

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

IVAN BRÁULIO FREIRE BASTOS

**ESTRATÉGIAS PARA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL E
DESCARTE ZERO DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS –
ESTUDO DE CASO UNIDADE TUBARÃO**

VITÓRIA - ES
2019

IVAN BRÁULIO FREIRE BASTOS

**ESTRATÉGIAS PARA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL E
DESCARTE ZERO DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS –
ESTUDO DE CASO UNIDADE TUBARÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável.

Orientadora: Profa. Dra. Rosane Hein de Campos.

Co orientador: Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves.

VITÓRIA - ES

2019

IVAN BRÁULIO FREIRE BASTOS

**ESTRATÉGIAS PARA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL E DESCARTE
ZERO DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS – ESTUDO DