponta e Fora Ponta para a indústria de refrigerantes estudada, o horário de Ponta corresponde ao período entre 18:00h a 22:00h.

As tarifas cobradas pela concessionária fornecedora de energia elétrica foram conhecidas mediante o levantamento no setor financeiro do empreendimento. Conhecido os valores das tarifas de energia elétrica foi calculado o valor da tarifa média paga pela indústria de refrigerantes. No cálculo da tarifa média de energia elétrica foi efetuado a média ponderada das tarifas, a equação a ser utilizada foi:

$$T_{méd} = \frac{(\%_{uso-Fora\ de\ Ponta} \cdot T_{Fora\ de\ ponta}) + (\%_{uso-Ponta} \cdot T_{Ponta})}{1,0} \quad (\text{Equação 06})$$

Em que:

- $T_{méd}$: valor médio da tarifa de energia (R\$/kWh);
- $T_{Fora\ Ponta}$: valor da tarifa de energia para o horário Fora Ponta;
- T_{Ponta} : valor da tarifa de energia para o horário Ponta;
- $\%_{uso-Fora\ de\ Ponta}$: percentual de uso fora de ponta;
- $\%_{uso-Ponta}$: percentual de uso de ponta.

A obtenção da taxa média de energia elétrica foi fundamental para o conhecimento dos custos operacionais dos equipamentos já existentes, visto que foi possível compará-los com os custos de operação após a inclusão dos novos equipamentos a serem implantados em uma possível adoção de um dos cenários propostos neste trabalho. Por fim, foram calculadas as despesas de energia elétrica dos equipamentos mediante a seguinte equação:

$$CO = \frac{Pot_n.t.T_{m\u00e9dio}}{V} \quad (\text{Equa\u00e7\u00e3o 07})$$

Em que:

CO= Custo operacional (R\$/m³);

Pot.n = pot\u00eancia nominal do equipamento (kW);

t = tempo de opera\u00e7\u00e3o (h);

T_{m\u00e9dio}: valor m\u00e9dio da tarifa de energia (R\$/kWh);

V = volume bombeado ou tratado (m³).

- Custo 02: Despesas com produtos qu\u00edmicos.

A avalia\u00e7\u00e3o dos gastos com os produtos qu\u00edmicos utilizados na esta\u00e7\u00e3o de tratamento de \u00e1gua e de efluentes da f\u00e1brica foi realizado com base no consumo e nas dosagens de coagulantes, floculantes e agente oxidante. Para isso, foi efetuado o acompanhamento operacional da ETA e ETE, a fim de realizar um levantamento da quantidade de produto qu\u00edmico utilizado diariamente e mensalmente em ambos sistemas de tratamento, bem como o seu custo total (custo por kg + frete). Assim, obteve-se quantidade de produto qu\u00edmico utilizada para tratar a vaz\u00e3o de opera\u00e7\u00e3o (ETE + ETA) atual e estimar qual o consumo deles nos cen\u00e1rios propostos. O volume e a quantidade de produto qu\u00edmico foram obtidos atrav\u00e9s das seguintes equa\u00e7\u00f5es:

$$V(L) = Q_{\text{Bomba dosadora}} \times N \times 3600 \quad (\text{Equa\u00e7\u00e3o 08})$$

$$M_{\text{Reagentes}} = \frac{C_{\text{Reagentes}} \times V}{100} \quad (\text{Equa\u00e7\u00e3o 09})$$

$$CO = \frac{M_{\text{Reagentes}} \times C_{\text{reagente}}}{V_{\text{\u00e1gua}}} \quad (\text{Equa\u00e7\u00e3o 10})$$

Em que:

V = Volume necess\u00e1rio para um dia de opera\u00e7\u00e3o (m³);

Q_{Bomba dosadora} = vaz\u00e3o da bomba dosadora (L/s);

N = N\u00famero de horas de funcionamento da f\u00e1brica;

M_{Reagente} = Massa de reagentes utilizada diariamente (kg/dia);

C_{reagentes} = concentra\u00e7\u00e3o do coagulante (kg/m³);

C_{reagentes} = custo do produto qu\u00edmico por quilograma (R\$/kg);

V_{\u00e1gua} = volume de \u00e1gua tratada (m³).

- Custo 03: Taxa de Fiscalização de Recursos Hídricos – TFRH

Ainda foi avaliada a despesa referente a taxa hídrica paga mensalmente pelo empreendimento ao órgão ambiental competente pela cobrança do recurso hídrico. Este custo foi contabilizado apenas para a ETA. O valor da taxa em R\$/m³ foi obtido junto ao setor financeiro da fábrica, onde foram fornecidos os boletins de medição referentes ao ano de 2018 feitas pelo órgão ambiental fiscalizador competente.

- Custo 04: Mão de obra operacional

Neste trabalho não foram contabilizadas despesas com mão de obra para operação e manutenção, sendo previsto que esses serviços são designados a funcionários já contratados da fábrica, não gerando custos adicionais com a adoção de práticas de reúso de água.

- Custo total

Ao final de todo o levantamento foi calculado o custo total de operação da ETE e ETA atual e os custos de operação nos cenários propostos. O custo total de operação foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Custo total (R\$/m}^3\text{)} = \text{Custo 1} + \text{Custo 2} + \text{Custo 3} + \text{Custo 4} \quad (\text{Equação 08})$$

O custo total calculado está ligado, diretamente, com a vazão de água consumida e vazão de efluentes tratados diariamente. Sendo assim, foi possível obter o custo em R\$/m³ para o cenário atual e os propostos neste trabalho, sendo eles, para 50% e 100% das práticas de reúso/reaproveitamento identificadas durante o diagnóstico do processo produtivo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são expostos os resultados obtidos durante a execução das três etapas componentes da metodologia deste trabalho. Os resultados fazem referência ao diagnóstico do processo produtivo, balanço hídrico e a proposição dos cenários de uso da água.

5.1. DESCRIÇÕES DOS PROCESSOS PRODUTIVO E OPERACIONAIS

A seguir são apresentados os resultados adquiridos na análise documental e levantamento de campo, rotinas operacionais, além da identificação dos consumos de água de uso doméstico e industrial.

5.1.1. Análise documental e levantamento de campo

Uma das primeiras atividades realizadas nesta etapa do trabalho foi o levantamento das máquinas e equipamentos, bem como o entendimento do processo produtivo do refrigerante que ocorre na fábrica estudada, além disso, foram realizados os levantamentos das etapas de tratamento de água e de efluentes. As descrições seguem nos itens abaixo:

5.1.1.1. Descrição do processo produtivo do refrigerante

1° etapa: Preparação do xarope simples

O processo inicia-se com a produção do xarope simples, também conhecido como calda base que é uma solução aquosa de açúcar, eventualmente enriquecida com ácidos orgânicos. Sua obtenção ocorre em tanque através da diluição do açúcar em água quente, seguido de cozimento à temperatura de 85°C, de modo a retirar impurezas que possam gerar problemas de odor e sabor no produto. Esta calda é então tratada e clarificada, mediante o uso de um filtro que possui elementos de clarificação e purificação, sendo eles o carvão ativado em pó e terra diatomácea. Após a separação da fração sólida do filtrado, o xarope simples é resfriado em trocadores

de calor até uma temperatura aproximada de 20°C. O trocador de calor é alimentado por água fria proveniente das torres de resfriamento e tanques de gelo.

2° etapa: Obtenção do xarope composto

Posteriormente, são incorporados ao xarope simples alguns aditivos para a obtenção do xarope composto. Estes adicionais é que distinguem os refrigerantes entre si, conferindo as características de cor, sabor, odor e propriedades químicas adequadas à sua conservação. Os aditivos incorporados podem ser sucos naturais de frutas, estabilizantes, conservantes, corantes, antioxidantes, entre outros. Estes compostos são incorporados ao xarope simples em tanques de formulação que são agitados mecanicamente.

3° etapa: Lavagem de garrafas

Os vasilhames de vidro são cuidadosamente inspecionados. Aqueles que estejam fora das especificações para uso (garrafas trincadas, bicadas, lascadas, lixadas, quebradas, sujas) são retiradas. Após a seleção, as garrafas são colocadas na esteira de transporte e entram nas lavadoras, onde se iniciam o processo por um tanque de pré-lavagem com água.

As garrafas muito sujas são imersas em um tanque com solução alcalina de soda cáustica quente, para retirada de impurezas e esterilização. Por último, são enxaguadas em tanque com esguichos de água limpa. Ao final, uma nova inspeção e seleção são realizadas antes de seu envio para a máquina enchedora.

As garrafas PET, inicialmente, chegam até a fábrica como pré-formas, essas unidades são submetidas a uma etapa de expansão com injeção de ar para formar a garrafa PET, posteriormente, as garrafas são enxaguadas com água clorada (com 5% de concentração) ou com ácido peracético (0,8 mg/l de concentração) para a sua higienização. Concluída esta etapa as garrafas estão prontas para o envasamento.

4° etapa: Envasamento e produção do refrigerante

Para o envasamento, o xarope composto é diluído em água tratada, de acordo com os requisitos necessários de qualidade, e acrescido de CO₂ (carbonatação), essa etapa ocorre em equipamento denominado de Carbo Mix. Antes de seguir para as

máquinas enchedoras, o xarope composto já com o CO₂ em sua composição, é diluído novamente em água tratada na Cuba de Mistura.

O envase de refrigerantes é realizado logo após a carbonatação e diluição do xarope composto, de modo a evitar perdas de CO₂. Assim, o refrigerante é enviado às máquinas enchedoras, para que seja efetuado o envasamento do produto nas garrafas PET e de vidro.

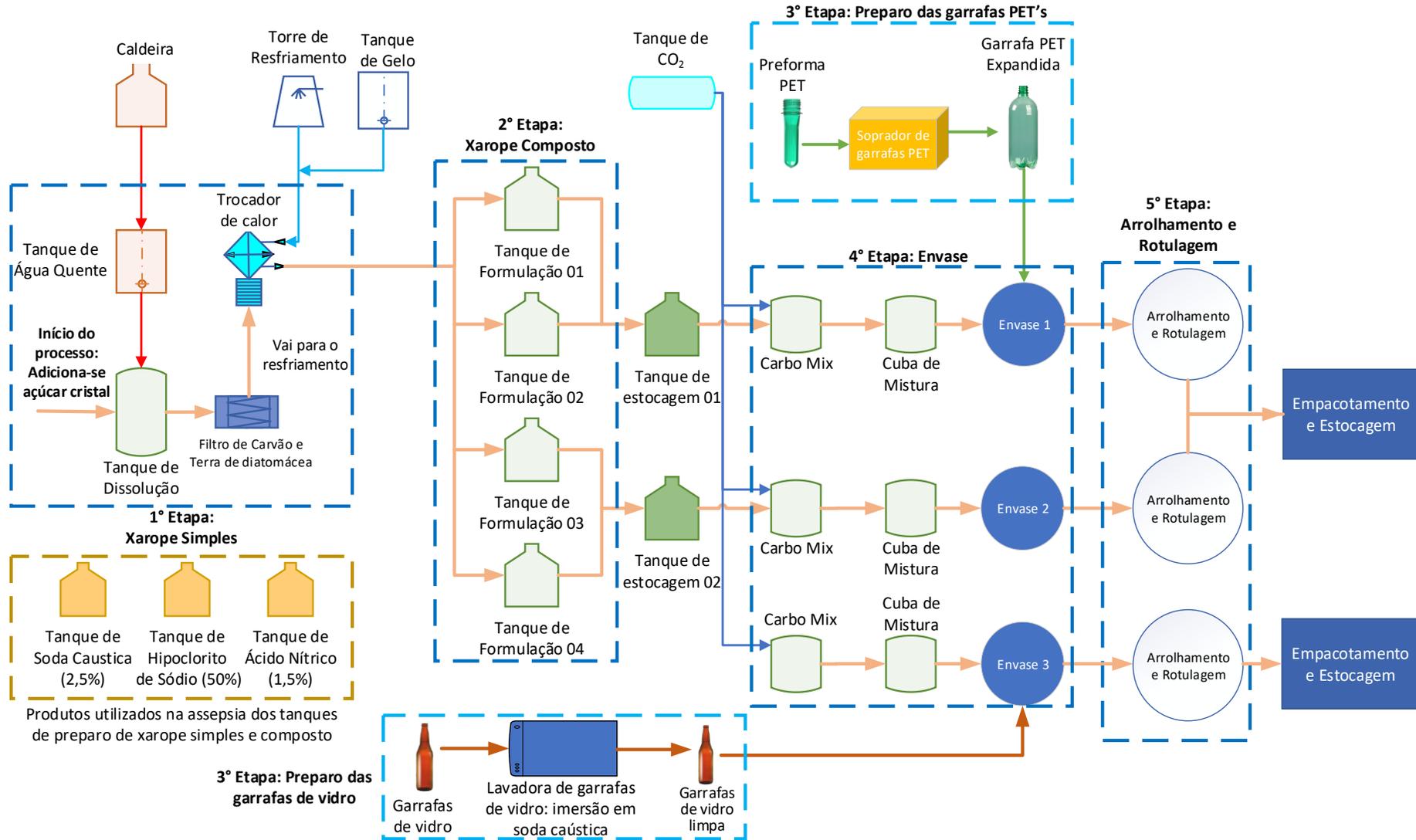
5° etapa: Arrolhamento, rotulagem e empacotamento

Ao passar pela máquina enchedora os vasilhames são conduzidos através de esteiras para uma máquina de arrolhamento, onde serão inseridos as tampinhas e os lacres nas garrafas, em seguida, as garrafas são rotuladas em máquinas rotuladoras finalizando o processo de produção do refrigerante. Os rótulos podem ser de papel (garrafas de vidro) ou de plástico do tipo BOPP (garrafas PET).

Finalizado o processo de produção do refrigerante, as garrafas são empacotadas e estocadas até serem distribuídas nos pontos de venda da cidade.

Na Figura 13 pode ser visualizado o esquema resumindo todas as etapas do processo de produção do refrigerante no empreendimento estudado. O mapeamento do processo industrial foi fundamental para identificar as características das etapas de produção do refrigerante e identificar os usuários de água e geradores de efluentes ao longo do processo produtivo. Além disso, fluxograma permitiu conhecer as possíveis oportunidades de desenvolver práticas de reúso de efluentes industriais, seja em cascata ou em reúso de efluente tratado.

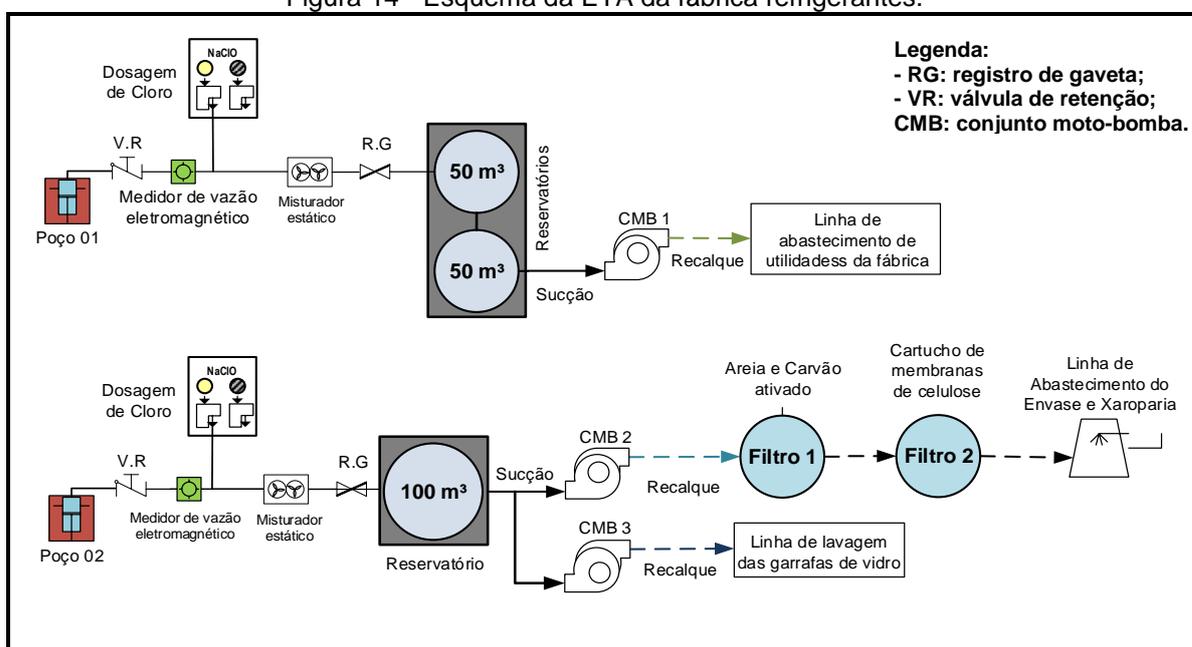
Figura 13 - Esquema do processo de produção do refrigerante.



5.1.1.2. Descrição do sistema de abastecimento de água

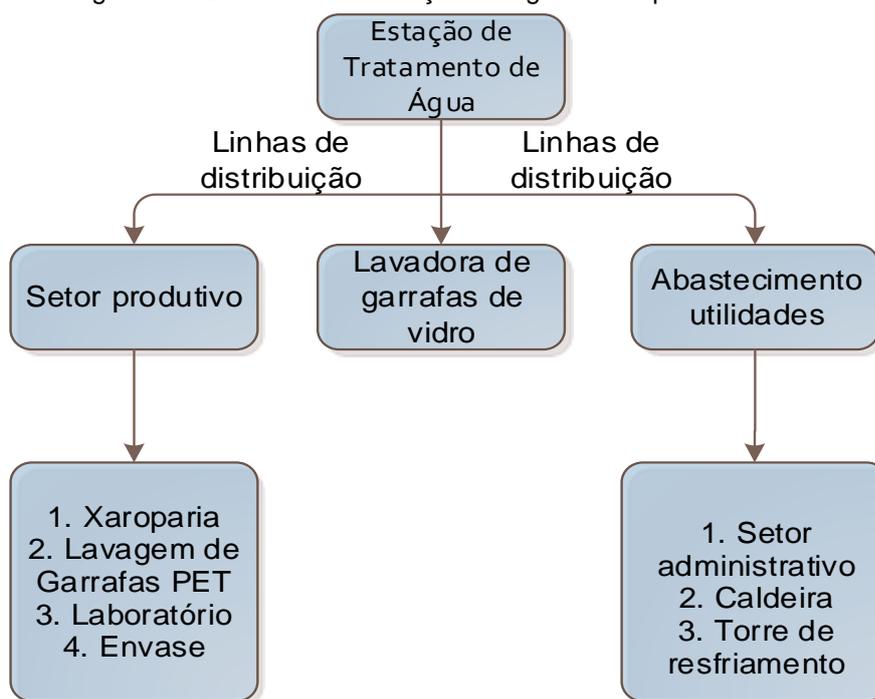
A Estação de Tratamento de Água (ETA) da fábrica de refrigerantes é composta por etapas de reservação de água bruta, filtração e desinfecção, no qual se tem que as unidades de: captação de água subterrânea, cloração/desinfecção, filtração em série (leito de areia e antracito + filtro de membranas de celulose) desinfecção e reservação. Na Figura 14 pode-se visualizar um esquema da planta do sistema de tratamento de água do processo industrial.

Figura 14 - Esquema da ETA da fábrica refrigerantes.



Ao final do tratamento da água há três linhas de distribuição de água que atendem aos usos do setor de produção do refrigerante, utilidades e de lavagem de garrafas de vidro. Para o entendimento da distribuição de água no local, segue, na Figura 15 as linhas de distribuição da água realizada a partir da ETA da fábrica de refrigerantes.

Figura 15 - Linhas de distribuição de água do empreendimento.



O sistema de abastecimento de água existente no empreendimento atende o setor produtivo, lavadora de garrafas de vidro e o setor de utilidades. As linhas de abastecimento de utilidades e de lavagem de garrafas de vidro não passam pela etapa de filtração, pois a água pré-tratada já apresenta qualidade para atender tais finalidades. O tratamento completo da água ocorre para atender a demanda do setor produtivo da fábrica, pois ela deve apresentar características potáveis para a produção da bebida.

A captação de água bruta é realizada em manancial subterrâneo, mediante o uso de dois (02) conjunto moto-bombas submersos, instalados em dois poços, denominados poço 01 e 02. No poço 01 a tubulação de recalque possui DN 2" (50 mm), no poço 02 diâmetro da linha de bombeamento é de 75 mm. Em cada poço estão presente hidrômetros eletromagnéticos, responsáveis pela medição de vazão e totalização de volume de água captada diariamente para a produção do refrigerante.

Em seguida, ocorre a primeira etapa do tratamento da água que consiste na oxidação e desinfecção. Esta fase consiste na injeção de hipoclorito de sódio na linha de recalque que vai para o reservatório de água pré-clorada. Ainda nesta etapa ocorre a oxidação do ferro, bem como a desinfecção da água.

Finalizada a oxidação do ferro a água segue para as unidades de filtração em dois (02) filtros em série, sendo um de areia e carvão ativado (antracito) e outro de

membrana (cartucho de celulose). As unidades possuem diâmetros de 2,0m e 0,60m respectivamente, correspondendo a uma área individual de 3,14 m² e 0,28 m², respectivamente. Nessa etapa atuam a ação dos mecanismos de transporte, aderência e desprendimento das partículas suspensas durante a passagem da água pelo meio poroso (leito filtrante) em sentido descendente destinado a realizar a separação das sólido-líquido.

Após a filtração, ocorre a adição *in line* das soluções de NaClO e de NaOH na tubulação de água filtrada por sistema de dosagem (tanque Polietileno V= 310L e bomba dosadora tipo diafragma) que irão efetuar a desinfecção e a correção do pH da água para garantir a qualidade microbiológica da água e o pH adequado para o uso na produção do refrigerante e nas demais finalidades. A ETA da fábrica de refrigerantes possui um sistema de geração de cloro por eletrólise da salmoura. A eletrólise ocorre a partir de solução de salmoura a 3% e a solução produzida possui concentração que varia entre 7% e 9%, sendo armazenada para aplicação nas linhas de abastecimento de água.

A reservação da água ocorre em três unidades de aço inoxidável com capacidade total de 200 m³ de água, sendo dois reservatórios com capacidade de 50 m³ cada e outro com 100 m³. Estes reservatórios destinam-se a armazenar água bruta e tratada para a distribuição, respectivamente, e buscam atender as linhas de abastecimento comum, linha de abastecimento de produção do refrigerante e linha da lavadora de garrafas de vidro.

Na elevatória de água tratada ocorre o bombeamento da água tratada do reservatório de 100 m³ para as linhas de recalque que irão atender as necessidades de toda a fábrica.

Na Figura 16 seguem os registros fotográficos de todas as unidades e etapas do tratamento de água da fábrica de refrigerantes.

Figura 16 – Unidades componentes do sistema de abastecimento de água da fábrica de água.



5.1.1.3. Descrição do sistema de coleta e tratamento de efluentes

O Quadro 10 apresenta as atividades que geram efluentes em cada setor e etapa do processo produtivo, bem como a forma de coleta e destinação dos efluentes a serem tratados em seus respectivos sistemas de tratamento.

Quadro 10 - Identificação de fontes poluidoras e destinação dos efluentes.

Etapa / setor	Atividades consumidoras de água e geração efluentes	Coleta / local de despejo	Destinação dos efluentes
Produção do xarope simples	Lavagem de pisos	Ralos de escoamento de águas servidas	ETE
	Lavagem dos tanques de preparo do xarope simples		
	Lavagem de tanques de produtos químicos		
	Lavagem dos filtros		
Produção do xarope composto	Lavagem de pisos	Ralos de escoamento de águas servidas	ETE
	Lavagem dos tanques de preparo do xarope composto		
Preparo das garrafas de vidro e PET	Despejo de efluente alcalino da lavadora de garrafas de vidro	Ralos de escoamento de águas servidas	ETE
	Lavagem das máquinas e equipamentos		
	Lavagem de pisos		
	Enxague de garrafas PET (<i>Rinse</i>)	Mangueiras flexíveis » Caixa de passagem	Sistema de drenagem
Envase	Lavagem do Carbo Mix	Ralos de escoamento de águas servidas	ETE
	Lavagem da Cuba de Mistura		
	Lavagem de pisos		
	Lavagem de bicos injetores da máquina envasadora		
Arrolhamento, rotulagem e embalagem	Lavagem de pisos	Canaletas	ETE
Laboratório de controle e qualidade	Lavagem de pisos e vidrarias	Canaletas	ETE
Administração	Lavagem de pisos, descargas de vasos sanitários e chuveiros	Sistema predial de esgoto sanitário	Fossa Séptica » Estação de Tratamento de Efluentes
	Preparo das refeições e lavagem de pisos		
Refeitório	Preparo de refeições e lavagem de louças	Ralos de escoamento de águas servidas	Caixa de gordura » Fossa séptica » ETE
Caldeira	Descarte de efluentes da caldeira	Caixa de passagem	Sistema de drenagem
ETA	Retrolavagem dos filtros	Caixa de passagem	Sistema de drenagem
ETE	Lavagem de equipamentos	Canaletas	ETE

Conforme o Quadro 10 o sistema de esgotamento da fábrica de refrigerantes é composto, basicamente por 5 formas de coleta e 3 de tratamento. Grande parte dos efluentes gerado no local são direcionados para a ETE, porém, atividades de *rinse* e retrolavagem dos filtros da ETA são despejados diretamente no sistema de drenagem sem qualquer tipo de tratamento, o que pode causar danos ao meio ambiente. Entretanto, vale ressaltar que os efluentes das atividades citadas são de fácil acesso e possibilitam a reutilização e o reúso em outras atividades que demandam água no empreendimento. Maiores detalhes sobre a vazão e qualidade dos efluentes gerados na fábrica de refrigerantes seguem nos itens 5.2 e 5.3.2, respectivamente, deste trabalho.

O sistema de tratamento de efluentes é do tipo lodos ativados por aeração estendida. Este sistema é composto pelas seguintes unidades: uma peneira rotativa, tanque de equalização ($V=95 \text{ m}^3$), tanque de aeração por ar difuso (duas câmaras de 98 m^3), decantador secundário (2 unidades de $V=17,5 \text{ m}^3$), tanque de mistura ($V=3 \text{ m}^3$) e um flotador ($V=2 \text{ m}^3$).

O pré-tratamento da ETE ocorre em peneira rotativa para a remoção de sólidos grosseiros (canudinhos, embalagens plásticas, tampinhas e papel), que possui 3 escovas que realizam a limpeza do equipamento, caracterizando-a como um sistema autolimpante. Em seguida, o líquido chega ao tanque de equalização para homogeneização e correção do pH, quando necessário. O tanque de equalização possui agitação por ar induzido, opera em nível variado e ocorre o controle das vazões de pico que ocorrem, além de evitar as sobrecargas nos reatores biológicos.

Após o tanque de equalização, o efluente é recalcado para o tanque biológico que possui um sistema de injeção de ar por difusores, nesta etapa irá ocorrer à degradação da matéria orgânica biodegradável. O tanque de aeração possui dois compartimentos cujo volume é de 98 m^3 o que favorece a alternância operacional entre eles, ou seja, enquanto uma unidade está no processo de esgotamento a outra permanece em reação (aeração e mistura da massa líquida contida no reator). Em seguida, o efluente é conduzido para o decantador secundário, onde ocorre a sedimentação de sólidos e a recirculação do material sedimentado para o tanque de aeração.

O sobrenadante do decantador é conduzido, por gravidade, para um tanque de mistura com duas câmaras, onde na primeira câmara ocorre a dosagem de NaOH e aluminato de sódio para correção do pH e coagulação do efluente, respectivamente. Na segunda câmara do tanque de mistura, ocorre a dosagem de polímero catiônico

para elevar a aptidão dos sólidos já desestabilizados na etapa de coagulação e, conseqüentemente, efetuar a formação de flocos por meio da aglomeração dos sólidos. Posteriormente, o efluente vai para o flotador de ar dissolvido (FAD), onde os flocos formados na etapa anterior são suspensos formando uma espuma, esse subproduto sólido é retirado por raspadores mecânicos e depositado em um container de 500 L para seguir até a unidade de tratamento de lodo composta por uma centrífuga. Ao final do tratamento o efluente, ocorre a dosagem de hipoclorito de sódio (NaClO) para oxidação da matéria orgânica e redução de cor. Em seguida, o líquido é despejado em uma galeria de águas pluviais.

Quanto ao gerenciamento de lodo, o tratamento físico-químico é o maior produtor da ETE, gerando cerca de 2 m³ de lodo por dia que é direcionado para um tanque de 500L, onde o lodo é homogeneizado e preparado para ser transportado para a decanter-centrífugo e posteriormente ser desaguado. A centrífuga tem a finalidade de realizar a separação de sólidos e líquidos no interior do tambor rotativo combinando diferença de densidade das substâncias com força centrípeta, resultando na separação contínua da massa sólida pela rosca interna e a parte líquida pela tubulação coletora. Após a centrifugação, os sólidos são armazenados temporariamente em um contêiner de 1000 L e o líquido residual retorna para o início do tratamento da ETE. Em seguida, o lodo passará por um processo de compostagem e é reutilizado como adubo na recuperação de áreas degradadas.

Na Figura 17 pode ser visualizado um esquema do processo de tratamento aplicado na ETE do empreendimento estudado. Ademais, na Figura 18 seguem os registros fotográficos de todas as unidades e etapas do tratamento de efluentes da fábrica de refrigerantes.

Figura 17 - Processo de tratamento de efluentes industriais do empreendimento.

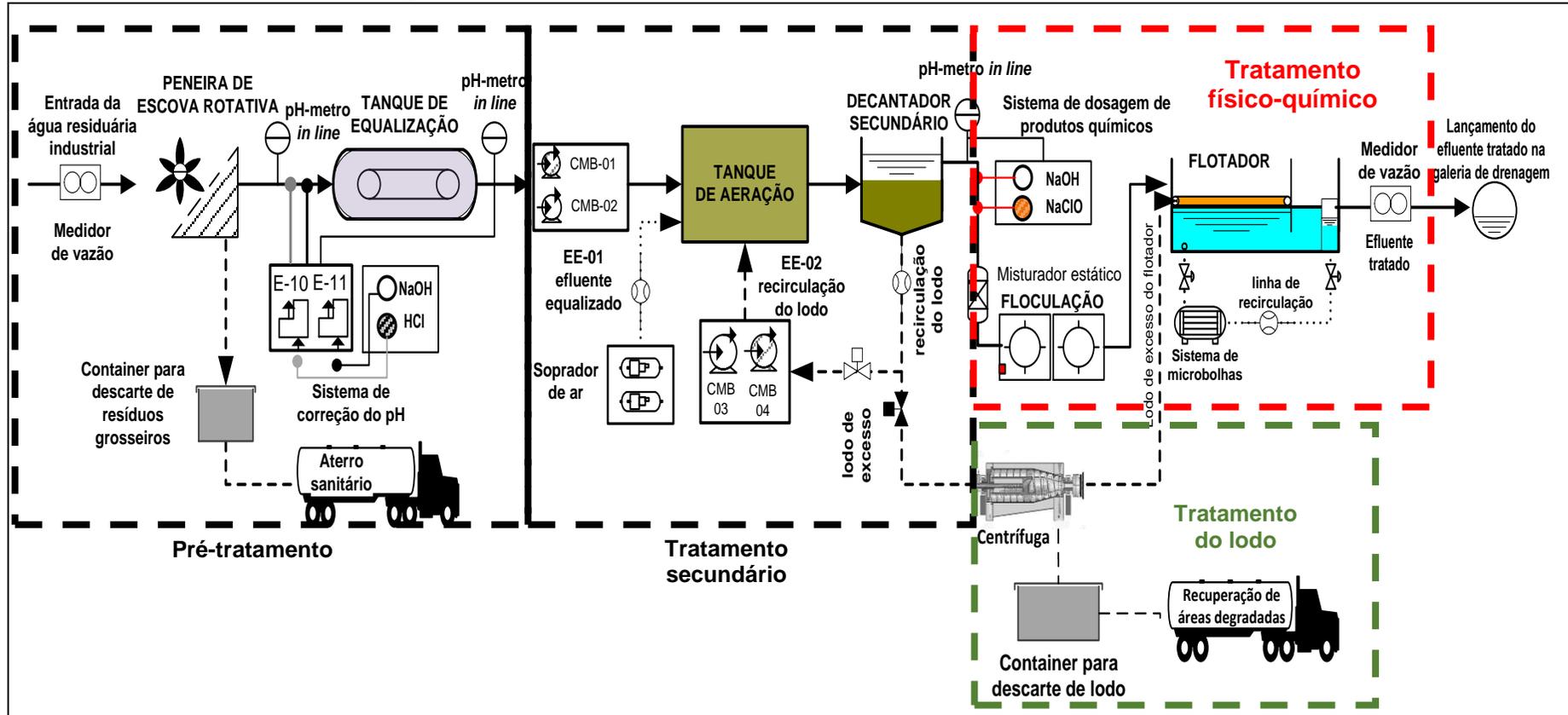


Figura 18 - Registros fotográficos das unidades de tratamento de efluente da fábrica de refrigerantes.

A) Peneira rotativa



B) Tanque de equalização



C) Tanque de aeração



D) Decantador secundário



E) Tratamento físico-químico



F) Decanter-centrífugo de lodo



5.1.1.4. Descrição da torre de resfriamento

Na fábrica de refrigerantes o uso da torre de resfriamento tem como finalidade efetuar o resfriamento da calda base produzida no tanque de dissolução do açúcar cristal. A torre de resfriamento trabalha conjuntamente com trocador de calor presente na etapa de produção do xarope simples, desta forma a água recircula pelo trocador de calor sofrendo refrigeração em um sistema aberto, através do ar.

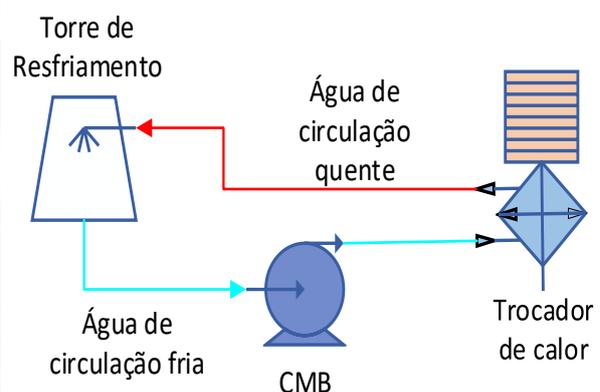
O funcionamento da torre de resfriamento consiste na chegada água quente da fonte de calor no sistema de distribuição de água no topo da torre, caracterizando como fluxo descendente. A água é distribuída pelo enchimento da bancada úmida por meio de orifícios grandes. Simultaneamente, o ar é aspirado através dos *louvers* (unidade que promove a entrada de ar, impede a entrada de luz solar na bacia dos equipamentos, dificultando a proliferação de algas e microrganismos) de entrada de ar na base da torre e viaja para cima através do enchimento da bancada úmida em direção oposta à vazão de água. Uma pequena porção da água é evaporada, o que remove o calor da água restante. O ar quente e úmido é aspirado para o topo da torre de resfriamento pelo ventilador e descarregado para a atmosfera. A água resfriada escoa para a bacia no fundo da torre e é devolvida à fonte de calor. A descarga de ar vertical do projeto AT e a distância entre o ar de descarga e as entradas de ar fresco reduzem a chance de recirculação de ar, uma vez que o ar úmido quente é dirigido para cima da unidade, sem dispersado na atmosfera.

Na Figura 19 segue o esquema de operação da torre de resfriamento com o trocador de calor presentes na fábrica de refrigerantes.

Figura 19 – Registro fotográfico e esquema de operação do sistema de resfriamento de água da fábrica de refrigerante.



Fonte: registro fotográfico, 2018.



5.1.1.5. Descrição da caldeira de produção de vapor

Em diversas operações do processo produtivo é requerido o uso de água quente ou de vapor de processo, como por exemplo na fervura da calda base do xarope simples e lavagem de garrafas retornáveis. Esta água quente e vapor são produzidos em caldeiras alimentada com lenha ou aparas de madeira. A caldeira da fábrica de refrigerantes estudada é utilizada para produzir vapor para o tanque de dissolução de açúcar, para lavadora de garrafas de vidro e água quente para a limpeza de máquinas e equipamentos, nesta unidade a água sai com temperatura que varia entre 80 e 85°C.

Na Figura 20 segue o registro fotográfico da caldeira de produção de vapor presente na fábrica de refrigerantes.

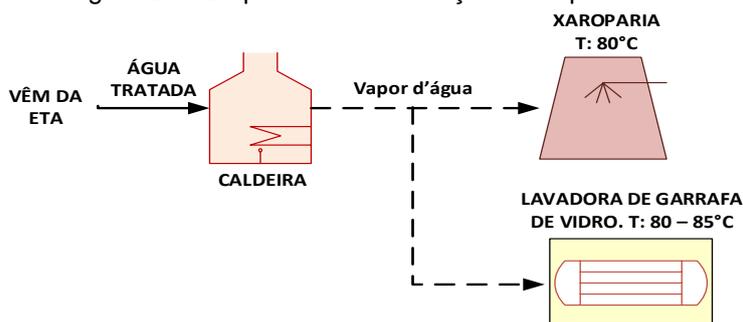
Figura 20 – Caldeira de produção de vapor na fábrica de refrigerantes.



Fonte: registro fotográfico, 2018.

A caldeira que opera no empreendimento é do tipo aquatubulares, possui a circulação de água por dentro dos tubos, envolvidos por gases quentes. Conforme informações da equipe técnica da fábrica de refrigerantes, 1 kg de vapor ocupa cerca de 1,67 m³. Sendo assim, a produção diária de vapor a partir de 30.000 kg de água é de 50.100 m³ de vapor por dia. Logo, na Figura 21 segue o esquema de operação da caldeira, bem como a destinação do vapor produzido por tal unidade.

Figura 21 - Esquema de distribuição de vapor da caldeira.



Conforme a especificação técnica do equipamento de geração de vapor, o mesmo possui capacidade de gerar até 1000 kg.Vapor/h, quando operada a uma pressão de 8 Kgf/cm² e utilizando aparas de madeira como combustível. Durante a queima do combustível ocorrem a geração de materiais particulados e gases no interior da caldeira. Esses materiais são descarregados, diariamente, pelo fundo do equipamento mediante a abertura de válvula de descarga.

O controle da vazão de água da caldeira ocorre através válvula em tubulações de aço de DN 1.½ polegadas. Estas descargas têm uma duração de 10 segundos em cada válvula e são executadas, em média, a cada quatro horas. A Tabela 4 seguem as vazões de descarga em função da pressão de operação, especificadas pela fabricante do equipamento de geração de vapor.

Tabela 4 - Vazões (l/s) de descarga rápida de efluente da caldeira.

DN da Válvula (pol)	Pressão Normal de Trabalho em kgf/cm ²						
	2	3	4	5	6	7	8
1.1/2	6,7	7,2	9,0	10,2	14,0	15,0	16,5

Conforme a Tabela 4 a vazão de descarte varia conforme a pressão de operação da caldeira. Na fábrica de refrigerantes a pressão de trabalho é de 4 kgf/cm², gerando descargas de efluentes de, aproximadamente, 9,0 l/s. Contudo, levando em consideração que ocorrem 4 descargas de 10 segundos de duração, a vazão de efluente da caldeira é de 360 l/d.

5.1.2. Conhecimento de rotinas operacionais

Durante a visita técnica na fábrica de refrigerantes foram analisadas todas as etapas do processo industrial para descrever detalhadamente as atividades de operacionais e de limpeza que ocorrem no setor de produção, setor administrativo, ETE e ETA. Sendo obtidos os seguintes resultados:

5.1.2.1. Operações de limpeza e lavagens

As atividades que envolvem a lavagem de pisos, máquinas e equipamentos ocorrem intensamente nas etapas de produção do xarope composto e de envasamento, visto que nessas etapas há o maior número de máquinas e equipamentos que necessitam de lavagem a cada troca de sabor do refrigerante que será produzido. O maior número de lavagens neste local é decorrente da quebra de garrafas que ocorrem durante o envase e derramamentos de refrigerantes, ocasionados pelo desalinhamento dos bicos injetores das máquinas enchedoras do produto durante o envase. Na Figura 22, seguem os registros fotográficos das atividades de lavagem de pisos e equipamentos que ocorrem na fábrica de refrigerantes.

Figura 22 - Registro fotográfico de atividades de lavagem de piso e equipamentos.



Foi observado que o número de lavagens do piso na área de produção do xarope composto é de 3 e 5 vezes por dia. Já na área de envase esse número eleva-se para 7 vezes. As lavagens ocorrem sempre com o auxílio de mangueiras e rodos. Foi notado

ainda que o tempo de lavagem nestes setores variam entre 3 e 7 minutos. Todo o efluente gerado durante essa atividade é coletado em ralos e conduzido para a estação elevatória de esgoto bruto e, em seguida, recalçados para a ETE da fábrica.

5.1.2.2. *Limpezas de máquinas e equipamentos de produção*

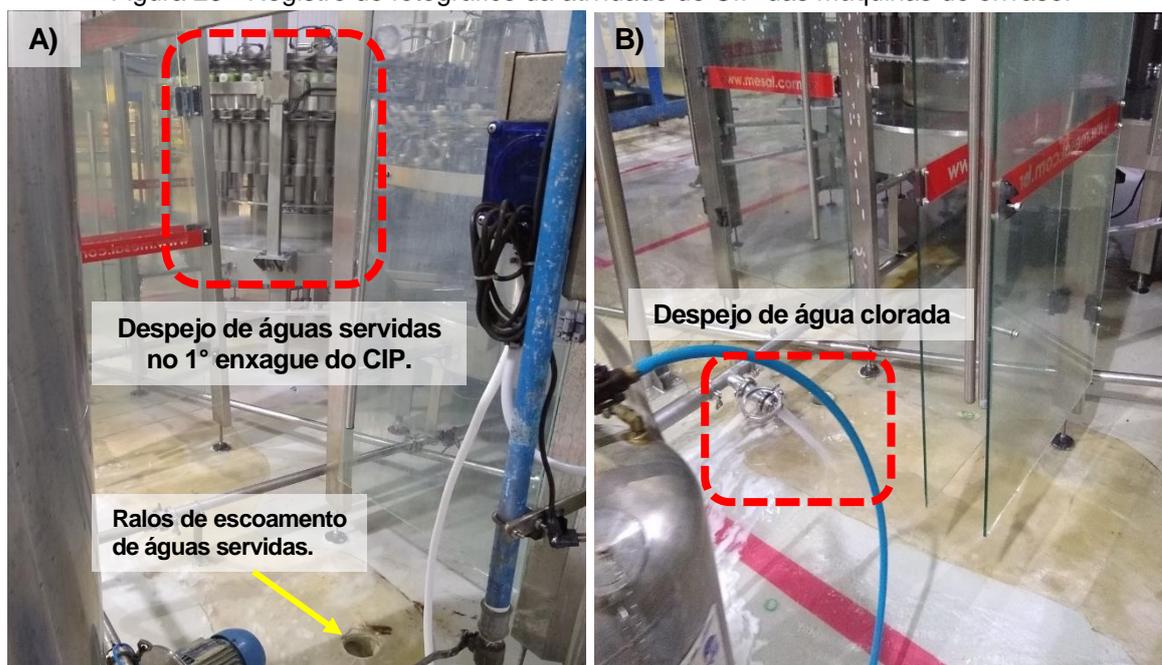
Outra atividade de limpeza rotineira na fábrica é o CIP (*Clean in Place*). Essa atividade consiste na limpeza interna das máquinas responsáveis pela produção do refrigerante sem relocação ou desmontagem. O equipamento é limpo, mas não necessariamente esterilizado. A limpeza é feita utilizando ácido nítrico (1,5%) e ácido peracético (0,15%), soda cáustica (2,5%) e hipoclorito de sódio (20 ppm) ou uma combinação de ambos com enxágue final feito com água da mesma qualidade que a utilizada para produção.

Um sistema eficiente de CIP deve considerar quatro aspectos fundamentais na sua concepção: 1- efeito Mecânico que considera as velocidades adequadas com fluxos em regime turbulento nas tubulações removendo as impurezas por arraste; 2- efeito químico: dependendo do elemento a ser removido ou lavado, ele pode ser mais ou menos susceptível a médios ácidos, alcalinos em diferentes concentrações ou neutros como simplesmente água; 3- efeito térmico que no caso dos refrigerantes os açúcares presentes no produto são removíveis com mais facilidade em altas temperaturas; 4- efeito da residência: quanto mais tempo o fluído de limpeza fica em contato com a sujeira maior a probabilidade de ser removida.

A sequência de limpeza completa utilizando CIP na fábrica de refrigerantes estudada é: 1- Enxágue inicial: neste ciclo a água circula pelo sistema todo a uma temperatura ambiente; 2- Banho com agente alcalino: este ciclo ocorre com a circulação do hidróxido de sódio, com 2,5% de concentração, por todos os sistemas a uma temperatura de 80°C. O agente alcalino permanece em contato com o sistema por 40 minutos; 3- Enxágue intermediário: encerrado o banho alcalino, por cerca de 10 minutos ocorre o enxague do sistema. A água circula por todo sistema a temperatura de 80°C e tem a finalidade de remover a maior parte do produto alcalino remanescente no sistema para que não diminua a eficiência do agente ácido que será aplicado na etapa seguinte; 4- Banho com agente ácido: nesta etapa é utilizado o ácido nítrico com 1,5% de concentração. O ácido permanece em contato com o

sistema por 30 minutos, em seguida ele é descartado; 5- Enxágue final: este ciclo requer água circulando pelo sistema todo a temperatura de 80°C e tem a finalidade de remover todo e qualquer vestígio dos produtos utilizados nos ciclos anteriores. A água utilizada neste ciclo possui as mesmas exigências qualitativa da água utilizada na fabricação do refrigerante. Na Figura 23 seguem os registros fotográficos da atividade de CIP das máquinas de envase.

Figura 23 - Registro de fotográfico da atividade de CIP das máquinas de envase.



Conforme a Figura 23 pode-se observar o momento em que ocorre o descarte da água do 1º enxague da atividade de CIP pelos bicos injetores de refrigerantes da máquina de envase e do descarte final de água para retirar completamente o hipoclorito de sódio e ácido peracético utilizados na etapa de sanitização. Nas figuras ainda pode-se notar a grande quantidade de água que é descartada nestes processos de limpeza. Toda a água servida é escoada por ralos e direcionada para a estação elevatória de esgoto bruto para seguir para o tratamento na ETE.

Após o CIP as máquinas e equipamentos do setor de produção são submetidos a uma etapa sanitização. Sanitizar consiste na redução de microrganismos críticos para saúde pública em níveis considerados seguros, com base em parâmetros estabelecidos, sem prejudicar a qualidade do produto e a segurança do consumidor. Além de ocorrer após o CIP, essa atividade, também, ocorre diariamente nas áreas

da xaroparias e envase. As etapas de sanitização das máquinas e equipamentos da fábrica de refrigerantes estudada são:

1. Aplicação inicial: o início da sanitização ocorre com a inserção e contato do hipoclorito de sódio com 40ppm de concentração nos locais onde se pretende efetuar a limpeza;
2. Enxágue: essa etapa tem por finalidade a retirada total do detergente disposto sobre as superfícies e equipamentos. Todos os resíduos são eliminados pela passagem da água;
3. Aplicação do sanitizante: consiste na aplicação de ácido peracético com 0,15% de concentração, o objetivo desta etapa é reduzir a carga microbiana presente nas superfícies. A aplicação do sanitizante ocorre mediante a circulação do ácido pelos equipamentos e máquinas responsáveis pela produção do refrigerante.
4. Enxague final: através da passagem de água, os resíduos do sanitizante aplicado anteriormente são totalmente removidos. Este procedimento tem como principal objetivo eliminar qualquer resíduo do sanitizante das superfícies, evitando a contaminação do alimento a ser processado. O contato do sanitizante com a bebida pode provocar modificações nas características produto, inibição de processos fermentativos, entre outras interferências.

É importante destacar que a sanitização ocorre diariamente na fábrica de refrigerantes, sempre quando ocorre a troca de sabores da bebida que são produzidos ao longo do dia na fábrica.

No Quadro 11 seguem os tempos de operação das atividades de CIP semanal, bem como a sanitização semanal e diária das máquinas e equipamentos presentes nos setores das xaroparias e envase de refrigerantes. Além disso, a fim de conhecer as rotinas operacionais exercidas semanalmente na fábrica de refrigerantes, no Quadro 12 estão listadas as atividades que consomem água em cada dia da semana.

Quadro 11 - Tempo de operação das atividades de CIP e sanitização de máquinas e equipamentos da fábrica de refrigerantes.

Atividade/ Periodicidade	Locais	CIP - Clean in Place					Sanitização			Tempo total
		1º Enxague com água quente a 80°C	Inserção e contato do hidróxido de sódio (2,5%) a 80°C	2º Enxague com água quente a 80°C	Inserção e contato de ácido nítrico (1,0-1,5%)	3º Enxague com água quente a 80°C	Inserção e contato do hipoclorito de sódio 40ppm	Ácido Peracético a 0,15%	Enxague final	
CIP Semanal	Linhas de envase	00:10	00:50	00:10	00:40	00:15	00:25	---	---	03:40
	Tanques da xaroparia	00:10	00:40	00:10	00:40	00:15	---	00:15	---	02:20
	Circuito pré-capa - dissolvedor	00:10	00:40	00:10	00:40	00:15	00:25	00:15	00:10	02:35
Atividade/ Periodicidade	Linha de envase	1º Enxague com água quente a 80°C	Hidróxido de sódio 2,5% aquecida do CIP	2º Enxague com água quente a 80°C	Inserção e contato de ácido nítrico (1,0 - 1,5%)	3º Enxague com água quente a 80°C	Inserção e contato do hipoclorito de sódio 40ppm	Ácido Peracético a 0,15%	Enxague final	Tempo total
Sanitização semanal	Produto com polpa (uva/laranja e limão)	00:10	00:15	00:10	00:20	00:10	00:10	---	00:10	01:15
	Produto sem polpa e todos de baixa caloria	00:10	00:15	00:15	---	---	---	---	---	00:30
	Produto com e sem polpa	00:10	IMERSO	No início do próximo turno 00:10	---	---	---	---	---	00:00

Quadro 12 - Tarefas consumidoras de água executadas ao longo da semana na fábrica de refrigerantes.

Locais	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
Xarope simples	- Lav. de pisos; - CIP.	- Lav. de pisos; - Lav. das tubulações dos equipamentos;				
Xarope composto	- Lav. de pisos; - CIP.	- Lav. de pisos; - Lav. das tubulações dos equipamentos;				
Envase	- Lav. de pisos; - CIP.	- CIP				
ETE	- Preparo de soluções de coagulantes e floculantes	- Preparo de soluções de coagulantes e floculantes	- Preparo de soluções de coagulantes e floculantes	- Preparo de soluções de coagulantes e floculantes	- Preparo de soluções de coagulantes e floculantes	- Lav. de pisos; - Lav. das unidades de tratamento físico-químico;
ETA	- Preparo de hipoclorito de sódio	- Retrolavagem das unidades de filtração - Lavagem dos reservatórios e tubulações				
Prédio Administrativo	Lav. de pisos dos banheiros e vestiários	Lav. pisos dos banheiros e vestiários	Lav. pisos dos banheiros e vestiários	Lav. pisos dos banheiros e vestiários	Lav. pisos dos banheiros e vestiários	---
Refeitório	Lav. de pisos e preparo de refeições	---				

5.1.2.3. Condições físicas dos equipamentos, tubulações e outros componentes

No primeiro semestre de 2018 a fábrica passou por uma reforma no setor de produtivo do refrigerante, onde foram realizados uma série de reparos e reordenação das máquinas, equipamentos, tubulações e tanques. Portanto, todo o setor produtivo possui equipamentos, tubulações e outros componentes em aço inoxidável com boas condições físicas para a operação. A Figura 24 seguem os registros fotográficos das áreas componentes do setor produtivo da fábrica.

Figura 24 - Registros fotográficos das máquinas e equipamentos do setor de produção de refrigerante.



Não foram identificadas tubulações, juntas ou válvulas com vazamentos de água, pois elas encontram-se em bom estado de conservação. Entretanto, foi verificado que os conjuntos moto-bomba presentes na etapa de envase da bebida apresentam, constantemente, problemas com vazamentos de água pelo selo de proteção do equipamento. Tais problemas, quando identificados, são reparados no momento em que há a paralização das atividades de produção do refrigerante, exceto

quando não há peças de reposição, conseqüentemente, em função do tempo para ocorrer a aquisição de peças e a troca da mesma, os vazamentos ocorrem continuamente ocasionando em desperdícios de água durante o funcionamento do conjunto moto-bomba. Desta forma, pôde-se concluir que na fábrica de refrigerantes ocorre a manutenção corretiva dos equipamentos quando deveria ser de forma preventiva, pois muitos dos equipamentos que operam na fábrica influenciam diretamente no consumo dos recursos hídricos e na geração de efluentes.

5.1.2.4. Estação de tratamento de esgoto (ETE)

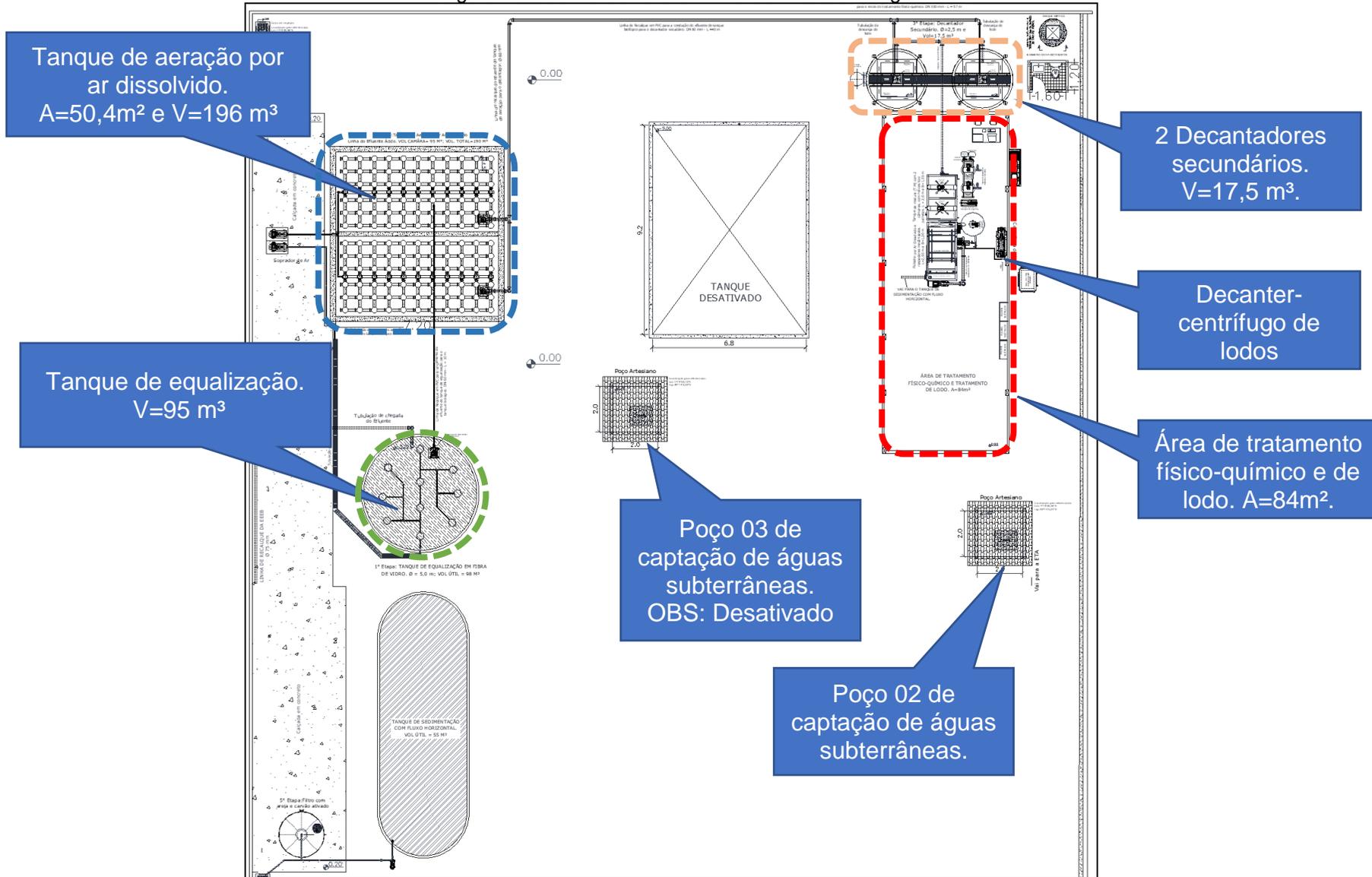
Na ETE, uma vez na semana, os operadores realizam a lavagem do tanque de mistura e do flotor, ambos equipamentos são responsáveis pelo tratamento físico-químico, além da lavagem do tanque de acúmulo de espuma e da decanter-centrifugo de lodo. Após a lavagem dos equipamentos, os operadores realizam a lavagem da área de pisos que se encontram instalados os equipamentos responsáveis pelo tratamento físico-químico do efluente e do lodo. Essas atividades acontecem, geralmente, aos sábados (ver Quadro 12) e possuem duração de 4 horas, aproximadamente.

Todos efluentes gerados nessas atividades são coletados por uma canaleta circundante à área do tratamento físico-químico e bombeado para o tanque de equalização presente no início do tratamento da ETE da fábrica.

Quanto às características qualitativa, a água utilizada nas atividades rotineiras da ETE é desprovida de qualquer forma de tratamento, ou seja, a água é captada do poço de águas subterrâneas e direcionada para um reservatório elevado de 500L, entretanto a água apresenta qualidades satisfatórias, ou seja, os parâmetros qualitativos encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pela resolução 396 (CONAMA, 2008).

Na Figura 25 segue a planta baixa da ETE da fábrica de refrigerantes estudada, neste layout pode ser visualizado a disposição, áreas e volumes das unidades de tratamento na área da estação.

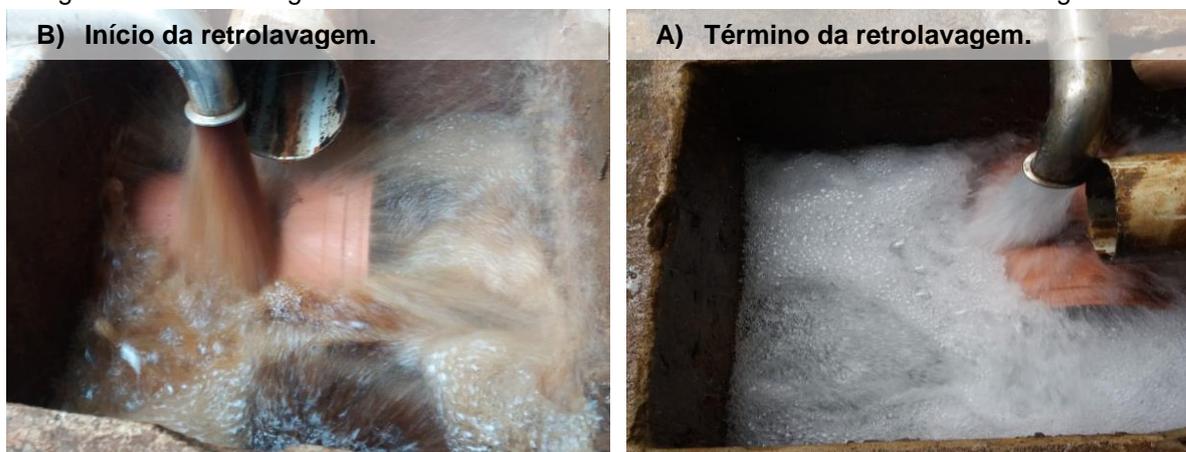
Figura 25 - Planta baixa da ETE da fábrica de refrigerantes.



5.1.2.5. Estação de tratamento de água

Na ETA da fábrica de refrigerantes a principal atividade consumidora água é a retrolavagem dos filtros de areia, filtro de carvão ativado e filtro de membrana de celulose. Essa atividade ocorre, geralmente, uma vez por semana, entretanto, esporadicamente, conforme a necessidade, ocorrem duas retrolavagens dos filtros no decorrer de uma semana. Na Figura 26 seguem as imagens do efluente despejado durante a retrolavagem do filtro de areia e carvão ativado.

Figura 26 - Retrolavagem do filtro de areia e carvão ativado da ETA da fábrica de refrigerantes.



As durações das retrolavagens dos filtros são, em média, de 60 minutos para cada filtro da ETA. O tempo excessivo das lavagens dos filtros causam uma grande geração de efluentes. Para tanto, são necessários a redução do tempo de lavagem e o aumento do número de lavagens que ocorrem na semana. Mais adiante, foi investigado, neste trabalho, a possibilidade da redução do tempo de lavagem destas unidades de filtração presentes na ETA da fábrica de refrigerantes.

Todo o efluente gerado no processo de lavagem são direcionados para a galeria de drenagem. As vazões operacionais das retrolavagens dos filtros da ETA da fábrica de refrigerantes são apresentadas e discutidas na etapa do balanço hídrico deste trabalho, bem como na etapa de caracterização qualitativa de águas de reúso são expostos os resultados das análises de água deste efluentes realizados conforme a metodologia descrita no item 4.4.2 deste trabalho.

5.1.3. Identificação dos pontos de consumo de água

Finalizada a etapa de levantamento de campo e conhecimento das rotinas operacionais da fábrica de refrigerantes, foram identificadas as máquinas e equipamentos que demandam água e que geram efluentes durante a produção dos refrigerantes. No Quadro 13 seguem todos os pontos identificados nas etapas do processo produtivo do refrigerante que utilizam água durante as suas respectivas operações, além das atividades geradoras de efluentes.

Quadro 13 - Máquinas, equipamentos e atividades consumidoras de água e geram efluentes.

Etapas do processo produtivo	Máquinas e Equipamentos presentes nas etapas do processo produtivo	Máquinas e equipamentos consumidores de água	Atividades que demandam água e geram efluentes
Produção do xarope simples	Tanque de água quente	Tanque de água quente	Lavagem de pisos
	2 Tanques de dissolução de açúcar		
	Tanque de soda caustica	Filtro de xarope simples	Lavagem dos tanques de preparo do xarope simples
	Tanque de ácido nítrico		
	Tanque de Cloro		Trocador de calor
	Filtro de xarope simples	Lavagem dos filtros	
Trocador de calor			
Produção do xarope composto	4 tanques de mistura e formulação	4 tanques de mistura e formulação	Lavagem de pisos
	2 Tanques de estocagem de xarope composto		Lavagem dos tanques de preparo do xarope composto
	2 conjuntos moto-bomba		
Preparo das garrafas de vidro e PET	Lavadora de garrafa de vidro	Lavadora de garrafa de vidro	Despejo de efluente alcalino da lavadora de garrafas de vidro
	Máquina de sopro de pré-formas PET		Lavagem das máquinas e equipamentos
	Máquina de <i>Rinse</i>	Máquina de <i>Rinse</i>	Enxague de garrafas PET
	Esteiras de transporte de garrafas		Lavagem de pisos
Envase	2 Carbo Mix (1 tanque de água + 1 tanque de xarope composto)	2 Carbo Mix	Lavagem do Carbo Mix
	2 Cuba de Mistura (1 Tanque de água + 1 Tanque de xarope composto com CO ₂)		Lavagem da Cuba de Mistura
	3 Envasadoras de refrigerantes	2 Cuba de Mistura	Lavagem de pisos
			Lavagem de bicos injetores da máquina envasadora
Arrolhamento, rotulagem e embalagem	Máquina de arrolhar	---	Lavagem de pisos
	Máquina de rotular	---	
	Máquina de embalar	---	
Laboratório de controle e qualidade	Equipamentos laboratoriais	---	Lavagem de pisos
		---	Lavagem de vidrarias

Conforme o Quadro 13, com exceção da etapa que envolve o arrolhamento, rotulagem e empacotamento das garrafas PET e de vidro, todas as fases do processo produtivo do refrigerante possuem equipamentos que consomem água. Além disso, em todas as etapas ocorrem as atividades de limpeza dos equipamentos e da área de pisos da fábrica. Essas atividades ocorrem de maneira intensa quando há trocas de sabores de refrigerantes que serão produzidos, pois sempre que isso acontece, os tanques de preparo do xarope composto, *carbo mix*, cuba de mistura e máquina de envase devem ser lavados de forma efetiva para que não haja mistura entre os produtos com sabores distintos.

Na lavagem dos pisos foi observado que nessas atividades ocorrem os maiores desperdícios de água, por conta da negligência de funcionários com o uso da água durante a execução desse serviço. Nos demais locais a lavagem de pisos e equipamentos ocorrem conforme a necessidade de limpeza.

Ainda foi observado que a lavadora de garrafas de vidro é um dos maiores consumidores de água da fábrica e, conseqüentemente, um dos maiores geradores de efluentes. Além disso, essa máquina de lavagem requer uma linha de distribuição de água exclusiva.

Na ETA e ETE o consumo de água ocorre principalmente na lavagem dos equipamentos, na produção de solução mãe de coagulantes, floculantes e hipoclorito de sódio, bem como na lavagem de pisos e retrolavagem dos filtros de areia e carvão ativado presentes da ETA.

Outros pontos de consumo de água na fábrica de refrigerantes são provenientes do uso com características domésticas, tais como: vestiários, banheiros do setor administrativos e refeitório. Além disso, há o consumo de água requerida para a produção de vapor (caldeiras) e torres de resfriamento.

No Quadro 14 seguem todos os pontos de consumo de água e geração de esgoto nos setores: administrativo, caldeiraria, área de refrigeração, ETE e ETA. Ademais, são identificados os locais, máquinas, equipamentos e atividades que consomem água e geram efluentes nestes setores.

Quadro 14 - Identificação dos consumidores de água e geração de efluentes nos setores da fábrica de refrigerantes.

Setor	Locais, máquinas ou equipamentos que demandam água	Atividades que demandam água e geram efluentes
Administração	Vestiários masculino	Lavagem de pisos, descargas e chuveiros
	Vestiários feminino	
	Refeitório	Preparo das refeições e lavagem de pisos
	Banheiro da diretoria	Lavagem de pisos e descargas
	Copa cozinha	Uso da pia
Caldeira e torres de resfriamento	Cadeira para geração de vapores	Água para geração de vapor
	Torres de resfriamento	Água para o resfriamento de calda base do xarope simples
ETE	Soluções de floculantes	Preparo de solução de polímeros
	Tanque de mistura, flotor e centrífuga de lodo	Lavagem das máquinas e equipamentos do tratamento físico-químico
	Área do tratamento físico-químico e de tratamento de lodo	Lavagem de pisos
ETA	Gerador de cloro	Preparo de solução de hipoclorito de sódio
	Unidade de filtração	Retrolavagem de filtros

De acordo com o Quadro 14 pode ser constatado que além das atividades presentes no setor produtivo, existem outras atividades nos demais setores da fábrica que consomem água. As vazões de consumo desses setores foram apresentadas na segunda etapa da metodologia utilizada neste trabalho, além disso foi analisada a representatividade e o impacto destes consumos nos indicadores de desempenho ambiental selecionados.

Maiores detalhes e quantificações da vazão de água requeridas nas máquinas, equipamentos, setor administrativo, vestiários, refeitórios, ETE e ETA foram discutidos na etapa do balanço hídrico no presente neste trabalho.

5.2. BALANÇO HÍDRICO

Neste item são apresentados os resultados obtidos nas campanhas de medição de vazão, bem como os resultados obtidos nas análises estatísticas, além da construção do diagrama de blocos expondo as vazões de água e efluentes industriais e domésticos em cada setor da fábrica de refrigerante.

5.2.1. 1° Campanha de medição de vazão

A primeira campanha de medição de vazão envolveu apenas o maior poço de captação de águas subterrâneas. Na Tabela 5 seguem os resultados obtidos na campanha de após a execução da atividade na fábrica de refrigerantes.

Tabela 5 - Resultados da 1° campanha de medição de vazão no poço 02 da fábrica de refrigerante.

N° medição	Q (m³/d)	N° medição	Q (m³/d)	N° medição	Q (m³/d)
1	229	11	252	21	156
2	267	12	261	22	208
3	256	13	215	23	256
4	334	14	262	24	344
5	198	15	194	25	187
6	201	16	284	26	308
7	220	17	204	27	290
8	250	18	233	28	274
9	231	19	239	29	374
10	275	20	248	30	254

Analisando a Tabela 5 nota-se a grande variação no consumo de água da fábrica que ocorreu durante o período de medição de vazão, cujos valores variaram de 156 a 374 m³/d, isto ocorreu em função da variação da quantidade de refrigerante que é produzida na fábrica nos dias das medições. Outro fator que impacta no consumo de água são os problemas que acontecem diariamente na fábrica, tais como: quebra de alguma máquina ou equipamento, bem como a manutenção deles; número de trocas de sabores que são produzidos; número de máquinas enchedoras que estão em operação; número de lavagens pisos, máquinas e equipamentos.

5.2.2. 1º análise estatística

Coletados os dados de vazão de captação de água subterrâneas da fábrica de refrigerante, foi realizado a primeira etapa de análise dos testes estatísticos. Os resultados obtidos seguem na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados da primeira análise estatística.

Teste estatísticos	Ferramentas	Resultados	Unid
Estatística descritiva	Mínimo	156,00	m ³ /d
	Média	250,10	m ³ /d
	Mediana	251,00	m ³ /d
	Máximo	374,00	m ³ /d
	Desvio Padrão	48,25	-
	Variância	2327,64	-
-Teste de Normalidade	Ryan – Joiner P-valores	0,9817 0,3282	-
Tamanho de amostra	Intervalo de confiança	90	Dados

Conforme a Tabela 6 a vazão média diária da fábrica de refrigerantes é de 250,1 m³/d. Destaca-se a grande variabilidade que ocorre diariamente na fábrica de refrigerantes, visto que a vazão mínima foi de 156 m³/d e a máxima de 374 m³/d. Em função da variabilidade dos resultados, foi obtido um desvio padrão de 48,25, o que significa que os valores amostrais encontram-se dispersos em torno da média, indicando uma amostra não homogênea.

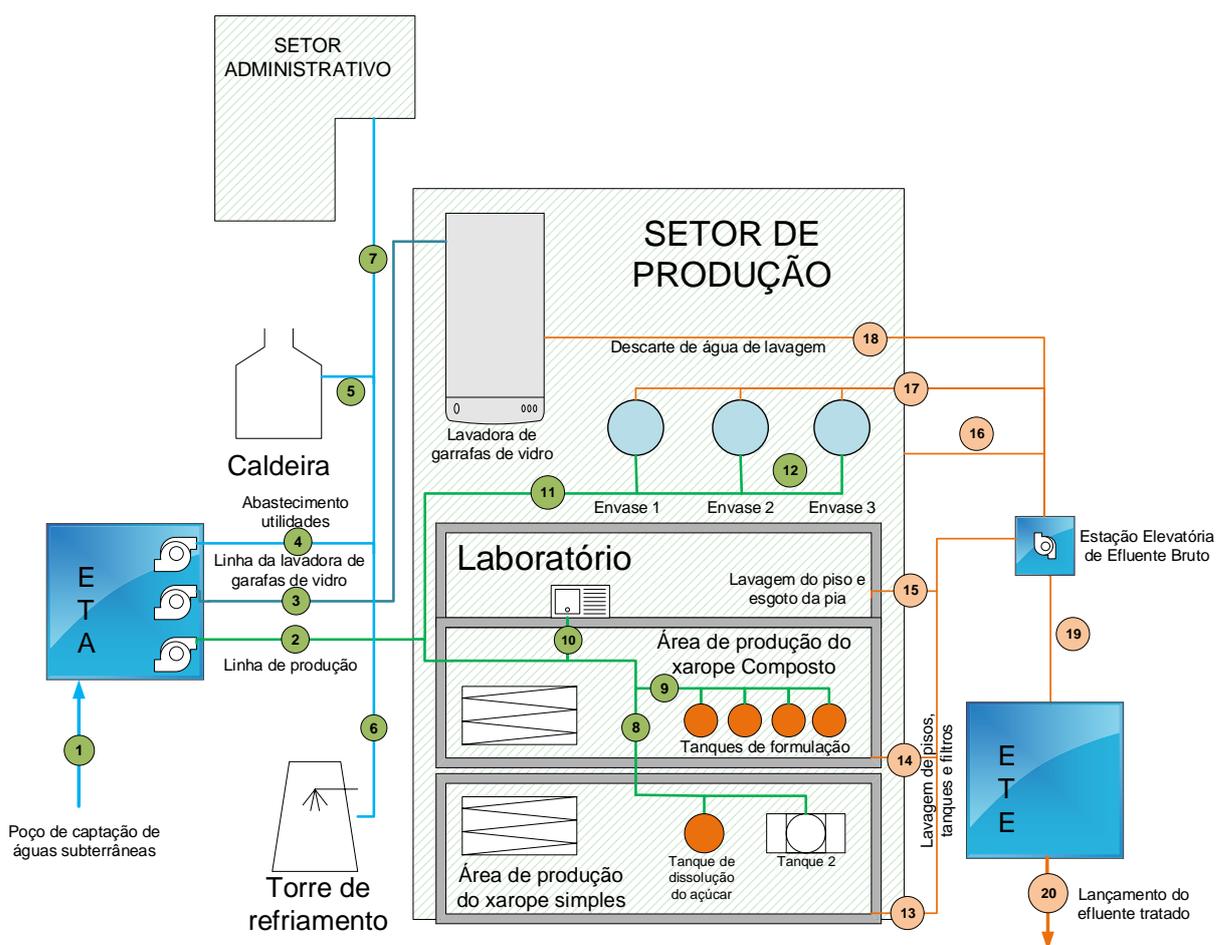
Quanto ao teste de normalidade, utilizando a técnica de Ryan-Joiner o resultado foi de 0,9817. Desta forma, o teste indica que a população amostral tende a ser normal, devido o valor ser próximo a 1. Ademais, nestes resultados, a hipótese nula dos dados segue uma distribuição de normal, em função do valor de P-valores ser de 0,3281, sendo este resultado maior do que o nível de significância de 0,05, desta forma não é rejeitada a hipótese nula.

Na determinação do tamanho de amostra que compuseram a 2º campanha de medição de vazão, o resultado obtido foi de 90 dados de vazão. O resultado do tamanho amostral foi obtido utilizando um erro amostral de no máximo 0,05 e nível de confiança de 95%.

5.2.3. 2º Campanha de medição de vazão

Ao término da etapa de diagnóstico do processo produtivo foram identificados os pontos de consumo de água e geração de efluentes. Ao todo foram identificados 20 pontos, dentre consumo de água e geração de efluentes, para compor o balanço hídrico da fábrica de refrigerantes. Esses pontos são expostos na Figura 27.

Figura 27 - Pontos de medição de vazão de água e efluentes.



Legenda:

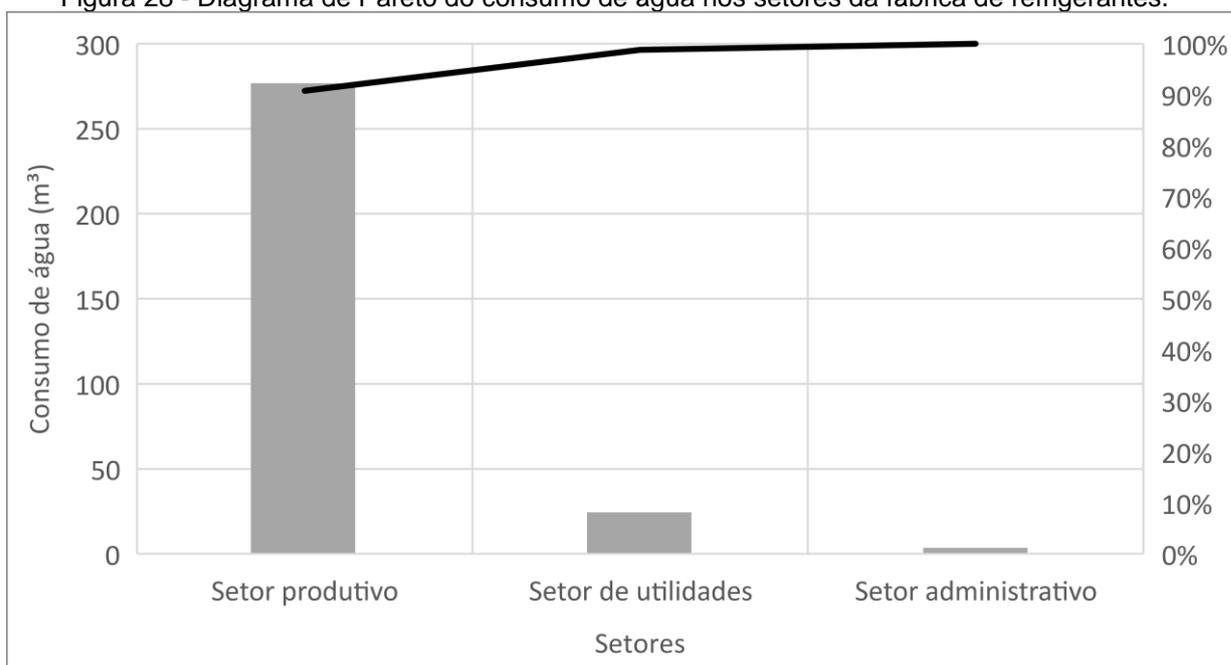
- | | |
|--|--|
| 1- Poço de captação de águas subterrâneas | 11- Linha de abastecimento do envase |
| 2- Linha de abastecimento do setor produtivo | 12- Linha de abastecimento do <i>rinse</i> |
| 3- Linha de abastecimento da lavadora de garrafas de vidro | 13- Efluentes gerados na área do xarope simples |
| 4- Linha de abastecimento de utilidades | 14- Efluentes gerados na área xarope composto |
| 5- Linha de abastecimento da caldeira | 15- Efluentes gerados na área do laboratório |
| 6- Linha de abastecimento da torre de resfriamento | 16- Efluentes gerados na área de envase |
| 7- Linha de abastecimento do setor administrativo | 17- Efluentes do <i>rinse</i> |
| 8- Linha de abastecimento do xarope simples | 18- Efluentes gerados pela máquina de lavagem de garrafas de vidro |
| 9- Linha de abastecimento do xarope composto | 19- Bombeamento do efluente bruto |
| 10- Linha de abastecimento do laboratório | 20- Lançamento do efluente tratado |

Com base nas premissas deste trabalho, no Quadro 15 seguem os resultados das medições de vazão em cada ponto identificado na Figura 27. Mais adiante, na Figura 28, pode ser visualizado o diagrama de Pareto envolvendo todos os setores do empreendimento.

Quadro 15 – Resultados do balanço hídrico.

ID	Descrição do local	Vazão (m³/d)		
		Média	Mín	Máx
1	Captação de água bruta	291,8	155,0	422,0
2	Linha de abastecimento do setor produtivo	276,8	127,8	524,5
3	Linha de abastecimento da lavadora de garrafas de vidro	21,6	2,3	138,2
4	Linha de abastecimento de utilidades	24,5	9,8	42,4
5	Linha de abastecimento da caldeira	13,3	2,2	25,2
6	Linha de abastecimento da torre de resfriamento	1,5	1,5	1,5
7	Linha de abastecimento do setor administrativo	3,7	3,7	3,7
8	Xarope simples	46,8	27,2	75,5
9	Xarope composto	40,4	25,6	67,9
10	Linha de abastecimento do laboratório	0,2	0,2	0,2
11	Envase	189,6	75,1	381,1
12	Linha de abastecimento do <i>rinse</i>	23,3	7,1	40,8
13	Efluentes gerados na área da xaroparia simples	31,2	17,6	55,2
14	Efluentes gerados na área da xaroparia composto	38,4	24,3	64,5
15	Efluentes gerados na área do laboratório	0,1	0,1	0,1
16	Efluentes gerados na área de envase	75,8	37,2	199,8
17	Efluentes do <i>rinse</i>	17,64	5,4	30,9
18	Efluentes da máquina de lavagem de garrafas de vidro	20,2	2,1	129,0
19	Linha de recalque de efluente bruto	127,88	66,4	266,3
20	Linha de lançamento do efluente tratado	104,8	28,8	165,6

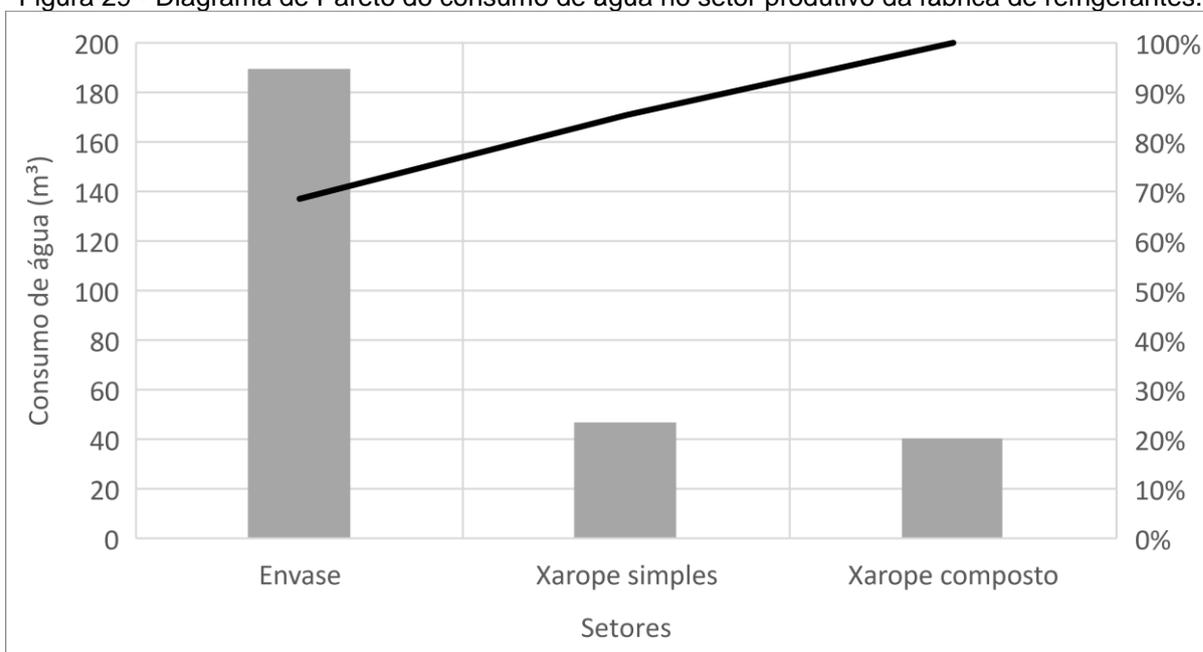
Figura 28 - Diagrama de Pareto do consumo de água nos setores da fábrica de refrigerantes.



No diagrama de Pareto de análise do consumo de água dos setores da fábrica de refrigerantes, fica evidente que o setor produtivo é o maior consumidor de água do empreendimento. Este setor representa cerca de 94% do consumo total de água do empreendimento. Os setores de utilidades e administrativos, não possuem grandes representatividades, e requerem 5% e 1%, respectivamente.

Como o setor produtivo é o maior consumidor de água da fábrica, as maiores probabilidades de encontrar oportunidades de reaproveitamento ou reúso da água estão presentes neste setor. Para ter conhecimento da distribuição do consumo de água no referido setor, na Figura 29 segue o diagrama de Pareto composto pelo consumo de água de cada etapa componente do setor produtivo do refrigerante.

Figura 29 - Diagrama de Pareto do consumo de água no setor produtivo da fábrica de refrigerantes.



Dentre as 3 etapas investigadas, o envase do refrigerante é a etapa do processo produtivo com maior consumo de água, representando cerca de 64% da água tratada que é direcionada para o setor produtivo da fábrica. Em seguida, com aproximadamente, 20% e 16% do consumo de água do referido setor vêm as etapas de produção do xarope simples e xarope composto, respectivamente.

O maior consumidor da etapa de envase do refrigerante é a de adição de água no xarope composto. Essa atividade está diretamente relacionada com a formulação do refrigerante, sendo assim, ela não é passível de qualquer alteração para a redução de consumo de água na referida etapa.

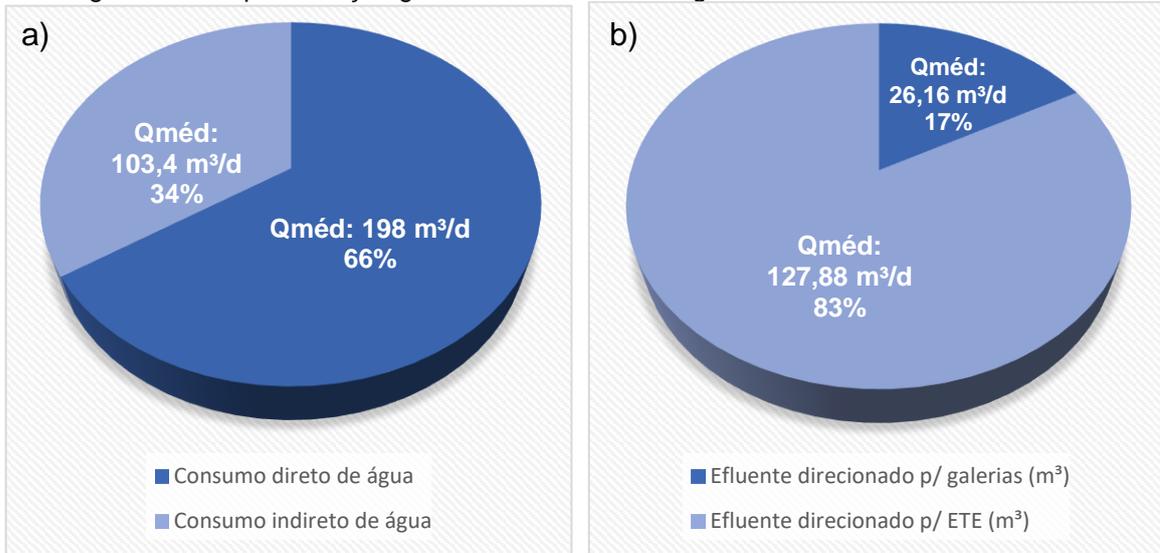
Outras atividades presentes na etapa de envase do refrigerante que requerem grandes quantidades de água são: o *rinse* e a máquina de lavagem de garrafas de vidro. Para essas atividades são direcionados, em média, 23,3 e 21,65 m³/d de água, respectivamente. Porém, como o consumo de água nessa atividade depende do número de garrafas que foram lavadas, os valores máximos alcançaram 40,8 m³/d para o *rinse* e 138,2 m³/d para a lavadora de garrafas retornáveis. Essas atividades resultaram em relações de l.água/garrafa lavada de 0,33 e 0,75 litros para garrafas PET e retornáveis, respectivamente.

Para as xaroparias simples e composto são demandadas, em média, 35,0 e 26,5 m³/d. Na etapa de produção do xarope simples o maior consumidor do recurso hídrico é a produção da calda base. O consumo de água dessa atividade está diretamente relacionado com a produção de refrigerante programada para ser produzida, entretanto, em média, são direcionados 14 m³.água/d para essa etapa. As demais atividades consumidoras de água na área de produção do xarope simples são a lavagem de piso, sanitização e CIP, essas atividades consomem 12,2, 16,5 e 8,10 m³/d, respectivamente.

Com 45,5% (18,36 m³/d) da demanda total destinada para a área de formulação do xarope composto, a lavagem de piso corresponde ao segundo maior consumo de água. O alto consumo de água exigidos na lavagem do piso são decorrentes do grande número de lavagens, entre 5 e 7 vezes ao longo dia. Assim, poderão ser implantadas medidas para reduzir o consumo de água dessa atividade, tais soluções são citadas mais adiante neste trabalho. As outras atividades consumidoras de água são a sanitização (18,88 m³/d) e CIP (6,30 m³/d) que representam 46,7% e 7,8% do consumo de água exigidos na produção do xarope composto.

Levando em consideração as vazões médias de cada atividade considerada no balanço hídrico do empreendimento, na Figura 30 seguem duas representações gráficas contendo os percentuais do consumo de água utilizada diretamente e indiretamente na produção do refrigerante, bem como para a geração de efluentes, no qual serão conhecidas os percentuais de efluentes que são direcionados para ETE e galeria de águas pluviais.

Figura 30 – Representação gráfica do consumo de água e direcionamento de efluentes.

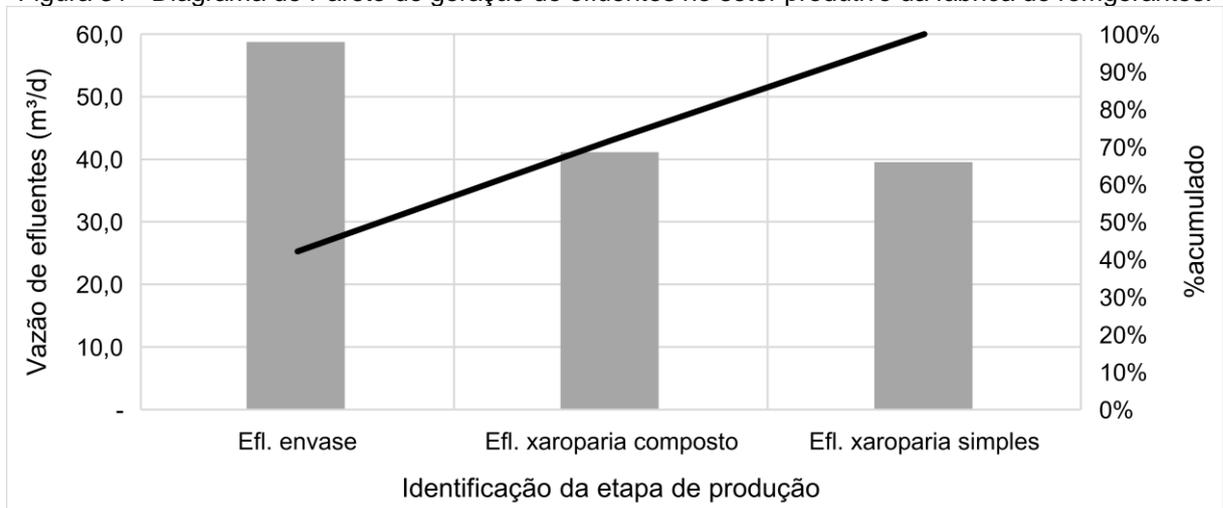


Baseado na Figura 30 (a) nota-se que 66% do consumo total de água da fábrica está ligada diretamente com a produção de refrigerante. Os 34% restantes são consumidos pelos demais setores do empreendimento, atividades de lavagem de pisos, limpezas e higienização de equipamentos.

Para o efluente, 17% é direcionado para as galerias de águas pluviais, ou seja, o líquido não passa por nenhum tipo de tratamento antes do lançamento final. No entanto, a vazão média de 127,88 m³/d (83%) do efluente bruto gerado na fábrica é conduzido para a ETE para ser tratado e, posteriormente, despejado na galeria de águas pluviais.

Na Figura 31 segue o diagrama de Pareto da geração de efluentes no setor produtivo da fábrica de refrigerantes. Nele poderá ser visualizado as vazões de geração de efluentes, bem como o percentual acumulado que representa cada etapa de produção.

Figura 31 - Diagrama de Pareto de geração de efluentes no setor produtivo da fábrica de refrigerantes.



Quanto a geração de efluentes na área de produção, nota-se que no diagrama de Pareto da Figura 31 a geração de efluentes na etapa de envasamento seguiu as mesmas proporções do consumo de água, sendo gerados, em média, 58,8 m³/d de efluentes na etapa de envase, essa vazão representa 43% do volume de esgoto gerado no setor de manufatura.

Quanto às xaroparias, a etapa de formulação do xarope composto tem os maiores valores de geração de efluentes quando comparados com o xarope simples. Isto ocorre em função do número de lavagens do piso que acontecem ao longo dia, serem maiores na área de preparo do xarope composto, além disso no local estão presentes 6 tanques de formulação o que exigem maiores quantidades de água durante as lavagens destes equipamentos.

5.2.4. 2º análise estatística

5.2.4.1. Estatística descritiva

Os resultados da estatística descritiva estão em anexo neste trabalho. As planilhas possuem os cálculos estatísticos para cada um dos 20 pontos onde foram determinadas as vazões operacionais. Igualmente ao 1º teste estatístico efetuado neste trabalho, em função da variabilidade dos resultados obtidos, a captação de água bruta e geração de efluentes apresentaram valores elevados de desvio padrão, portanto os valores amostrais estão bem distribuídos em torno da média, indicando uma amostra não homogênea.

É importante ressaltar que a grande variação na vazão de captação de água e na geração de efluentes está diretamente ligada com a produção de refrigerantes, ou seja, há uma grande variação na quantidade da bebida produzida diariamente, conseqüentemente, ocorrem oscilações no consumo de água e geração de efluentes.

Para simplificar os resultados estatísticos obtidos nesta etapa do trabalho foram elaborados dois gráficos *box plot*, sendo um referente ao consumo de água e o outro a geração de efluentes. Os gráficos expõem os resultados dos três setores da fábrica, entretanto, para o setor produtivo estão presentes os resultados das três etapas que o compõem. Contudo, neste setor, poderá ser verificado as maiores diferenças entre as vazões mínimas e máximas, enquanto nos outros setores ocorrem oscilações menos expressivas. Assim, nas Figuras 32 e 33 poderão ser visualizados os resultados obtidos.

Figura 32 - Gráfico *box plot* do consumo de água nos setores da fábrica.

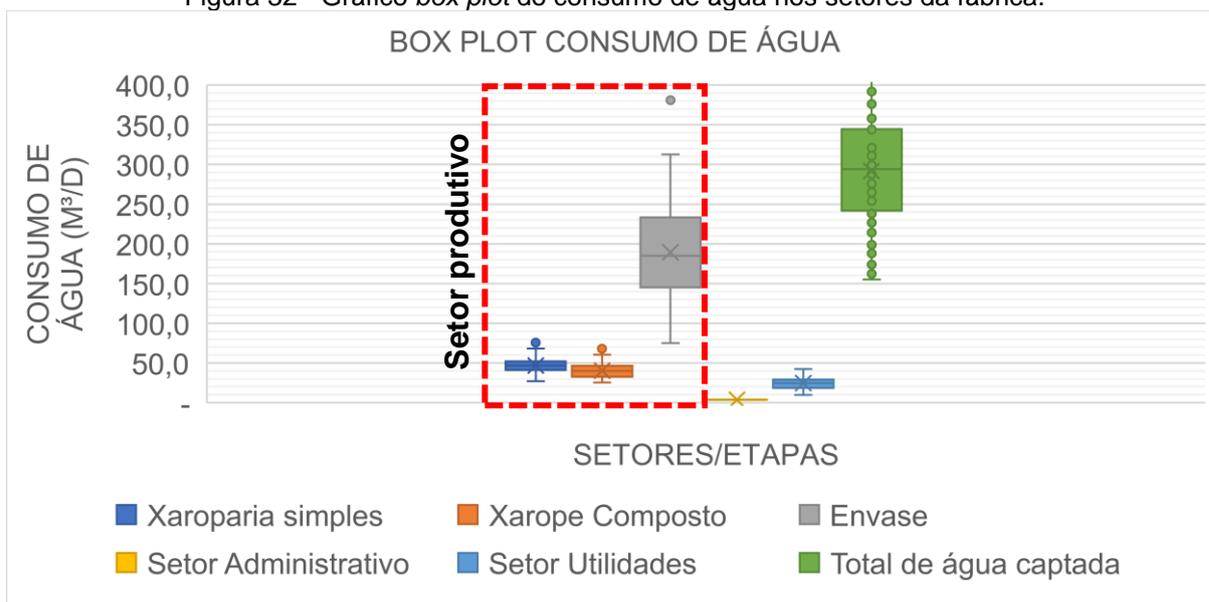
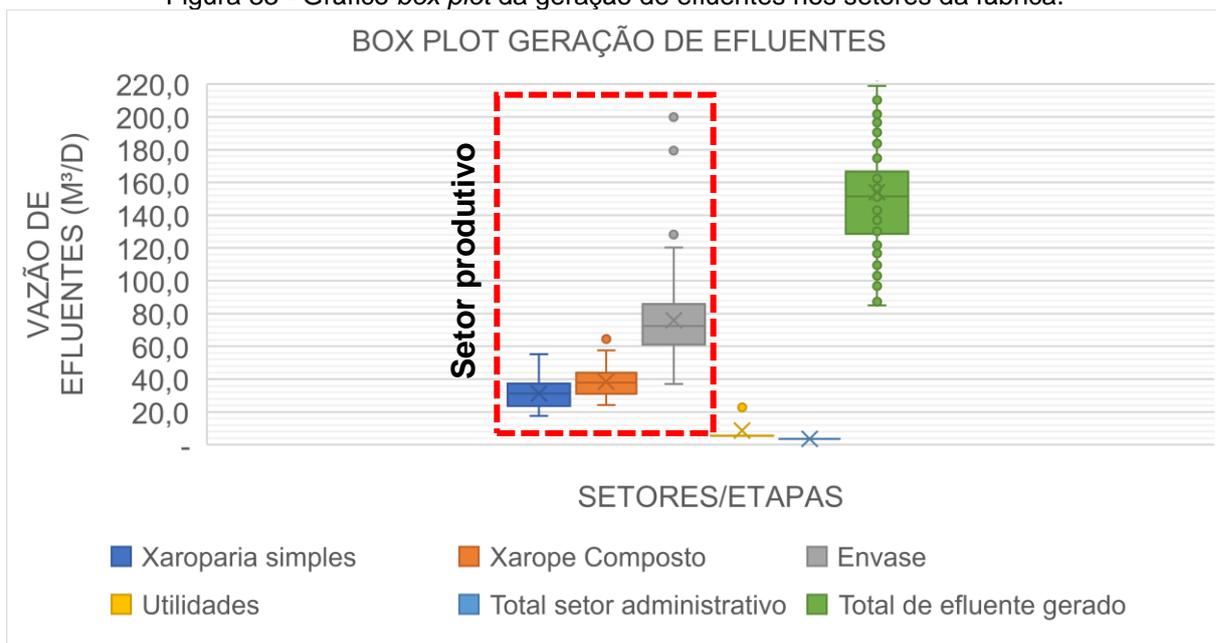


Figura 33 - Gráfico *box plot* da geração de efluentes nos setores da fábrica.



Analisando o gráfico da Figura 32 nota-se que, igualmente ao diagrama de Pareto, a etapa de envase apresentou as maiores vazões de consumo, bem como no *box plot* a referida etapa possui as maiores variações tanto na vazão de consumo de água quanto na geração de efluentes. Nesta etapa, considerando os quartis da análise estatística, a vazão de água oscilou de 75,0 a 312,75 m³/d, entretanto, teve a ocorrência de um outlier de 381,0 m³/d. Analisando as atividades que compõem a vazão final direcionada para a etapa de envase, foi observado que esta alta vazão

ocorreu em função do funcionamento intenso da lavadora de garrafas retornáveis que demandou cerca de 36% (136,2 m³/d) da vazão total destinada para o setor produtivo.

Ainda avaliando as atividades que estão ligadas diretamente e indiretamente com a produção de refrigerante, foram elaborados gráficos *tree map* para identificar as maiores atividades consumidoras de água e, por conseguinte, geração de efluentes. Os gráficos seguem nas Figuras 34 e 35.

Figura 34 - Gráfico *tree map* da vazão média de água (m³/d) das atividades indiretas.

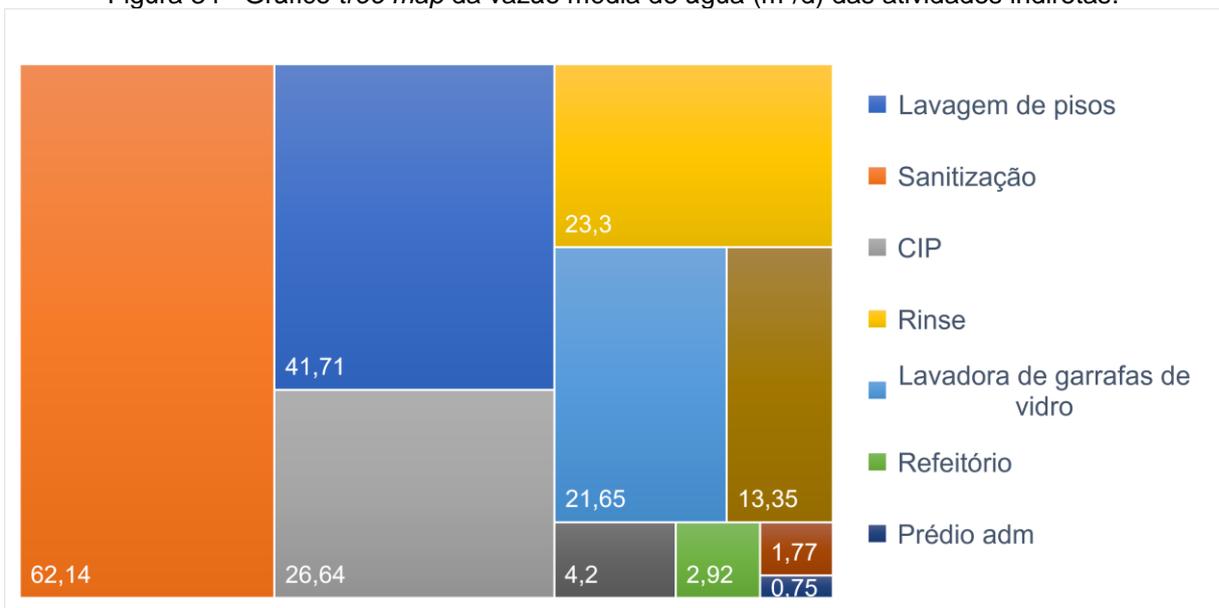
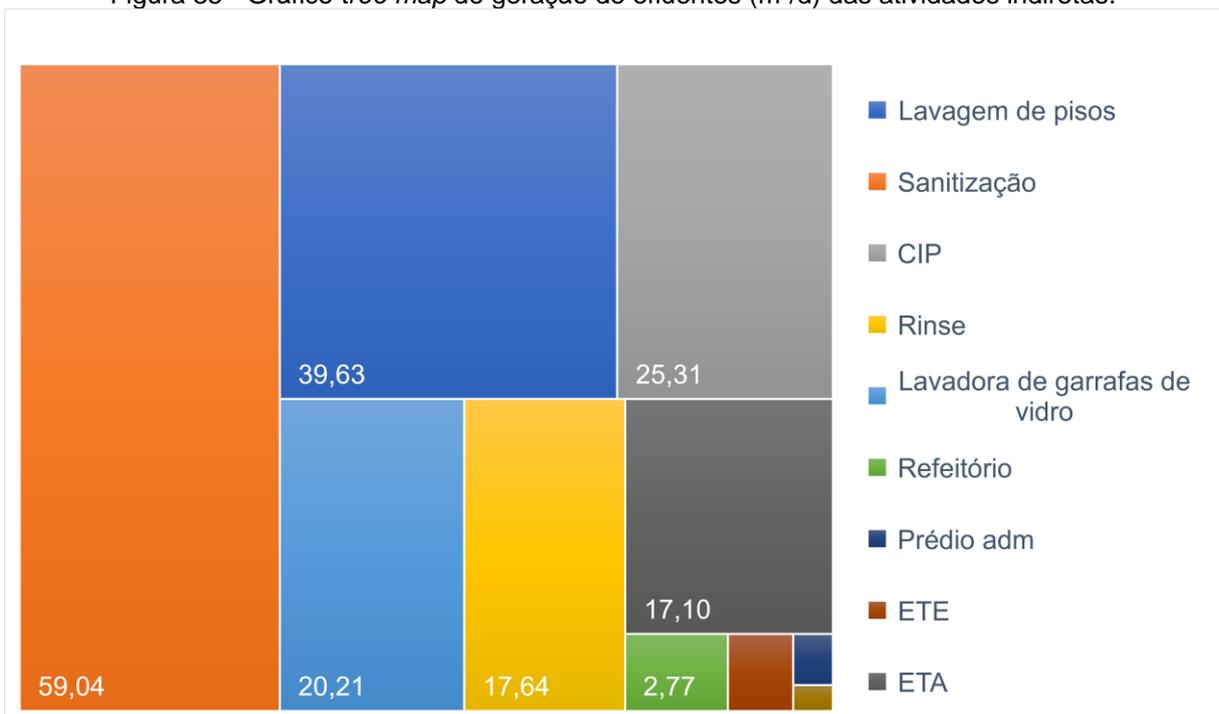


Figura 35 - Gráfico *tree map* de geração de efluentes (m³/d) das atividades indiretas.



É possível observar nos gráfico *tree map* que a sanitização, lavagem de pisos, *rinse* e lavagem de garrafas retornáveis são atividades com os maiores consumos de água e geração de efluentes da fábrica de refrigerantes. Contudo, neste trabalho, foram obtidas as mesmas conclusões que Imoobe & Okoye (2011), na qual afirmam que grande parte das vazões de efluentes geradas nas indústrias de refrigerantes são ocasionadas pelos despejos de águas de lavagem de tanques das linhas de garrafas de vidro e tanques de preparo de xaropes, presentes nas linhas de produção do refrigerante. Além disso, na pesquisa desenvolvida por Fatah *et al.* (2009), foi concluído que a lavagem de pisos, a lavagem de garrafas de vidro e PET's são os principais meios de consumo de água e geração de efluentes.

A sanitização representa 31% do consumo de água das atividades que compõem os gráficos *tree map*. Esse consumo expressivo de água ocorre em função do número de produtos que são produzidos na fábrica de refrigerantes. Em média são produzidos 3 tipos de refrigerantes, entretanto, há dias em que ocorrem a produção de até 6 sabores de refrigerantes. Assim, isto impacta diretamente no consumo de água da fábrica, visto que para cada troca de sabor deve ocorrer a sanitização das máquinas e equipamentos presentes em todas as etapas do setor produtivo.

5.2.4.2. Teste de normalidade

As representações gráficas do teste de normalidade de Ryan-Joiner das amostras de medição de vazão de captação de água e geração de efluentes seguem nas Figuras 36 e 37.

Figura 36 – Representação gráfica do teste de normalidade de água captada.

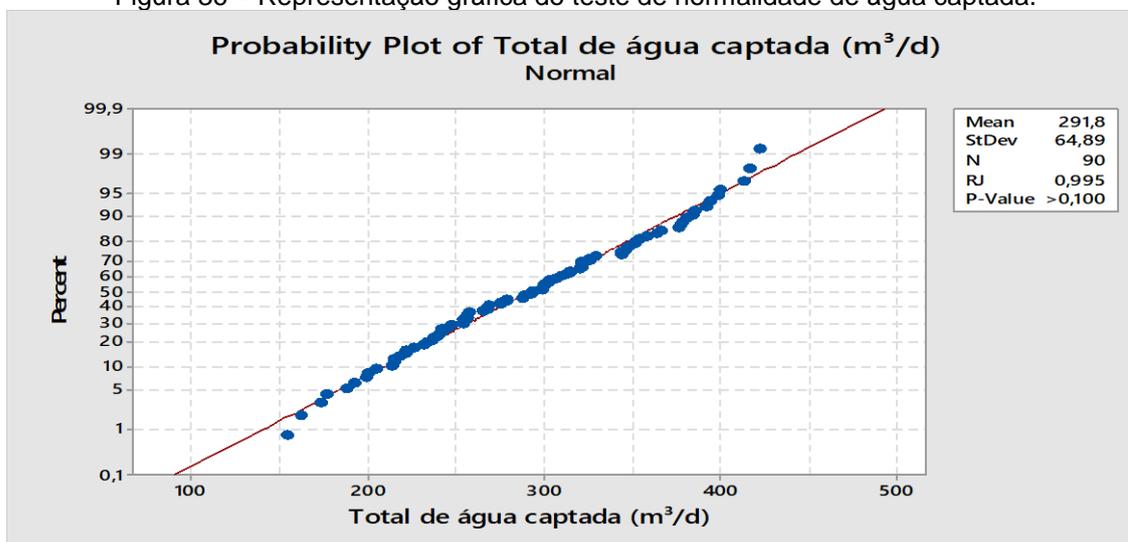
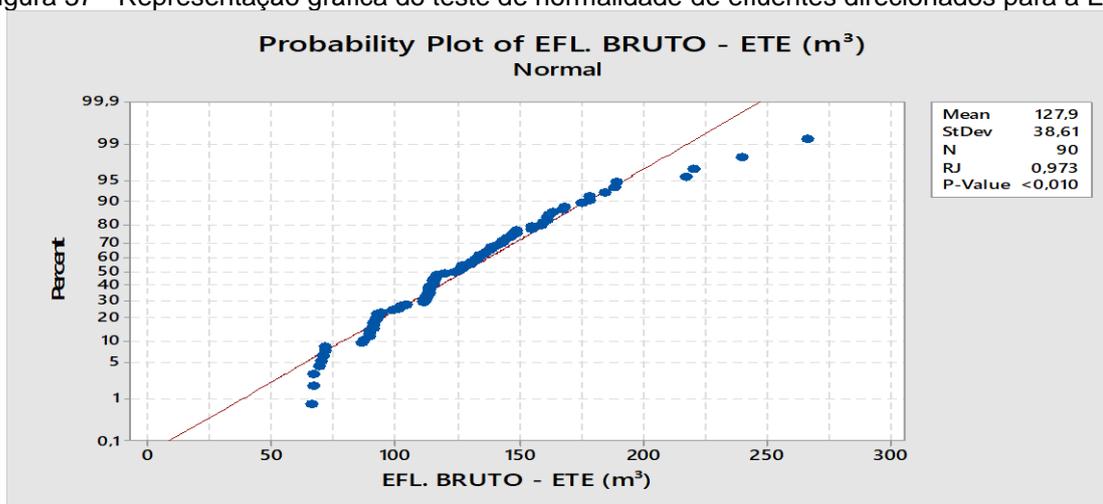


Figura 37 - Representação gráfica do teste de normalidade de efluentes direcionados para a ETE.



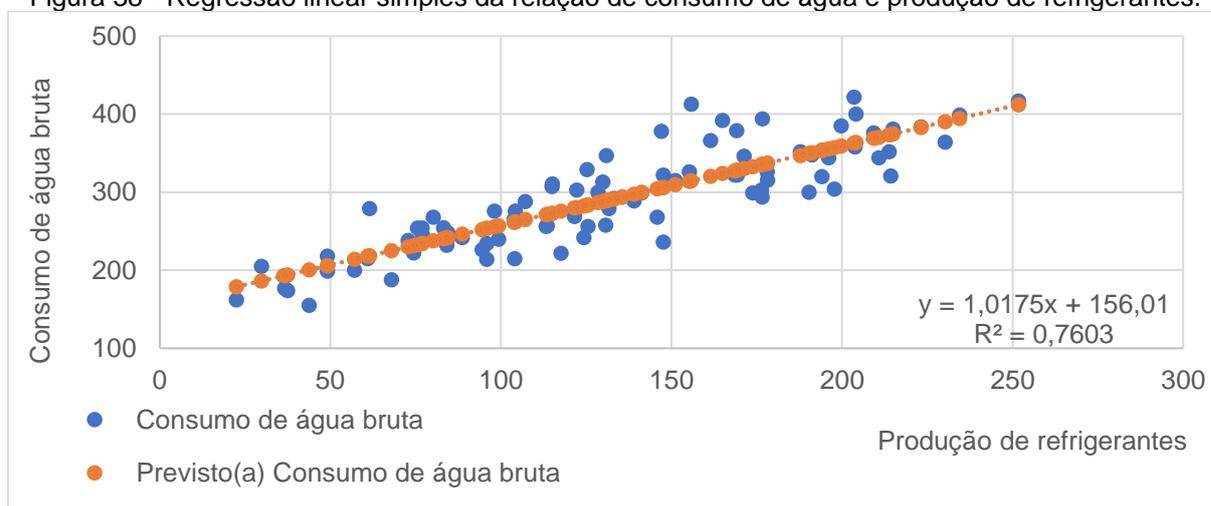
No teste de normalidade de Ryan-Joiner aplicado sobre os resultados obtidos nas totalizações de captação de água bruta e dos efluentes direcionados para a ETE foram obtidos, em ambos os casos, os resultados dos pontos estão distribuídos perto da linha de referência, indicando que os dados seguem uma distribuição normal.

Em outras palavras, com os resultados de 0,995 e 0,973 para captação de água bruta e geração de efluentes, respectivamente, pôde-se concluir que as populações amostrais tendem a ser normais, devido o valor ser próximo a 1.

5.2.4.2. Regressão linear simples

Como parte da análise estatística proposta neste trabalho foi realizado a regressão linear simples entre o consumo de água e a produção de refrigerantes para verificar a relação causa e efeito entre eles. O resultado segue na Figura 38.

Figura 38 - Regressão linear simples da relação de consumo de água e produção de refrigerantes.



A relação entre o consumo de água e a produção de refrigerantes possui um coeficiente R^2 igual a 0,76. Conforme Vanni (1998) este coeficiente de determinação é considerado BOM, ou seja, há uma interação significativa entre as variáveis dos eixos x e y. Assim, a interação entre consumo de água e produção de refrigerantes é significativa, indicando que o efeito da produção de refrigerante no consumo de água está diretamente relacionado.

Levando em consideração o resultado obtido na regressão linear simples com a rotina operacional da fábrica, foi verificado que o poder explicativo da regressão é maior quanto menor for o número de trocas de refrigerantes produzidos, pois quando há trocas de sabores dos refrigerantes, são realizadas as lavagens de pisos, máquinas e equipamentos, ou seja, durante o tempo em que ocorrem essas atividades não está sendo produzido o refrigerante, mas há o consumo de água. Nas Figuras 39 e 40 podem ser visualizados os comportamentos das linhas de tendência da regressão linear simples para a produção de 3 e 2 sabores, respectivamente.

Figura 39 - Regressão linear para a produção de até 3 sabores de refrigerantes em um dia.

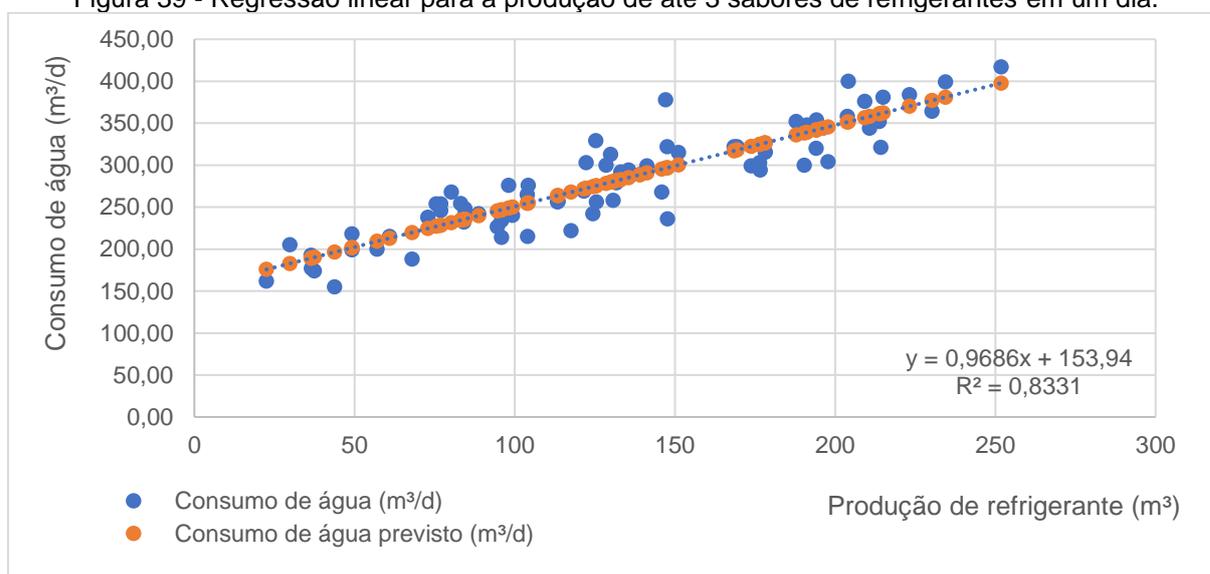
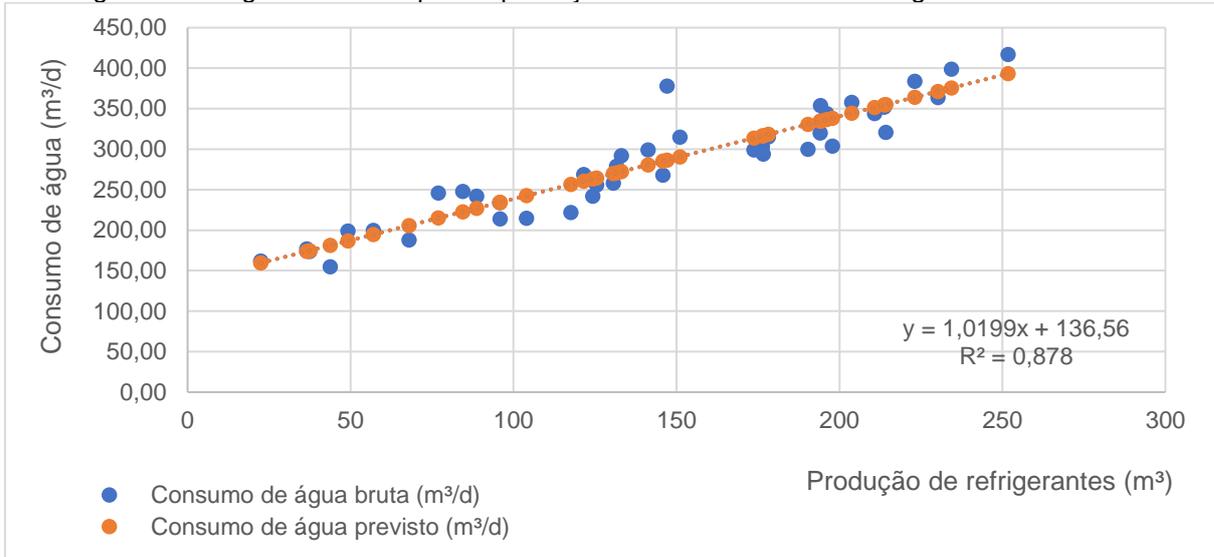


Figura 40 - Regressão linear para a produção de até 2 sabores de refrigerantes em um dia.

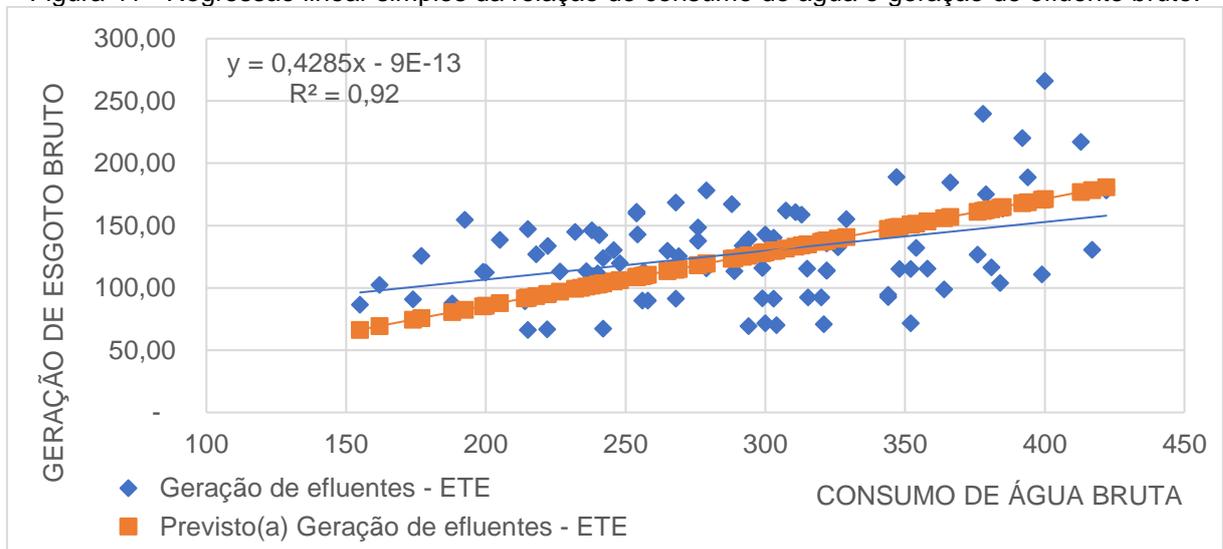


Comparando o resultado da regressão linear da Figura 39 com a classificação dada por Vanni (1998) ela é considerada como “bom”. Ademais, quando são produzidos apenas 2 sabores, o R^2 é elevado para 0,878 sendo enquadrado como “ótimo” na classificação de Vanni (1998).

Assim, pode-se concluir que as variações do consumo de água (eixo y) são explicadas pelas variações da produção de refrigerantes (eixo x) e da quantidade de sabores que são produzidos na fábrica ao longo de um dia de produção.

Na Figura 41 segue a regressão linear da relação entre o consumo de água e a geração de efluentes.

Figura 41 - Regressão linear simples da relação de consumo de água e geração de efluente bruto.

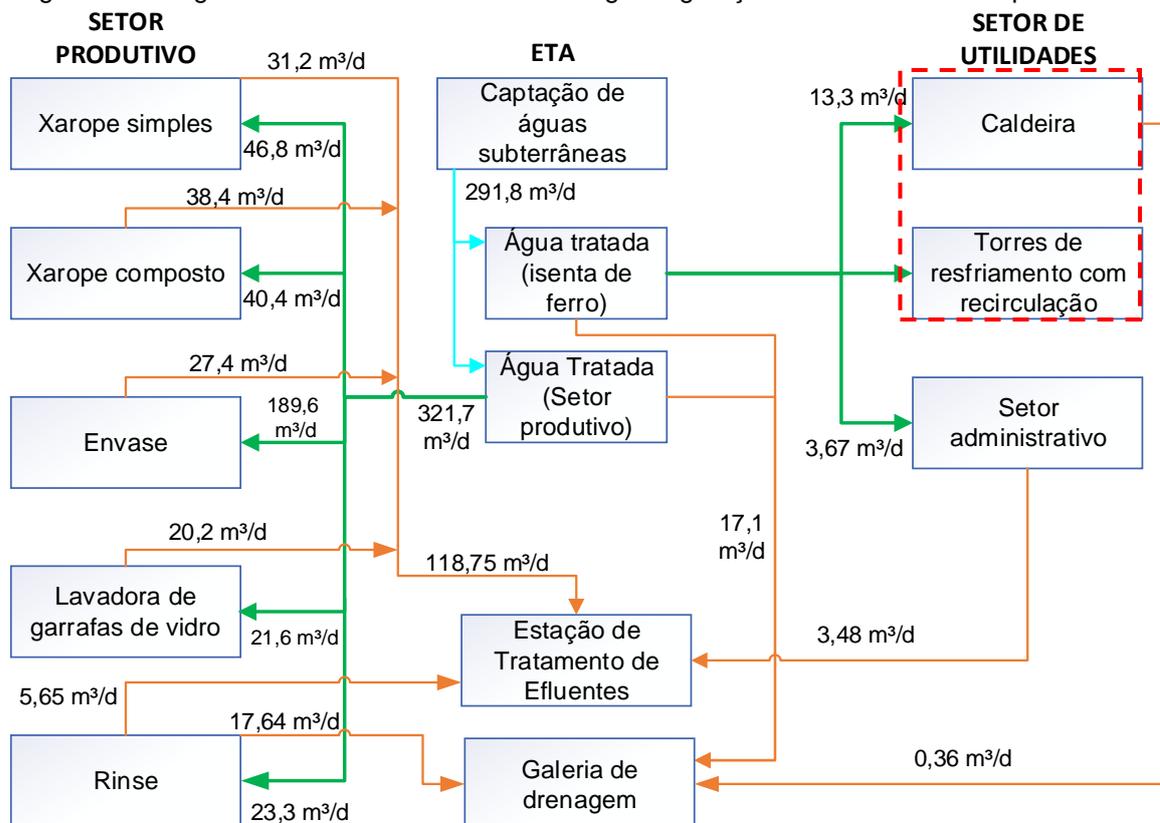


Quanto a geração de efluentes em função do consumo de água, com o R^2 igual a 0,92, ou seja, próximo de 1, indicando que os preditores estão fortemente correlacionados, assim a correlação é alta por causa dos termos de interação entre as duas variáveis. Ademais, este resultado é considerado “ótimo” conforme a classificação de Vanni (1998), indicando que os termos de interação são correlacionados com os termos do efeito principal, ou seja, a geração de efluentes.

5.2.5. Diagrama de blocos

Por fim, para simplificar os resultados obtidos no balanço hídrico segue na Figura 42 o diagrama de blocos contendo os fluxos de massa d'água e de efluentes gerados em cada etapa e setor da fábrica de refrigerantes. Além disso, a figura apresenta as vazões de captação de água bruta e de lançamento de efluente tratado.

Figura 42 - Diagrama de blocos do consumo de água e geração de efluentes do empreendimento.



O consumo médio de água da fábrica de refrigerante foi de 291,8 m³/d, o que resultou em um indicador de 2,53 l.água/l.refrigerante. Em uma fábrica de refrigerantes no

Paquistão, HAROON, WASEEM & MAHOOD (2013) obtiveram em seus estudos uma vazão média de 600 m³/d, resultando em um indicador de 2,3 l.água/l.refrigerante.

Quanto a geração de efluentes são gerados ao todo 154 m³/d, no entanto 83% (127,88 m³/d) destes efluentes são destinados à ETE, o restante é despejado diretamente nas galerias de drenagem de águas pluviais. Ainda avaliando as vazões médias de água e efluentes, 52,8% da água captada para a produção de refrigerantes torna-se esgoto. Este percentual ficou abaixo do resultado alcançado durante um estudo em uma fábrica de refrigerante localizada em Bangkok, na qual Haydar *et al.* (2015) concluíram que 75,7% da água utilizada na produção da bebida torna-se esgoto.

Com base nos valores obtidos constatou-se que o consumo de água é mais crítico no setor produtivo. De todo o volume direcionado para este setor, 47,72 m³/d destinam-se para operações de lavagem de pisos e 44,9 m³/d para lavagem de garrafas PET e retornáveis. Assim, conclui-se que essas são atividades com maior potencial para otimização do uso da água. A mesma conclusão foi obtida por Fatah *et al.* (2009), que afirmam que a lavagem de pisos e a lavagem de garrafas de vidro e PET's são os principais meios de geração de efluentes.

Ainda avaliando o *rinse*, nota-se que essa etapa apresenta dois efluentes, o primeiro (17,64 m³/d) é despejado na galeria de águas pluviais e outro para a ETE. O segundo (5,65 m³/d) é gerado pelas perdas de água que ocorrem no momento da coleta do líquido após o jateamento na garrafa PET.

Maiores detalhes sobre as oportunidades de reaproveitamento e otimização do uso da água estão presentes no item 5.3.1 deste trabalho.

5.3. PROPOSIÇÃO DE CENÁRIOS DO USO DA ÁGUA

Na etapa de proposição de cenários do uso da água estão reveladas as oportunidades de reúso da água na fábrica de refrigerantes, os resultados obtidos no monitoramento dos efluentes propícios a reutilização, os indicadores de desempenho ambiental e os resultados da avaliação dos cenários de uso dos recursos hídricos.

5.3.1. Identificação de oportunidades de reúso da água

Para o reúso e/ou reaproveitamento de efluentes foi realizada a avaliação das vazões, dificuldades para implantação da prática de reaproveitamento/reúso e características dos efluentes disponíveis, assim como dos requisitos de qualidade exigidos para a entrada do processo. Assim, foram avaliadas algumas hipóteses de reúso/reaproveitamento a fim de minimizar a quantidade total de efluentes geradas nos setores produtivo e de utilidades da fábrica de refrigerante. O Quadro 16 resume as possibilidades identificadas e avaliadas neste trabalho.

Quadro 16 - Oportunidades de reúso/reaproveitamento e medida de redução do consumo de água.

Oportunidade de reaproveitamento e otimização	Q méd (m ³ /d)	Objetivo	Dificuldades
Água de <i>rinse</i>	17,64	Reaproveitar a água utilizada na lavagem de garrafas PET	Não há dificuldades significativas para serem realizadas a coleta e tratamento deste efluente
Efluente da lavadora de garrafas de vidro	20,20	Reutilizar efluente da lavadora de garrafas retornáveis	Efetuar o tratamento e distribuição da água de reúso
Substituição de mangueiras de lavagem de piso por lavadora de alta pressão	39,83	Reduzir o consumo de água durante a lavagem dos pisos	Não há dificuldades significativas, pois é necessário apenas a aquisição do equipamento

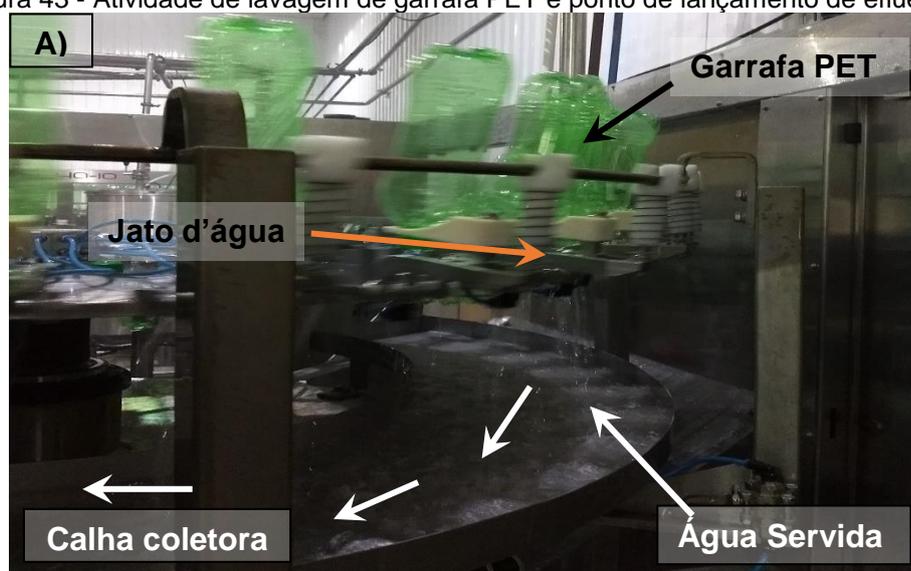
Embora neste trabalho não tenha sido feita a avaliação completa do potencial de racionalização do uso da água e que ainda possa existir potencial para isto, esta proposição e avaliação das oportunidades de reaproveitamento de efluentes tem por objetivo, apresentar uma metodologia para o desenvolvimento e implantação da prática do reaproveitamento de efluentes, sem haver a necessidades de grandes investimentos e/ou impactos financeiros na operação das unidades de tratamento do empreendimento.

Através do balanço hídrico e da verificação operacional de equipamentos, foi constatado que na etapa de envase, durante a atividade de *rinse*, a água utilizada para a lavagem de garrafas PET possui vazão e qualidade (ver item 5.3.2) para atender demandas de águas, tais como: de lavagens dos pisos, descargas de vasos sanitários, retrolavagem de filtro, reservatório de combate a incêndio, caldeiras e torres de resfriamento.

No empreendimento existem duas máquinas de lavagem de garrafas PET, a água servida na lavagem das garrafas não apresenta mudanças físicas (cor e turbidez) significativas após o seu uso, o que permitiria o reaproveitamento nas demandas citadas anteriormente. Maiores detalhes sobre a qualidade do efluente proposto para o reaproveitamento seguem no item 5.3.2 deste trabalho.

Atualmente, a água servida nesta etapa é coletada em mangueiras de borracha flexível e direcionadas para uma caixa de passagem localizada na área externa do setor produtivo da fábrica, posteriormente a água segue para a galeria de drenagem de águas pluviais e disposição final. A vazão média desse efluente que é despejado na drenagem pluvial é de 17,64 m³/d. Nas Figuras 43A e 43B pode-se visualizar o processo de lavagem das garrafas PET's, bem como o registro fotográfico da caixa de passagem que recebe o efluente proveniente do *rinse*, respectivamente.

Figura 43 - Atividade de lavagem de garrafa PET e ponto de lançamento de efluentes.

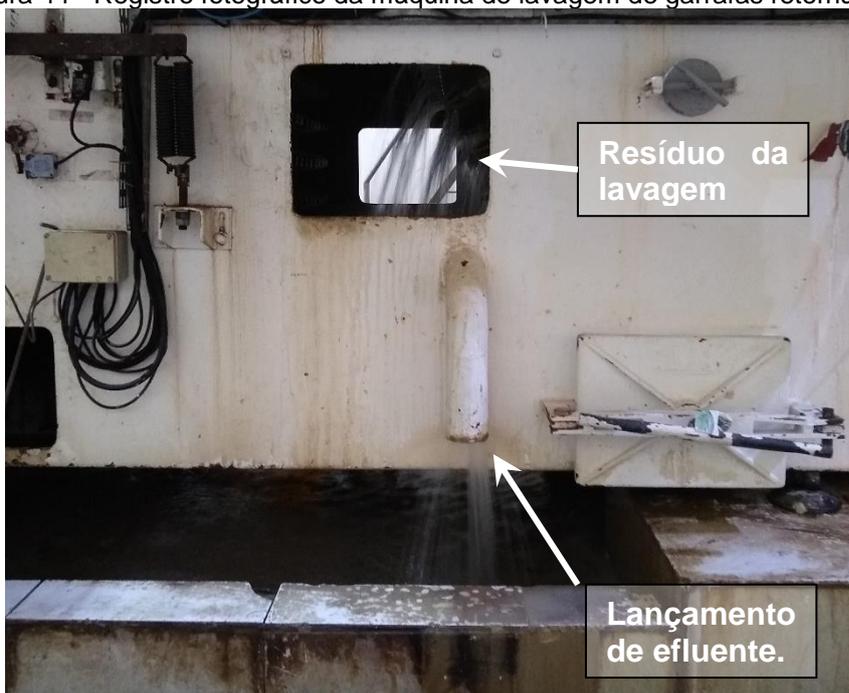




Outro ponto de reaproveitamento é o efluente de lavagem das garrafas retornáveis. De acordo com o balanço hídrico efetuado neste trabalho são gerados, em média, 20,2 m³/d de efluentes. Este tipo de água residuária possui pH elevado devido a soda caustica presente em sua composição, além disso a temperatura do líquido é superior a 40°C para que a lavagem promova com mais eficiência a limpeza e desinfecção das garrafas, entretanto, ela não possui matéria orgânica e sólidos suspensos. Maiores detalhes sobre a caracterização deste efluente seguiram no próximo item deste trabalho.

Na Figura 44 segue o registro fotográfico da máquina de lavagem de garrafas retornáveis, nela pode ser visualizado o local de despejo dos efluentes.

Figura 44 - Registro fotográfico da máquina de lavagem de garrafas retornáveis.

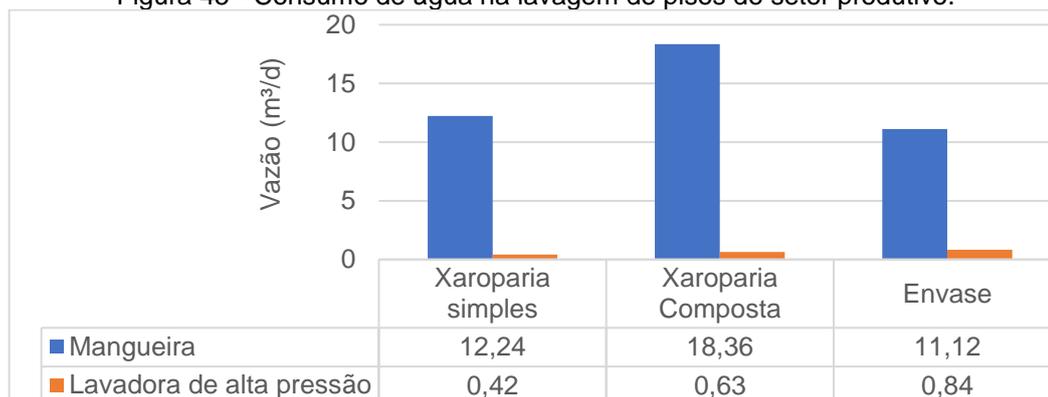


A água residuária gerada durante a lavagem das garrafas de retornáveis poderá ser reaproveitada em outro ciclo de lavagem, ou seja, ela pode ser reutilizada no primeiro enxague das garrafas de vidro.

Somadas as vazões das oportunidades de reaproveitamento/reúso identificadas, poderá ser reduzido cerca de 20% da água que é captada dos poços de águas subterrâneas.

Além do reaproveitamento e reúso, outra forma de otimização do uso da água é mediante a identificação dos usos inadequados que ocorrem no empreendimento. Através do acompanhamento das atividades desenvolvidas pelos funcionários ao longo do processo produtivo do refrigerante e nas demais instalações do empreendimento, foi identificado o desperdício de água na lavagem dos pisos do setor de produção. Assim, para elevar a economia de água, para tal atividade é sugerido que seja realizada com uma máquina de lavagem de alta pressão, visto que esse tipo de equipamento possui vazão de, em média, 7 l/min, contra 204 l/min da mangueira flexível utilizada atualmente na área das xaroparias e 92,64 l/min na área de envase. Para um melhor entendimento do impacto na redução do consumo de água caso seja adotada esta prática, na Figura 45 segue a representação gráfica do consumo atual de água utilizada na lavagem de pisos em cada etapa do setor produtivo e a estimativa do consumo de água com a lavadora de alta pressão.

Figura 45 - Consumo de água na lavagem de pisos do setor produtivo.



Atualmente são utilizados cerca de 41,72 m³/d de água com a lavagem de pisos no setor produtivo. Adotando o mesmo tempo de operação, com a lavadora de alta pressão a vazão consumida poderá reduzir para 1,89 m³/d, um abatimento de 95% no consumo de água dessa atividade. Assim, com esta economia, o percentual geral de redução de consumo de água seria elevado de 20% para 33%.

5.3.2. Caracterização qualitativa da água de réuso

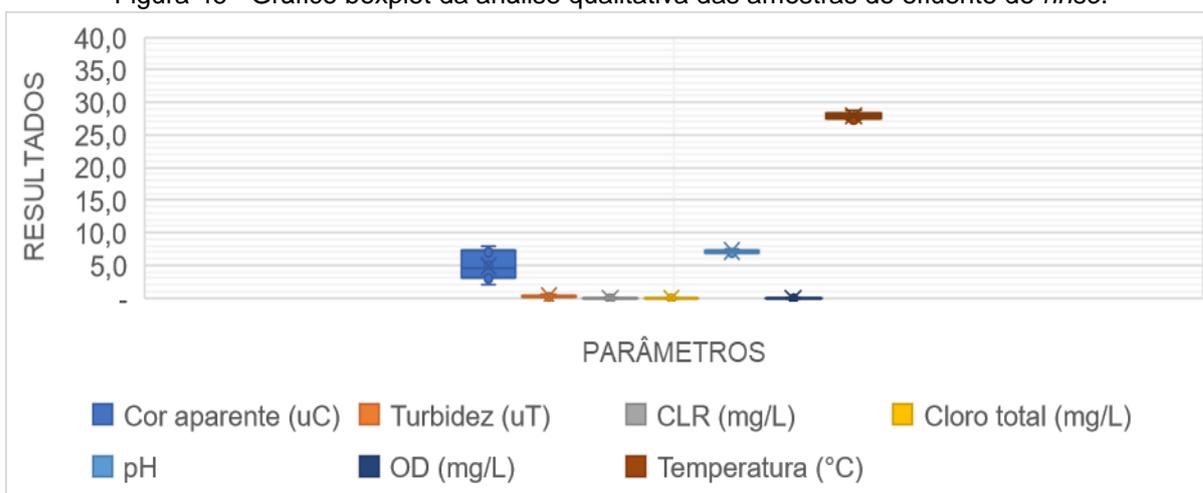
Os resultados obtidos na caracterização dos efluentes das oportunidades de reaproveitamento de efluentes identificadas na fábrica de refrigerantes seguem na Tabela 7.

Tabela 7 - Caracterização das amostras do efluente do *rinse* e lavadora de garrafas retornáveis.

Tipo de efluente	Método estatístico	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	CLR (mg/L)	Cloro total (mg/L)	pH	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	OD (mg/L)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Coliforme Total	<i>E.Coli</i>
<i>Rinse</i>	Nº amostras	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Média	4,90	0,26	0,00	0,00	7,17	323,80	0,00	27,90	Ausente em 100% das amostras	Ausente em 100% das amostras
	Mínimo	2,00	0,10	0,00	0,00	6,90	268,00	0,00	27,20	-	-
	Máximo	8,00	0,50	0,00	0,00	7,53	365,00	0,00	28,70	-	-
	Variância	4,54	0,02	-	-	0,04	1245,96	0,00	0,23	-	-
	DP	2,13	0,13	-	-	0,21	35,30	0,00	0,48	-	-
Lavadora da garrafa de vidro	Nº amostras	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Média	18,70	22,00	0,00	0,00	11,28	1139,80	0,00	44,30	Ausente em 100% das amostras	Ausente em 100% das amostras
	Mínimo	7,00	11,30	0,00	0,00	11,03	1128,00	0,00	41,00	-	-
	Máximo	36,00	36,10	0,00	0,00	11,53	1158,00	0,00	48,00	-	-
	Variância	65,12	62,03	0,00	0,00	0,02	86,18	0,00	5,34	-	-
	DP	8,07	7,88	0,00	0,00	0,14	9,28	0,00	2,31	-	-

Considerando, primeiramente, os parâmetros em comum com as referências presentes na Tabela 1 do item 3.6 deste trabalho, foram obtidas as médias dos resultados da avaliação do efluente do *rinse*, para o pH foi de $7,17 \pm 0,21$ caracterizando-o como neutro. Para a temperatura, as amostras apresentaram média igual a $27,9 \pm 0,48$ °C. A cor aparente e turbidez da água ficaram com valores dentro da faixa recomendada pelas referencias, sendo eles: $4,90 \pm 2,13$ uC e $0,26 \pm 0,13$ uT, respectivamente. A condutividade média das amostras foi de $323,80 \pm 25,30$ $\mu\text{S}/\text{cm}^2$. Por fim, não foram identificados a presença de coliformes totais e *E.coli* em nenhuma das amostras coletadas. A ausência de bactérias nas amostras coletadas, ocorre em função da presença de 0,10 a 0,15 mg/L ácido peracético utilizado para a desinfecção das garrafas PET. Outras informações sobre os resultados da análise da qualidade do efluente do *rinse* seguem na Figura 46.

Figura 46 - Gráfico boxplot da análise qualitativa das amostras do efluente do *rinse*.



Os resultados obtidos nas análises das amostras do *rinse* foram semelhantes aos valores obtidos por Magagnin & Reisdörfer (2017) que avaliaram a viabilidade técnica e econômica de tratamento e reuso da água do processo de *rinse* de embalagens descartáveis em uma indústria de refrigerantes. Na caracterização do efluente realizada pelos autores, a água de saída do *rinse* apresentou pH de $7,39 \pm 0,19$, condutividade $181 \pm 17,29$ $\mu\text{S}/\text{cm}^2$, turbidez de $0,63 \pm 0,38$ uT no, para os resultados microbiológicos não foi identificado a presença de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* em nenhuma das amostras.

Ainda analisando os resultados dos parâmetros físico-químico e bacteriológicos das amostras do *rinse* nota-se que todos os parâmetros, com exceção do cloro total e CRL, ficaram dentro das faixas indicadas por todas as referências para o uso da água na classe I (atividades ligadas ao manuseio da água pelo ser humano) e irrigação, portanto o efluente do *rinse* poderá ser reaproveitado nas finalidades sugeridas. Além disso, como a fábrica de refrigerantes utiliza a portaria de consolidação nº 5 (Ministério da Saúde, 2017) como referência para a água do *rinse*, pode-se concluir que o efluente poderá ser reaproveitado na própria atividade de origem, visto que, os resultados obtidos nos parâmetros estão dentro das faixas recomendadas pelo padrão de potabilidade.

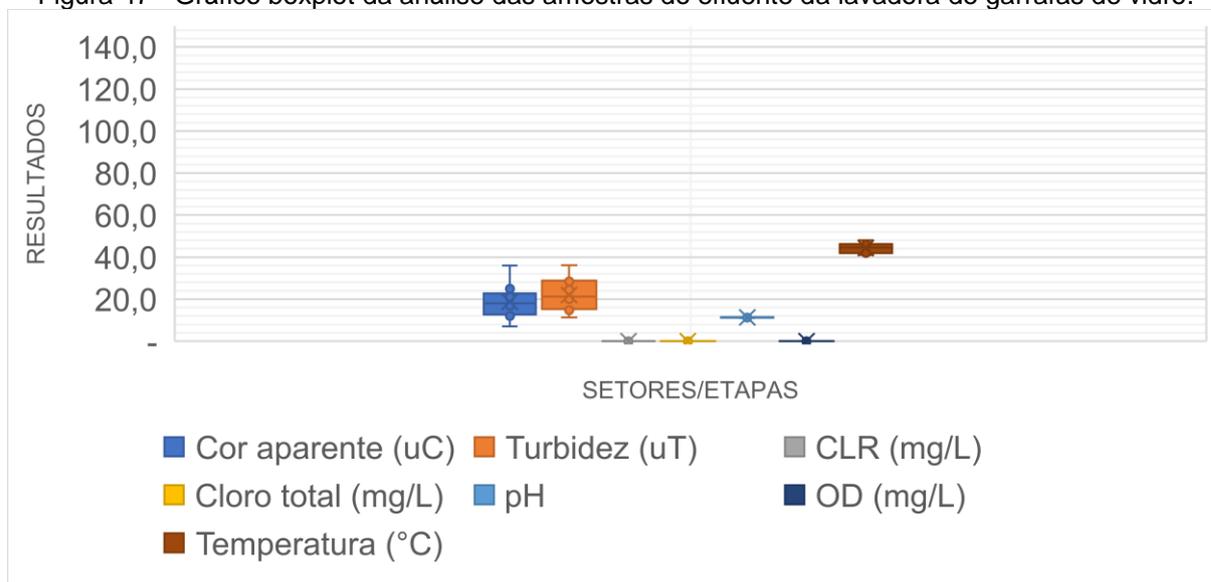
No entanto, é fundamental que antes do reaproveitamento do efluente do *rinse*, seja realizado a dosagem de cloro para manter o efluente desinfetado e atender as recomendações de qualidade da água especificadas pelas referências bibliográficas, que recomendam a presença de 0,5 a 1,0 mg/L cloro residual livre. Outra opção é que ser realizado a dosagem complementar de ácido peracético, produto químico utilizado atualmente para desinfecção, no efluente antes do seu reaproveitamento.

As análises das amostras do efluente da lavadora de garrafas retornáveis, os resultados indicaram que o efluente possui uma coloração acinzentada, o pH médio de $11,2 \pm 0,14$ caracterizando o efluente como alcalino, devido à presença de 3,8-4,0 ppm de hidróxido de sódio na solução de lavagem. Quanto aos demais resultados, a média dos resultados das análises qualitativas foram as seguintes: turbidez 16 uT, cor aparente $15,6 \text{ uC} \pm 6,48 \text{ uC}$, condutividade $1140 \pm 9,2 \text{ } \mu\text{S/cm}^2$, temperatura $44 \pm 2,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, cloro total e CRL foram iguais a 0 mg/L.

Quanto aos resultados da análise bacteriológica, de acordo com Lei *et al.* (2000), Sundberg *et al.* (2004) e Chroni *et al.* (2009), com valores de pH próximos a 9,0 ou acima, ocorre a destruição de coliformes fecais. Capazes de crescer em pH de 4,4 a 9,0 com pH ótimo entre 6,5 e 7,5, é conhecida a capacidade de *E. coli* para tolerar ambientes ácidos, o que lhes permite sobreviver no trato gastrointestinal (BERGEY'S, 1994). Além do fator pH, a temperatura da água utilizada no início da operação de lavagem é 80°C , o que desfavorece a sobrevivência de bactérias. Portanto não há possibilidade de ser identificado a presença de coliformes totais e *E.coli* nas amostras da lavadora de garrafas retornáveis.

Na Figura 47 segue o gráfico boxplot dos resultados obtidos nas análises qualitativa das amostras do efluente da lavadora de garrafas de vidro.

Figura 47 - Gráfico boxplot da análise das amostras do efluente da lavadora de garrafas de vidro.



Ao visualizar a Figura 47 nota-se a presença de *outlier* na cor aparente da amostra, isso indica a presença de restos de refrigerantes, provenientes de garrafas não inspecionadas antes da lavagem, que se misturaram no efluente da lavadora de garrafas retornáveis.

HAJIRA HAROON *et al.* (2013) obtiveram, em sua pesquisa resultados próximos aos deste trabalho, como nos parâmetros turbidez (16 uT) e temperatura (45 – 60°C). Nos demais parâmetros, os resultados obtidos pelo referido autor ficaram acima das médias obtidas neste trabalho, tais como condutividade elétrica de 2105 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$, cloro total 512 mg/L e 5,8 mg/L de oxigênio dissolvido.

Por fim, pôde-se concluir que o efluente da lavadora de garrafas retornáveis da fábrica de refrigerantes estudada não se encontra dentro das faixas estabelecidas pelas referências da SABESP (apud Semura *et al.*, 2005), NBR 13969 (ABNT, 1997), EPA (1992), Metcalf & Eddy (2003) e NBR 15527 (ABNT, 2007), portanto o líquido deverá passar por tratamento físico-químico, filtração ou osmose reversa antes de ser reutilizado. Uma das alternativas adotada por HAJIRA HAROON *et al.* (2013) para diminuir a carga de poluentes do efluente foi a diluição de amostras de águas residuais com água tratada em 50%, após a diluição os autores concluíram que o efluente diluído poderia ser usado nos três primeiros estágios da lavagem de garrafas retornáveis.

5.3.3. Análise dos indicadores de desempenho ambiental

No Quadro 17 são expostos os resultados obtidos para os indicadores de desempenho ambiental da fábrica de refrigerantes.

Quadro 17 - Indicadores ambientais e de desempenho da fábrica de refrigerantes.

ID	Indicadores	Resultado	Referências	
A	$m^3_{\text{água}}/m^3_{\text{refrigerante}}$	2,53	3,0 2,5 a 3,5 1,5	PROBEB (2014) CETESB (2005) ABIR (2017)
B	$m^3_{\text{efluente}}/m^3_{\text{água}}$	0,45	0,25 0,75	Kasmi <i>et al.</i> (2016) Haydar <i>et al.</i> (2015)
C	$m^3_{\text{água-otimizada}}/m^3_{\text{água-consumida}}$	0,0	0,40 0,55	ABIR (2017) Alkaya & Demirer (2015)
D	$kWh/m^3_{\text{ÁGUA}}$ $kWh/m^3_{\text{EFLUENTE}}$	1,46 4,34	---	---
E	$R\$/m^3$ - ETA $R\$/m^3$ - ETE	0,69 2,46	3,55 e 4,01 0,19 ($\$/m^3$)	Souza <i>et al.</i> (2016) Alkaya & Demirer (2015)

Para o indicador A o resultado obtido após a apuração dos dados foi de 2,53 $m^3_{\text{água}}/m^3_{\text{refrigerante}}$. Comparando esse resultado com as referências contidas no Quadro 18 nota-se que o resultado está dentro das faixas indicadas pela CETESB (2005) e PROBEB (2014). Entretanto, este resultado está 59% acima do valor de referência da ABIR (2017), sendo o estudo com o menor consumo de água (1,5 $m^3_{\text{água}}/m^3_{\text{refrigerante}}$).

O mesmo acontece com o indicador B, na qual foi obtido um resultado de 0,45 $m^3_{\text{efluente}}/m^3_{\text{água}}$. Este valor encontra-se em meio aos resultados alcançados pelos autores de referência, ou seja 80% acima de 0,25 $m^3_{\text{efluente}}/m^3_{\text{água}}$ e, aproximadamente, 40% menor que o maior valor de referência.

Quanto ao indicador C, atualmente, a fábrica de refrigerantes não possui nenhuma forma de reuso ou reaproveitamento de efluentes. Entretanto, foram identificadas oportunidades de reaproveitamento de efluentes e otimização de água que podem proporcionar reduções de até 9% no consumo total de água da fábrica. No entanto, caso no empreendimento seja adotado a prática mais “racional” do uso da água, tal como o uso das máquinas de alta pressão na lavagem dos pisos, máquinas e equipamentos o consumo total de água poderá ser reduzido em até 23%.

Para a determinação do indicador D foram realizados os levantamentos dos equipamentos que operam na ETE e ETA do empreendimento. Nessa atividade foram identificados os equipamentos e suas respectivas quantidades, além de verificados as

suas potencias, tempo de operação e o custo do kWh na fábrica de refrigerante. Os resultados destes levantamentos seguem nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Levantamento de equipamentos da ETE e determinação do indicador R\$/m³.

Equipamentos da ETE	Quant.	Pot. (kW)	Pot. total (kW)	Tempo de operação (h)	Consumo diário (kWh)	Custo kWh	Custo diário de energia elétrica (R\$)
Soprador 01 Menor	1	3,7	3,7	16	59,2	0,09	5,33
Soprador 02 Maior	1	9,2	9,2	16	147,2	0,09	13,25
Bomba de microbolhas do flotador	1	7,5	7,5	16	120,0	0,09	10,80
Motor dos raspadores do flotador	1	0,25	0,25	16	4,0	0,09	0,36
Misturadores - Tanque de mistura	2	0,55	1,1	16	17,6	0,09	1,58
Bomba dosadora de polímero	1	0,75	0,75	16	12,0	0,09	1,08
Misturadores - Tanque de polímero	2	0,25	0,5	16	8,0	0,09	0,72
Bomba helicoidal de lodo	1	0,75	0,75	1	0,8	0,09	0,07
Bombas dosadoras de produtos químicos	3	0,0055	0,0165	16	0,3	0,09	0,02
Centrifuga de lodo	1	3	3	1	3,0	0,09	0,27
CMB EEEB	1	1,3	1,3	16	20,8	0,09	1,87
CMB Tanque de equalização	1	1,5	1,5	5	7,5	0,09	0,68
CMB Tanque de aeração	2	1,5	3	16	48,0	0,09	4,32
Peneira com escova rotativa	1	0,15	0,15	16	2,4	0,09	0,22
Misturador de lodo	1	0,25	0,25	16	4,0	0,09	0,36
TOTAL GERAL			32,97	---	454,7	---	R\$40,92

Tabela 9 - Levantamento de equipamentos da ETA e determinação do indicador R\$/m³

Equipamentos da ETA	Quant.	Pot (kW)	Pot total (kW)	Tempo de operação (h)	Consumo diário (kWh)	Custo kWh	Custo diário de energia elétrica (R\$)
CMB - Lavadora de garrafas de vidro	1	2,2	2,2	16	35,2	0,09	3,17
CMB - Água tratada	1	5,6	5,6	16	89,6	0,09	8,06
CMB - Linha de abastecimento da caldeira, torre de resfriamento e setor de administração	1	5,6	5,6	16	89,6	0,09	8,06
CMB - Reservatórios	1	2,2	2,2	16	35,2	0,09	3,17
CMB - Poço 01	1	4	4	16	64,0	0,09	5,76
CMB - Poço 02	1	6,05	6,05	16	96,8	0,09	8,71
Gerador de cloro	1	1,25	1,25	12	15,0	0,09	1,35
TOTAL GERAL			26,9	---	425,4	---	R\$38,29

De acordo com as Tabelas 8 e 9 o consumo médio diário de energia elétrica na ETE e ETA são de 454,7 e 425,4 kWh, respectivamente. A fábrica de refrigerantes não

funciona em horário de ponta (alta tarifa de energia elétrica), apenas em horários fora de ponta, assim o custo do kWh em horários fora de ponta é de R\$ 0,09 centavos.

Levando em consideração que na ETE são tratados cerca de 104,7 m³/d de efluentes o que resulta no resultado do indicador de 4,34 kW/m³. Já para a ETA, a vazão média de distribuição é de 301,4 m³/d e o consumo de energia elétrica de 425,4 kW, o indicador D tem como resultado 1,46 kW/m³.

Considerando os resultados do indicador kW/m³ estima-se que são gastos R\$ 40,92 por dia na ETE somente com energia elétrica. Já para a ETA este valor chega a R\$ 38,29 por dia.

Na determinação do indicador E (R\$/m³) foram considerados os custos de energia elétrica, produtos químicos e TFRH (Taxa de Controle, Acompanhamento e Fiscalização das Atividades de Exploração e Aproveitamento de Recursos Hídricos), os resultados do levantamento de custos foram os seguintes:

- Custo 01 - Consumo e custos estimados de energia elétrica para funcionamento do sistema de reúso/ reaproveitamento:

Na Tabela 10 segue os resultados da determinação dos custos de energia elétrica da ETA e ETE.

Tabela 10 - Determinação dos gastos com energia elétrica na ETA e ETE.

Variáveis	Und	ETE	ETA
Consumo médio	kW/d	454,7	425,40
Custo do kWh	R\$/kW	0,09	0,09
Vazão média	m ³ /d	104,78	301,43
Indicador	R\$/m³	0,39	0,13

- Custo 02 - Despesas com produtos químicos:

Para a determinação dos gastos com produtos químicos na ETE e ETA foram, primeiramente, identificados os produtos químicos, em seguida calculadas as dosagens de operação, levantados o custo do quilo (kg) do reagente e, por fim, calculados os custos totais. A determinação dos gastos com os produtos químicos utilizados na ETE e ETA da fábrica de refrigerantes podem ser visualizadas nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 - Determinação dos gastos com produtos químicos da ETE do empreendimento.

Vazão média	Conc. Reagente	Dosagem	Q _{Dosador}	Vol. total/dia	Quant. de produto químico		Custo + frete do produto	Custo diário
					kg/dia	kg/mês		
l/s	%	ppm	(l/h)	litros	kg/dia	kg/mês	R\$/Und	R\$/dia
Coagulante - Aluminato de Sódio - ACQUAFLOC								
2,25	50,00	73,0	11,9	201,7	10,1	221,9	19,80	199,70
Polímero catiônico – FLONEX 4400								
2,25	0,15	20,0	107,9	1834,7	2,75	60,55	3,09	8,50
Hidróxido de sódio (NaOH) - Efluente tratado - para correção do pH para 6,0								
2,25	10,00	10,0	0,81	13,8	1,38	30,3	6,00	8,26
Total								216,46
Vazão média (m³/d)								104,78
R\$/m³								2,07

Tabela 12 - Determinação dos gastos com produtos químicos da ETA do empreendimento.

Vazão média	Conc. Reagente	Dosagem	Q _{Dosador}	Vol. total/dia	Quant. de produto químico		Custo + frete do produto	Custo diário
					kg/dia	kg/mês		
l/s	%	ppm	(l/h)	litros	kg/dia	kg/mês	R\$/UNID	R\$/dia
Hipoclorito de sódio								
5,07	0,70	10,00	26,90	457,30	3,10	68,20	0,95	2,95
Total								2,95
Vazão média (m³/d)								291,80
R\$/m³								0,010

- Custo 03 - Taxa de Fiscalização de Recursos Hídricos – TFRH:

Conforme os boletins de medição do órgão ambiental regularizador, referente ao ano de 2018, o custo do m³ da água captada nos poços de águas subterrâneas da fábrica de refrigerantes é de R\$ 0,55 centavos.

- Custo total:

Somados todos os custos operacionais da ETE e ETA do empreendimento estudado, pode-se concluir que, para a ETE o indicador R\$/m³ tem como resultado para R\$ 2,46 e para a ETA R\$ 0,69. Assim, levando em consideração as vazões médias de 291,81 m³/d para a ETA e 104,78 m³/d para a ETE, pode-se concluir que atualmente, em média, são gastos R\$ 201,35 por dia na ETA e R\$ 257,76 na ETE, totalizando R\$ 459,11 por dia.

Alkaya & Demirer (2015) obtiveram um indicador de custo para tratamento de efluentes de 0,19 \$(dollar)/m³ em uma indústria de bebidas na Turquia. Esses resultados foram inferiores aos encontrados por Souza *et al.* (2016), que avaliaram duas empresas do ramo de lavanderias industriais, mediante a análise de custos e

medição de vazão para as empresas A e B, foram obtidos indicadores de tratamento de água de 3,55 e 4,01 R\$/m³, respectivamente.

5.3.4. Proposição e avaliação de cenários do uso da água

Os cenários de uso da água propostos para a fábrica de refrigerantes abrangem a seguinte composição:

- Cenário I: refere-se ao cenário atual do empreendimento;
- Cenário II: *rinse* + medida de redução do consumo de água;
- Cenário III: *rinse* + efluente da lavadora de garrafas retornáveis + medida de redução do consumo de água.

Os resultados dos indicadores ambientais e de desempenho para cada cenário proposto seguem na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados dos indicadores para os cenários propostos.

Indicadores		Cenário I	Cenário II	Cenário III
A	m ³ água/m ³ refrigerante	2,53	2,01	1,92
B	m ³ efluente/m ³ água	0,45	0,45	0,45
C	m ³ água-reúso/m ³ água-cap	0,00	0,20	0,23
D	kwh/m ³ - ETA	1,46	1,46	1,46
	kwh/m ³ - ETE	4,34	4,34	4,34
E	R\$/m ³ - ETA	0,69	0,69	0,69
	R\$/m ³ - ETE	2,46	2,46	2,46

Conforme os resultados alcançados após a proposição dos cenários de uso da água, nota-se que a adoção das práticas de reaproveitamento de efluentes impactam diretamente nos indicadores A e C, no entanto para os demais indicadores não há alterações em função da redução simultânea das variáveis que compõem tais indicadores.

Com a redução dos valores do indicador A de 2,53 m³água/m³refrigerante para 2,01 e 1,92 m³água/m³refrigerante nos cenários II e III respectivamente, ocorre a redução do consumo de energia elétrica e dos custos de operação da ETE e ETA. Adotando 100% das práticas de reaproveitamento e otimização da água utilizada no setor produtivo, a

fábrica de refrigerantes estudada se aproxima, no consumo específico de água para produção de refrigerante, das indústrias de bebidas avaliadas pela ABIR em 2017, na qual concluiu-se que, com o reaproveitamento da água, algumas indústrias economizaram 40% da água necessária para produção de bebidas não alcoólicas, sendo necessário apenas 1,5 m³ de água para a produção de 1 m³ de refrigerante.

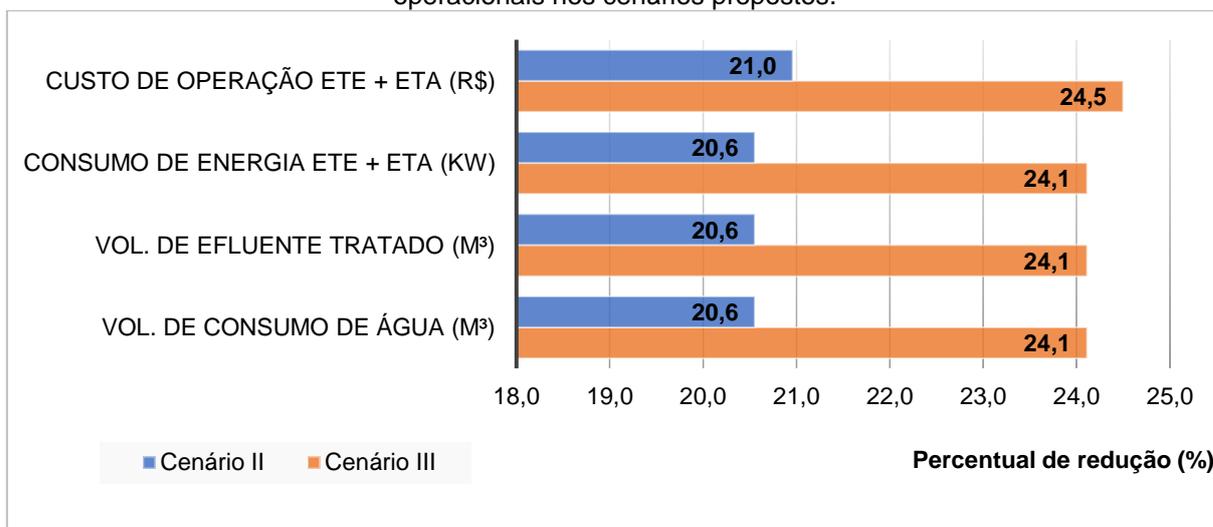
Quanto aos resultados do indicador C, com as oportunidades de reaproveitamento e otimização do uso da água podem ocorrer reduções de 20% e 23% nos cenários II e III, respectivamente. Esses resultados ainda são inferiores aos 40% encontrados na pesquisa desenvolvida pela ABIR, entretanto é importante destacar que as oportunidades selecionadas, caso sejam implantadas na fábrica, não necessitam de grandes investimentos ou alterações construtivas no local, pois não há necessidade de tratamento da água, o que facilita a adoção desta prática sustentável.

Levando em consideração que a produção média de refrigerantes no empreendimento é de 133,46 m³ foram realizadas simulações do consumo de água, geração de efluentes, consumo de energia elétrica e custos de operação da ETE e ETA. Os resultados seguem na Tabela 14. Além disso, na Figura 48 segue a representação gráfica dos percentuais de redução do volume de água e esgoto, bem como do consumo de energia elétrica e custo operacional da ETA e ETE.

Tabela 14 – Avaliação do impacto de reaproveitamento de efluentes na vazão e custos operacionais da fábrica de refrigerantes.

Variáveis		Cenário I	Cenário II	Cenário III
Volume de consumo de água (m ³)		337,65	268,25	256,24
Volume de efluente tratado (m ³)		152,20	120,92	115,50
Volume de reaproveitamento (m ³)		0,00	53,65	58,94
Consumo de energia (kW)	ETA	492,23	391,06	373,55
	ETE	660,48	524,73	501,23
	Total	1152,71	915,79	874,78
Custo de operação (R\$)	ETA	233,42	185,44	177,14
	ETE	373,85	294,56	281,37
	Total	607,27	480,00	458,51

Figura 48 - Percentuais de reduções do volume de água e esgoto, energia elétrica e custos operacionais nos cenários propostos.



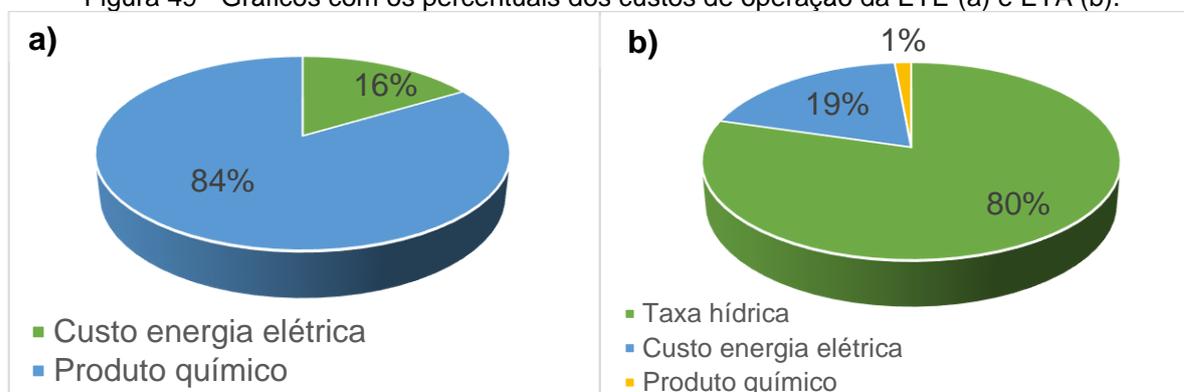
De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que no Cenário II ocorre a redução de 20,6% do consumo de água, já no cenário III esse percentual eleva-se para 24,1%, proporcionando economias de 69,4 m³/d e até 81,4 m³/d de água. A estimativa do cenário III é semelhante aos resultados obtidos por Agana *et al.* (2013), onde os autores efetuaram um estudo em uma planta industrial de bebidas não alcoólicas na Austrália, após identificar oportunidades de reutilização de água e realizar campanhas de análises da amostra de água, eles adquiriram uma economia de 83,2 m³/dia de água.

Com as mesmas proporções de reduções, a geração de efluentes apresentou abatimentos de 31,28 m³ no cenário II e 36,70 m³ no cenário III, indicando que com a implementação das práticas de reaproveitamento e otimização do uso da água poderá haver reduções nos mesmos percentuais do consumo de água. Desta forma, a redução máxima que poderá ocorrer, adotando o reaproveitamento de efluentes e práticas sustentáveis propostas, é de 24,1%. Essa redução ficou abaixo do resultado alcançado por Alkaya & Demirer (2015), onde os autores obtiveram, após a implementação das práticas de reúso em uma indústria de bebida na Turquia, um decréscimo de 57,4% de esgoto gerado depois do processo produtivo. Entretanto, na indústria estudada pelos referidos autores, o consumo de água é de 70.959 m³/mês, enquanto neste trabalho o consumo mensal de água é da ordem de 5.825 m³/mês.

Quanto a redução dos custos de operação da ETE e ETA, adotando 50% do potencial de redução do consumo de água será possível economizar R\$ 127,27 por dia, já no cenário III o valor se eleva para R\$ 148,76, totalizando anualmente em

economias de R\$ 33.598,76 e R\$ 39.272,83, respectivamente. Na Figura 49 seguem os percentuais representativos de cada custo avaliado na ETE e ETA.

Figura 49 - Gráficos com os percentuais dos custos de operação da ETE (a) e ETA (b).



Na ETE, cerca de 84% do custo operacional é proveniente dos gastos com produtos químicos, o restante é derivado da energia elétrica. Já para a ETA, 80% do custo total é em função da taxa hídrica paga mensalmente ao órgão ambiental fiscalizador, sendo este o maior valor dentre os custos investigados, seguido pela energia elétrica com 19% e gastos com produtos químicos com 1%.

Afim de simplificar e facilitar o entendimento dos resultados obtidos nos cenários de uso da água, bem como visualizar os impactos positivos que o reaproveitamento e a otimização do uso da água pode causar no fluxo de massa líquida do empreendimento, foram elaborados dois diagramas de blocos com as médias do balanço hídrico obtidas a partir das produções de refrigerantes componentes do banco de dados utilizado neste trabalho. Os diagramas de blocos do fluxo de massa líquida dos cenários propostos seguem nas Figuras 50 e 51.

Figura 50 - Diagrama de blocos do consumo de água e geração de efluentes do empreendimento – cenário II.

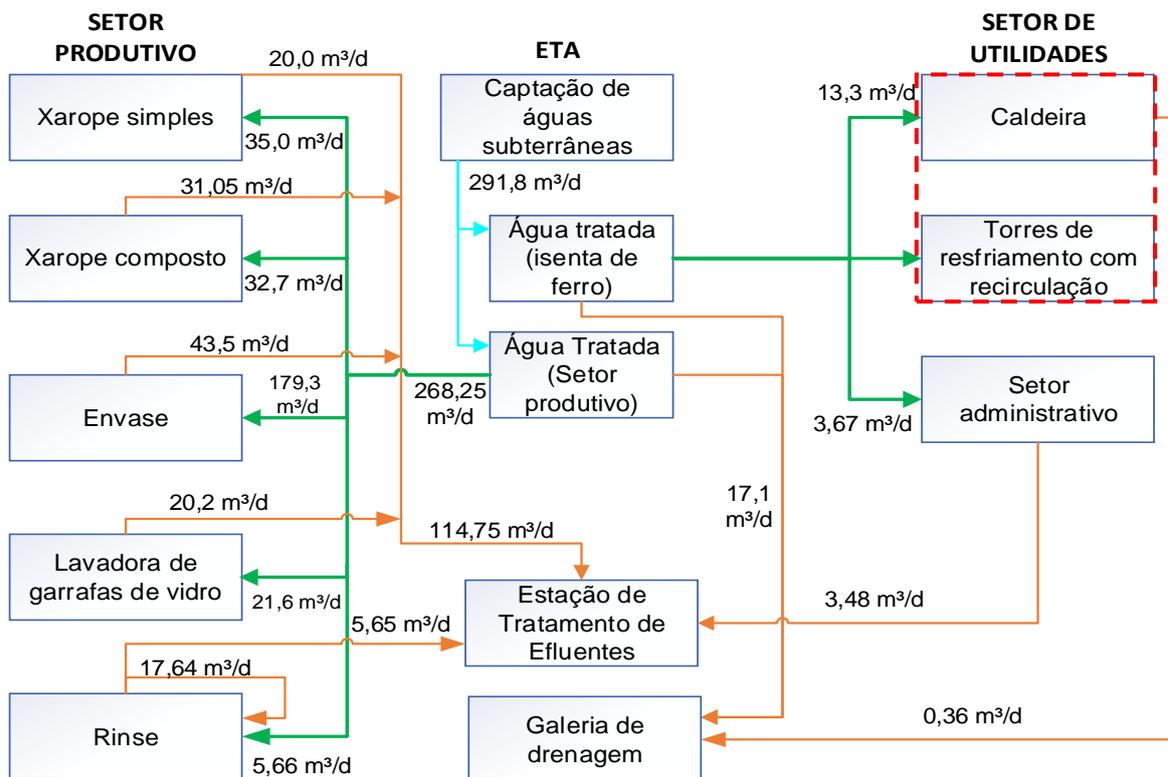
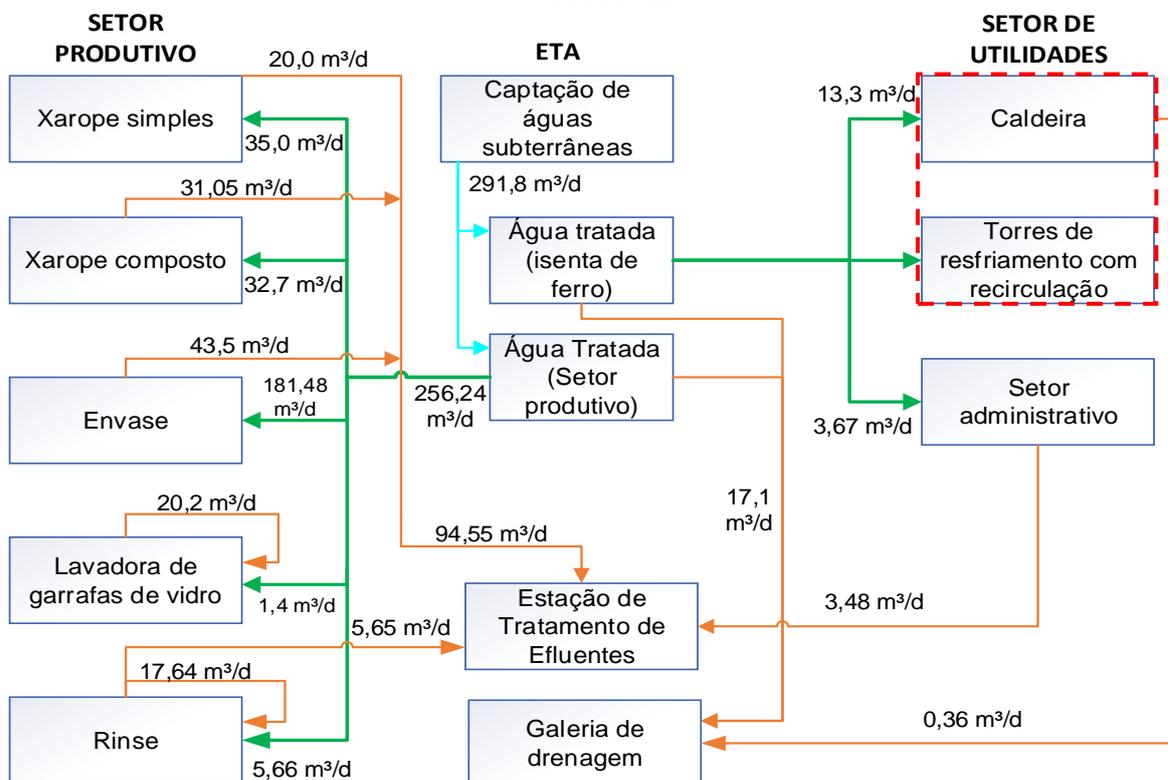


Figura 51 - Diagrama de blocos do consumo de água e geração de efluentes do empreendimento – cenário III.



Qualquer que seja o cenário adotado, é de fundamental importância que a prática do reaproveitamento de efluentes seja devidamente planejada, a fim de que sejam obtidos os máximos benefícios que podem advir da mesma e para que ela possa ser sustentável ao longo do tempo. Além disso, sempre deverá ser levado em consideração os critérios de qualidade da água estabelecidas pelas legislações brasileiras.

Assim sendo, antes que a avaliação do potencial de reúso e/ou reaproveitamento dos efluentes disponíveis na indústria seja iniciada, é necessário que todos os fatores que possam influenciar na quantidade e sua composição dele sejam devidamente contemplados. Isto implica dizer que, necessariamente, a avaliação do potencial de reúso e reaproveitamento de efluentes deve ser posterior a qualquer alternativa de racionalização do uso da água, já que estas irão afetar, de forma significativa, tanto a quantidade como a qualidade do efluente.

6. CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho sobre análise de viabilidade técnica da conservação de água no ciclo produtivo de indústria de refrigerante, considerando as premissas utilizadas nesse estudo, são:

- A fábrica de refrigerantes possui três etapas que compõem o seu ciclo produtivo que consomem as maiores quantidades de água de todo o empreendimento. Em meio as essas etapas, as atividades que consomem as maiores quantidades de água são a sanitização, CIP, lavagem de pisos, *rinse* e a lavagem de garrafas retornáveis.
- A produção média de refrigerantes na fábrica é de 133,46 m³. A captação de água bruta dos poços artesianos é, em média, 291,8 m³/d de água, bem como a geração de efluentes, envolvendo todos os setores do empreendimento, é de 154,04 m³/d. Parte dessa vazão (127,88 m³/d) é direcionada para ETE, o restante (26,16 m³/d) é despejada diretamente no sistema de drenagem na fábrica. A sanitização dos tanques, máquinas e equipamentos é a atividade com maior consumo de água da fábrica.
- Ao todo foram identificadas 02 oportunidades de reaproveitamento de efluentes, sendo eles: o efluente do *rinse* e lavadora de garrafas de vidro. Além disso, foi sugerida 01 prática de otimização do uso da água, mediante a substituição das mangueiras flexíveis utilizadas para a lavagem de pisos por máquinas de alta de pressão. Com isso, é possível reduzir o consumo de água da fábrica em até 23%;
- Os 5 indicadores selecionados foram fundamentais para avaliar o cenário atual do empreendimento, além de proporcionar a definição de metas e a comparação dos resultados obtidos com o de outros autores nacionais e internacionais. No cenário atual, a fábrica de refrigerantes estudada apresentou resultados dentro das faixas encontradas por outros trabalhos de autores da Europa, Ásia e Brasil. Além disso, foi concluído que o empreendimento tem potencial para a otimização do consumo de água, energia elétrica e custo operacional da ETE e ETA, pois é possível reduzir o consumo de específico de 2,53 para 1,92 m³água/m³refrigerante.
- Quanto aos cenários de uso da água propostos, por meio do uso dos indicadores ambientais e de desempenho, foi possível analisar e constatar o grau de impacto do reaproveitamento e da otimização do uso do recurso hídrico no consumo

específico de água para a produção de refrigerantes. Havendo a possibilidade de ocorrer reduções: de 24,1% no consumo de água e na geração de efluentes no empreendimento, além de 24,5% no custo de operação da ETE e ETA, totalizando em R\$ 39.272,83 por ano.

- Por fim, o protocolo de engenharia estabelecido neste trabalho para avaliar a conservação do uso da água na fábrica de refrigerantes se mostrou adequado para o levantamento de informações sobre o processo produtivo industrial, caracterização de efluentes, identificação de oportunidades de reaproveitamento/reúso, bem como a proposição de cenários de uso da água, podendo auxiliar na execução de trabalhos com objetivos similares.

7. RECOMENDAÇÕES

A partir das experiências obtidas neste trabalho surgem as seguintes recomendações para futuras pesquisas:

- Avaliar a viabilidade financeira da implantação das oportunidades de reaproveitamento e reúso da água em indústria de refrigerantes;
- Analisar a possibilidade de reutilização e/ou reaproveitamento do efluente tratado na estação de tratamento de efluentes de indústrias de bebidas;
- Aprofundar os estudos da variação do consumo de energia elétrica do empreendimento para auxiliar na análise de viabilidade financeira da implantação dos sistemas de reaproveitamento dos efluentes, bem como o impacto no custo operacional;
- Estudar formas de tratamento para o efluente da lavadora de garrafas retornáveis que possibilitem reúso em usos que requerem o contato direto do usuário com a água.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.AGANA, B.; REEVE, D.; D.ORBELL, J. An approach to industrial water conservation – a case study involving two large manufacturing companies based in Australia. **Journal of Environmental Management**, n. 114, p. 445–460, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.047>>.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, p. 60. 1997.

ALKAYA, T.; DEMIRER, G. N. Water recycling and reuse in soft drink/beverage industry: A case study for sustainable industrial water management in Turkey. **Resources, Conservation and Recycling**, p. 9, August 2015.

ALVES, T. A. **Aplicação de tecnologia para reúso de água na indústria de refrigerantes**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, p. 114. 2012.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS; FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; SINDUSCON-SP – SINDICATO DA CONSTRUÇÃO DE SÃO PAULO. **Manual de Conservação e reúso de Águas em Edificações**. São Paulo. 2005.

ASSOCIAÇÃO Brasileira das Industrias de Refrigerantes e Bebidas não Alcoólicas (ABIR). **Associação Brasileira das Industrias de Refrigerantes e Bebidas não Alcoólicas (ABIR)**, 2017. Disponível em: <<https://abir.org.br/diamundialdaagua2017/>>. Acesso em: 12 Outubro 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDUSTRIA DE REFRIGERANTES E DE BEBIDAS NÃO-ALCOÓLICAS (ABIR). abir. **Associação brasileira de industria de refrigerantes e de bebidas não-alcoólicas**, 2016. Disponível em: <<https://abir.org.br>>. Acesso em: 15 Dezembro 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14031 - Gestão Ambiental - Avaliação de desempenho ambiental - Diretrizes**. Rio de Janeiro - RJ, p. 38. 2004.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DAS BEBIDAS REFRESCANTES NÃO ALCOÓLICAS (PROBEB), 2017. Disponível em: <www.probeb.pt>. Acesso em: 15 Outubro 2017.

AYRES, M. **Elementos da Bioestatística**. 2º. ed. Belém: Universidade Federal do Pará, 2012. 588 p.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO (BNDES). **Panorama do setor de bebidas no Brasil**. BNDS. Rio de Janeiro, p. 50. 2016.

BLACKHURST, M.; HENDRICKSON, C.; VIDAL, J. S. Direct and Indirect Water Withdrawals for U.S. Industrial Sectors. **Environmental Science & technology**, Pittsburgh, PA, v. 44, p. 2126–2130, 8 February 2010.

BRASIL, M. D. S. **Portaria nº 5 - Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. [S.l.]. 2017.

- BURI, M. R.; JÚNIOR, S. R. D. S.; MILITO, P. B. Eficácia e utilização dos sistemas de qualidade em grande empresa de distribuição de bebidas localizada em São Paulo. **Educação, Saúde e Sociedade**, Jandira-SP, n. 15, p. 28, 15 Agosto 2014. ISSN 2179-9636.
- CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. W. F.; CARVALHO, E. K. M. D. A. C. R. C. Proposta e validação de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do alto curso do Rio Paraíba, PB. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 2, Agosto 2011.
- CICHINELLI, G. Reúso de água: soluções não potáveis. **Téchne: Revista de Tecnologia da Construção**, São Paulo, v. 16, n. 133, p. 54-57, 2008.
- CIERCO, A. A. et al. **Gestão da Qualidade**. 10. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2011. 204 p. ISBN 978-85-225-0851-8.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Cervejas e refrigerantes (Série P + L)**. CETESB. São Paulo, p. 58. 2005.
- DIFANTE, J. D. S.; SILVA, R. F. D. CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO SISTEMA DE PRODUÇÃO EM INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES. **Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 39-54, 2007. ISSN 1981-2841.
- FARIA, A. C. **Avaliação do Ciclo de Vida na Indústria dos Refrigerantes – O Caso da Etanor/Penha**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Química) - Universidade do Porto. Porto, p. 74. 2017.
- FERREIRA, R. T. flickr. **Flickr.com**, 08 Agosto 2009. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/ricardoterencio/3801071293/>>. Acesso em: 21 Fevereiro 2018.
- FIESP/CIESP. **Programa de conservação e reúso da água - PCRA**. FIESP/CIESP. Viçosa-MG, p. 46. 2011.
- FILHO, D. B.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso de água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. D. **Reúso de Água**. 1. ed. Barueri - SP: Manole, 2003. Cap. 2, p. 579.
- FILHO, J. A. S. et al. Tratamento de efluentes da indústria de bebidas em reator anaeróbio de circulação interna (IC). **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, Jan-Mar 2013.
- FLORENCIO, L. et al. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. (PROSAB) 1ª. ed. Recife: SERMOGRAF, 2006. 427 p.
- FONSECA, P. C. **Modelo para controle estatístico de processos de desenvolvimento de software (CEP-S)**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - UFMG. Belo Horizonte, p. 170. 2010.
- GALVÃO, M. R. **Estudo do reúso não potável de água de processo e efluente tratado em indústria de bebidas**. Dissertação (Mestrado profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR, p. 156. 2010.
- GOMES, P. R.; MALHEIROS, T. F. Proposta de análise de indicadores ambientais para apoio na discussão da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 151-169, mai-ago 2012. ISSN 1809-239X.

HAROON, H.; WASEEM, A.; MAHMOOD, Q. Treatment and Reuse of Wastewater from Beverage Industry. **J. Chem. Soc. Pak.**, v. 35, n. 1, p. 6, 2013.

HAYDAR, S. et al. Water Conservation Initiatives and Performance Evaluation of Wastewater Treatment Facility in a Local Beverage Industry in Lahore. **Pak. J. Engg. & Appl. Sci.**, v. 16, n. 1, p. 100 - 109, Jan 2015.

HERTLE, C. et al. **Water Recycling in the Australian Food & Beverage Industry. A Case Study – Reduced Environmental Footprint.** GHD. Australia, p. 10. 2009.

HSINE, E. A.; BENHAMMOU, A.; PONS, M.-N. Water Resources Management in Soft Drink Industry-Water Use and Wastewater Generation. **Environmental Technology**, v. 26, n. 12, p. 1309-1316, May 2010.

IMOUBE, T. O. T.; KOYE, P. I. O. Assessment of the impact of effluent from a soft drink processing factory on the physico-chemical parameters of eruvbi stream benin city, Nigeria. **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 4, n. 1, p. 126 - 134, June 2011. ISSN 2006 - 6996.

JÚNIOR, O. C. et al. **O setor de bebidas no Brasil.** BNDES Setorial. Rio de Janeiro, p. 93 - 130. 2016.

KASMI, M. E. A. Eco-friendly process for soft drink industries wastewater reuse as growth medium for *Saccharomyces cerevisiae* production. **Springer-Verlag**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Out-Fev 2016.

KEMERICH, P. D. D. C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 5, n. 5, p. 3723-3736, 2014. ISSN 2236 1308. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/2236130814411>>.

LACERDA, C. D. S.; CÂNDIDO, G. A. Modelos de indicadores de sustentabilidade para gestão de recursos hídricos. In: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa.** Campina Grande-PB: EDUEPB, 2013. Cap. 1, p. 13-30.

LAVRADOR, F. **Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil.** Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica de São Paulo - USP. São Paulo - SP. 1987.

LIMA, A. C.; AFONSO, J. C. A Química do Refrigerante. **QUÍMICA NOVA NA ESCOLA**, v. 31, n. 3, p. 6, Agosto 2009. ISSN 2175-2699.

LOZANO, R.; CARPENTER, A.; SATRIC, V. Fostering green chemistry through a collaborative business model: A Chemical Leasing case study from Serbia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 78, p. 136-144, September 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.007>>.

MAGAGNIN, I.; REISDÖRFER, G. **Avaliação da Viabilidade Técnica e Econômica da Reutilização da Água de Rinsagem de Embalagens Descartáveis.** Revista Caderno Pedagógico, Lajeado, v. 14, p. 51-62, 2017.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. D. **Reúso da Água.** 1º. ed. Barueri: Manole LTDA, 2003.

MARIANI, C. A. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. **Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 110-126, 2005. ISSN 1809-2039.

- MENDA, M. Química Viva - Refrigerantes. **Conselho Regional de Química 4ª Região**, 2011. Disponível em: <<http://crq4.org.br/default.php?p=texto.php&c=refrigerantes>>. Acesso em: 20 Dezembro 2017.
- METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
- METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 4ª. ed. [S.l.]: [s.n.], 2003.
- MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria: Estudo de caso na Kodak Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 367. 2002.
- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Programa para o gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias, visando o uso racional e a reutilização. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 11-15, Abr/jun 2000.
- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. I, 2005. 143 p.
- MORELLI, E. B. **Reúso de água na lavagem de veículos**. Dissertação (Mestrado) EPUSP-PHD. São Paulo, p. 92. 2005.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016**. Divisão de Ciências Hídricas - UNESCO. Colombella, Perugia, Itália. 2016.
- PARÁ. LEI Nº 8.091, de 29 de dezembro de 2014, p. 4. Disponível em: <www.semas.pa.gov.br>. Acesso em: 10 Maio 2018.
- PERIARD, G. **sobreadministracao**, 2011. Disponível em: <www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo>. Acesso em: 28 Janeiro 2018.
- PESTANA, M. D. et al. Aplicação integrada da matriz GUT e da matriz da qualidade em uma empresa de consultoria ambiental. Um estudo de caso para elaboração de propostas de melhorias. **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia De Produção**, João_Pessoa, 06 Outubro 2016. 18.
- PROBEB. **Associação Portuguesa das Bebidas Refrescantes Não Alcoólicas**, 2017. Disponível em: <www.probeb.pt>. Acesso em: 06 Novembro 2017.
- REIS, E. A.; REIS, I. A. **Análise Descritiva de Dados**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 64. 2002.
- RODRIGUES, F. A.; THIAGO, L. E. S. **Manual de indicadores ambientais**. FIRJAN. Rio de Janeiro, p. 20. 2008.
- RODRIGUES, S. C. A. **Modelo de Regressão Linear e suas Aplicações**. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Universidade da Beira Interior. Covilhã - Portugal, p. 94. 2012.
- RYAN, T. A.; JOINER, B. L. Normal Probability Plots and Tests for Normality. <http://www.minitab.com>, Pennsylvania, 1976. Acesso em: 03 fev. 2018.

SANTOS, C. M. A. D. **Estatística Descritiva – Manual de auto-aprendizagem**. 2°. ed. [S.I.]: Edições Sílabo, 2010. 312 p. ISBN 978-972-618-605-2.

SEMURA, A. S.; RICCITELLI, M.; GONÇALVES, M. C. Estudos para implantação de Reúso e Proposição de Parâmetros de Qualidade para Usos Urbanos Não Potáveis a Partir das ETEs da RMSP. **23° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campo Grande-MS, Rio de Janeiro 2005. Anais. ABES.

SHAO, W. et al. Research on the status of water conservation in the thermal power industry in China. **Energy Procedia**, n. 105, p. 7, 2017. ISSN 3068-3074. Disponível em: <www.sciencedirect.com>.

SOUZA, M. C. D. et al. Análise das práticas de reúso de água residual: estudo de casos em lavanderias industriais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa maria, v. 20, n. 1, p. 497–496, Jan-Abr 2016. ISSN 22361170.

U.S.EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Manual guidelines for water reuse**. Washington: EPA/625/R-04/108, 1992. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/>>.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO). **Greening Food and Beverage Value Chains: the Case of Soft Drinks Industry**. UNIDO Working Paper. [S.I.], p. 1-80. 2014.

VALT, R. B. G. **Análise do ciclo de vida de embalagens de pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Térmicos e Químicos) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR, p. 193. 2004.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade: Uma Análise Comparativa**. FGV. Rio de Janeiro, p. 253. 2006. (1679-3951).

VANNI, S. M. **Modelos de Regressão Linear e Não Linear Simples - Estatística Aplicada**. São Paulo: Legnar Informática e Editora, 1998.

VU, D. T. et al. Efficient Hybrid Tree-Based Stereo Matching With Applications to Postcapture Image Refocusing. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 23, n. 8, p. 3428-3442, June 2014. ISSN 1941-0042.

YUAN, Z.; JIANG, W.; JUNBI. Cost-effectiveness of two operational models at industrial wastewater treatment plants in China: A case study in Shengze town, Suzhou City. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 10, p. 2038-2044, October 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.05.016>>.

9. APÊNDICES

9.1. CENÁRIOS DE USOS DA ÁGUA E INDICADORES

Nº dados /estatística descritiva	Produção de refrigerante (litros)	Cenário I					Cenário II					Cenário III				
		Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada	Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada	Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada
1	178.188	315,0	128,0	1,77	0,41	0,00	251,11	101,80	1,41	0,41	0,20	308,90	125,23	1,73	0,40	0,20
2	209.277	376,0	145,0	1,80	0,39	0,00	310,53	120,07	1,48	0,39	0,17	368,40	142,45	1,76	0,38	0,20
3	234.439	399,0	155,0	1,70	0,39	0,00	329,65	128,35	1,41	0,39	0,17	390,35	151,98	1,67	0,38	0,22
4	223.167	384,0	147,0	1,72	0,38	0,00	315,25	120,35	1,41	0,38	0,18	376,04	143,56	1,69	0,37	0,21
5	203.527	422,0	129,0	2,07	0,30	0,00	359,36	109,50	1,77	0,30	0,15	413,08	125,87	2,03	0,30	0,21
6	76.954	246,0	51,0	3,19	0,21	0,00	197,72	40,95	2,57	0,21	0,20	239,33	49,57	3,11	0,20	0,26
7	161.448	366,0	107,0	2,27	0,29	0,00	309,96	90,48	1,92	0,29	0,15	358,39	104,61	2,22	0,29	0,21
8	76.872	254,0	58,0	3,30	0,23	0,00	205,92	47,23	2,68	0,23	0,19	246,82	56,61	3,21	0,22	0,28
9	176.656	394,0	110,0	2,23	0,28	0,00	336,02	93,53	1,90	0,28	0,15	385,60	107,34	2,18	0,27	0,21
10	129.877	313,0	78,0	2,41	0,25	0,00	260,50	64,70	2,01	0,25	0,17	305,66	75,92	2,35	0,24	0,23
11	199.800	385,0	146,0	1,93	0,38	0,00	322,58	122,27	1,61	0,38	0,16	378,76	143,56	1,90	0,37	0,16
12	49.182	199,0	49,0	4,05	0,25	0,00	151,33	37,26	3,08	0,25	0,24	194,23	47,82	3,95	0,24	0,24
13	191.178	348,0	133,0	1,82	0,38	0,00	283,95	108,45	1,49	0,38	0,18	341,59	130,46	1,79	0,37	0,18
14	176.391	303,0	112,0	1,72	0,37	0,00	243,12	89,51	1,38	0,37	0,20	297,01	109,35	1,68	0,36	0,20
15	190.334	300,0	160,0	1,58	0,53	0,00	232,43	124,16	1,22	0,53	0,23	293,24	156,64	1,54	0,52	0,23
16	49.185	218,0	141,0	4,43	0,65	0,00	151,91	98,44	3,09	0,65	0,30	210,26	136,26	4,27	0,63	0,35
17	61.538	279,0	126,0	4,53	0,45	0,00	220,15	99,63	3,58	0,45	0,21	271,65	122,94	4,41	0,44	0,26
18	155.256	326,0	104,0	2,10	0,32	0,00	267,57	85,38	1,72	0,32	0,18	320,16	102,16	2,06	0,31	0,18
19	147.638	322,0	87,0	2,18	0,27	0,00	265,50	71,92	1,80	0,27	0,18	314,01	85,06	2,13	0,26	0,25
20	75.539	254,0	50,0	3,36	0,20	0,00	206,65	40,70	2,74	0,20	0,19	246,92	48,63	3,27	0,19	0,28
21	147.094	378,0	44,0	2,57	0,12	0,00	335,08	38,77	2,28	0,12	0,11	362,34	41,93	2,46	0,11	0,41
22	84.451	248,0	55,0	2,94	0,22	0,00	198,26	43,71	2,35	0,22	0,20	242,36	53,43	2,87	0,22	0,23
23	113.570	257,0	82,0	2,26	0,32	0,00	202,17	64,32	1,78	0,32	0,21	251,52	80,01	2,21	0,31	0,21

Nº dados /estatística descritiva	Produção de refrigerante (litros)	Cenário I					Cenário II					Cenário III				
		Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada	Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada	Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada
24	107.172	288,0	96,0	2,69	0,33	0,00	234,76	78,11	2,19	0,33	0,18	282,09	93,86	2,63	0,33	0,21
25	194.169	354,0	126,0	1,82	0,36	0,00	293,54	104,55	1,51	0,36	0,17	346,58	123,44	1,78	0,35	0,21
26	196.116	344,0	131,0	1,75	0,38	0,00	277,36	105,94	1,41	0,38	0,19	337,34	128,85	1,72	0,37	0,19
27	204.095	400,0	80,0	1,96	0,20	0,00	357,63	71,14	1,75	0,20	0,11	385,77	76,73	1,89	0,19	0,36
28	251.772	417,0	166,0	1,66	0,40	0,00	349,39	138,77	1,39	0,40	0,16	409,22	162,53	1,63	0,39	0,19
29	165.007	392,0	107,0	2,38	0,27	0,00	337,57	91,79	2,05	0,27	0,14	385,30	104,77	2,34	0,27	0,17
30	128.490	300,0	85,0	2,33	0,28	0,00	245,58	69,28	1,91	0,28	0,18	294,04	82,95	2,29	0,28	0,20
31	37.428	174,0	58,0	4,65	0,33	0,00	122,37	40,91	3,27	0,33	0,30	168,84	56,44	4,51	0,32	0,30
32	214.248	321,0	144,0	1,50	0,45	0,00	256,25	114,59	1,20	0,45	0,20	314,52	140,65	1,47	0,44	0,20
33	210.766	344,0	161,0	1,63	0,47	0,00	276,16	129,64	1,31	0,47	0,20	337,22	158,31	1,60	0,46	0,20
34	214.944	381,0	156,0	1,77	0,41	0,00	312,17	127,62	1,45	0,41	0,18	374,12	152,95	1,74	0,40	0,18
35	203.798	358,0	131,0	1,76	0,37	0,00	294,86	108,03	1,45	0,37	0,18	349,44	128,03	1,71	0,36	0,24
36	187.829	352,0	134,0	1,87	0,38	0,00	286,45	108,82	1,53	0,38	0,19	345,44	131,23	1,84	0,37	0,19
37	169.346	322,0	111,0	1,90	0,35	0,00	261,65	90,30	1,55	0,35	0,19	315,97	109,05	1,87	0,34	0,19
38	36.401	193,0	33,0	5,29	0,17	0,00	151,28	25,69	4,16	0,17	0,21	186,59	31,68	5,13	0,16	0,31
39	83.180	254,0	86,0	3,06	0,34	0,00	199,76	67,34	2,40	0,34	0,21	248,37	83,72	2,99	0,33	0,24
40	130.948	347,0	96,0	2,65	0,28	0,00	291,34	80,88	2,22	0,28	0,16	338,71	94,04	2,59	0,27	0,24
41	29.851	205,0	29,0	6,87	0,14	0,00	160,37	22,57	5,37	0,14	0,22	200,12	28,16	6,70	0,14	0,24
42	94.545	227,0	101,0	2,40	0,45	0,00	171,85	76,87	1,82	0,45	0,24	221,06	98,88	2,34	0,44	0,24
43	173.808	299,0	116,0	1,72	0,39	0,00	238,73	92,98	1,37	0,39	0,20	292,97	114,10	1,69	0,38	0,20
44	43.752	155,0	29,0	3,54	0,19	0,00	107,98	20,42	2,47	0,19	0,30	150,30	28,42	3,44	0,18	0,30
45	197.832	304,0	133,0	1,54	0,44	0,00	240,80	104,99	1,22	0,44	0,21	297,68	129,79	1,50	0,43	0,21
46	155.818	413,0	95,0	2,65	0,23	0,00	358,22	82,25	2,30	0,23	0,13	404,28	92,83	2,59	0,22	0,21

Nº dados /estatística descritiva	Produção de refrigerante (litros)	Cenário I					Cenário II					Cenário III				
		Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada	Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada	Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada
47	130.701	258,0	85,0	1,97	0,33	0,00	201,22	66,27	1,54	0,33	0,22	252,32	83,10	1,93	0,32	0,22
48	104.196	276,0	66,0	2,65	0,24	0,00	225,32	54,16	2,16	0,24	0,18	269,76	64,84	2,59	0,23	0,23
49	230.269	364,0	154,0	1,58	0,42	0,00	298,07	125,85	1,29	0,42	0,18	357,20	150,82	1,55	0,41	0,19
50	98.145	276,0	86,0	2,81	0,31	0,00	222,49	68,99	2,27	0,31	0,19	270,65	83,92	2,76	0,30	0,19
51	67.956	188,0	46,0	2,77	0,24	0,00	141,73	34,33	2,09	0,24	0,25	183,37	44,41	2,70	0,24	0,25
52	122.255	303,0	81,0	2,48	0,27	0,00	250,16	66,76	2,05	0,27	0,17	297,42	79,38	2,43	0,26	0,18
53	99.334	240,0	73,0	2,42	0,30	0,00	186,90	56,48	1,88	0,30	0,22	234,69	70,92	2,36	0,30	0,22
54	80.176	268,0	53,0	3,34	0,20	0,00	220,15	43,30	2,75	0,20	0,18	260,06	51,15	3,24	0,19	0,30
55	95.865	214,0	78,0	2,23	0,36	0,00	159,96	58,15	1,67	0,36	0,25	208,60	75,84	2,18	0,35	0,25
56	125.508	256,0	84,0	2,04	0,33	0,00	198,56	65,22	1,58	0,33	0,22	250,26	82,20	1,99	0,32	0,22
57	151.068	315,0	89,0	2,09	0,28	0,00	259,35	73,56	1,72	0,28	0,18	309,44	87,77	2,05	0,28	0,18
58	113.324	256,0	83,0	2,26	0,32	0,00	201,20	65,02	1,78	0,32	0,21	250,52	80,96	2,21	0,32	0,21
59	145.853	268,0	111,0	1,84	0,41	0,00	209,01	86,68	1,43	0,41	0,22	262,10	108,70	1,80	0,41	0,22
60	194.076	320,0	130,0	1,65	0,41	0,00	257,80	104,76	1,33	0,41	0,19	313,78	127,50	1,62	0,40	0,19
61	95.853	234,0	55,0	2,44	0,23	0,00	181,60	42,59	1,89	0,23	0,22	226,27	53,06	2,36	0,23	0,33
62	115.011	307,0	76,0	2,67	0,25	0,00	256,91	63,80	2,23	0,25	0,16	302,08	75,02	2,63	0,24	0,17
63	84.413	241,0	58,0	2,85	0,24	0,00	192,93	46,64	2,29	0,24	0,20	235,27	56,87	2,79	0,24	0,22
64	121.600	269,0	83,0	2,21	0,31	0,00	216,10	66,47	1,78	0,31	0,20	262,70	80,80	2,16	0,30	0,23
65	84.110	232,0	64,0	2,76	0,28	0,00	185,60	51,43	2,21	0,28	0,20	226,60	62,79	2,69	0,27	0,23
66	36.592	177,0	39,0	4,84	0,22	0,00	132,00	29,16	3,61	0,22	0,25	171,22	37,82	4,68	0,21	0,33
67	115.036	311,0	97,0	2,70	0,31	0,00	256,47	80,41	2,23	0,31	0,17	305,35	95,73	2,65	0,31	0,17
68	74.415	222,0	65,0	2,99	0,29	0,00	173,58	50,56	2,33	0,29	0,22	217,35	63,31	2,92	0,28	0,22
69	72.874	238,0	68,0	3,27	0,28	0,00	187,94	53,55	2,58	0,28	0,21	232,08	66,12	3,18	0,28	0,25

Nº dados /estatística descritiva	Produção de refrigerante (litros)	Cenário I					Cenário II					Cenário III				
		Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada	Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada	Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada
70	60.939	215,0	37,0	3,53	0,17	0,00	171,91	29,22	2,82	0,17	0,20	209,53	35,61	3,44	0,17	0,25
71	57.065	200,0	125,0	3,50	0,63	0,00	154,82	97,08	2,71	0,63	0,23	195,48	122,58	3,43	0,61	0,23
72	124.356	242,0	140,0	1,95	0,58	0,00	181,73	104,79	1,46	0,58	0,25	235,97	136,07	1,90	0,56	0,25
73	147.648	236,0	123,0	1,60	0,52	0,00	189,10	98,92	1,28	0,52	0,20	231,31	121,00	1,57	0,51	0,20
74	168.516	322,0	131,0	1,91	0,41	0,00	261,24	106,39	1,55	0,41	0,19	315,92	128,65	1,87	0,40	0,19
75	139.044	289,0	133,0	2,08	0,46	0,00	230,26	106,23	1,66	0,46	0,20	283,13	130,62	2,04	0,45	0,20
76	141.293	299,0	128,0	2,12	0,43	0,00	242,77	103,68	1,72	0,43	0,19	293,38	125,30	2,08	0,42	0,19
77	22.499	162,0	139,0	7,20	0,86	0,00	104,96	90,15	4,67	0,86	0,35	154,90	133,03	6,88	0,82	0,44
78	103.877	265,0	142,0	2,55	0,54	0,00	209,66	112,60	2,02	0,54	0,21	257,73	138,42	2,48	0,52	0,27
79	171.262	346,0	143,0	2,02	0,41	0,00	287,54	118,61	1,68	0,41	0,17	339,00	139,84	1,98	0,40	0,20
80	125.312	329,0	130,0	2,63	0,39	0,00	275,73	108,66	2,20	0,39	0,16	321,89	126,86	2,57	0,39	0,22
81	131.687	279,0	135,0	2,12	0,48	0,00	221,99	107,26	1,69	0,48	0,20	273,30	132,05	2,08	0,47	0,20
82	133.154	292,0	140,0	2,19	0,48	0,00	238,57	114,55	1,79	0,48	0,18	284,82	136,75	2,14	0,47	0,25
83	178.045	326,0	150,0	1,83	0,46	0,00	271,80	125,20	1,53	0,46	0,17	318,76	146,83	1,79	0,45	0,22
84	135.506	294,0	157,0	2,17	0,53	0,00	241,71	129,30	1,78	0,53	0,18	286,22	153,11	2,11	0,52	0,26
85	88.716	242,0	147,0	2,73	0,61	0,00	194,91	118,77	2,20	0,61	0,19	236,31	144,00	2,66	0,60	0,24
86	117.612	222,0	135,0	1,89	0,61	0,00	165,50	100,98	1,41	0,61	0,25	216,35	132,01	1,84	0,59	0,25
87	104.040	215,0	147,0	2,07	0,68	0,00	157,62	107,81	1,51	0,68	0,27	209,26	143,14	2,01	0,67	0,27
88	176.616	294,0	147,0	1,66	0,50	0,00	230,15	115,19	1,30	0,50	0,22	287,62	143,95	1,63	0,49	0,22
89	213.786	352,0	143,0	1,65	0,41	0,00	278,75	113,22	1,30	0,41	0,21	344,67	140,00	1,61	0,40	0,21
90	169.093	379,0	135,0	2,24	0,36	0,00	322,24	114,76	1,91	0,36	0,15	372,06	132,50	2,20	0,35	0,18
Média	133.461,9	291,8	105,0	2,53	0,36	---	235,90	84,14	2,01	0,36	0,20	285,21	102,42	2,47	0,35	0,23
Mínimo	22.498,80	155,0	29,0	1,50	0,12	---	104,96	20,42	1,20	0,12	0,11	150,30	28,16	1,47	0,11	0,16

Nº dados /estatística descritiva	Produção de refrigerante (litros)	Cenário I					Cenário II					Cenário III				
		Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada	Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada	Água captada (m³/d)	Efl. tratado (m³/d)	m³.água/m³.refrigerante	m³efluente/m³.água-captada	m³.água - reuso/ m³.água-captada
Máximo	251.772,0	422,0	166,0	7,20	0,86	---	359,36	138,77	5,37	0,86	0,35	413,08	162,53	6,88	0,82	0,44
Variância	---	4210,3	1434,0	1,09	0,02	---	3734,28	947,57	0,55	0,02	0,0015	4089,1	1377,2	1,01	0,02	0,0025
DP	55.604,15	64,9	38,0	1,04	0,13	---	61,11	30,78	0,74	0,13	0,039	63,95	37,11	1,01	0,13	0,050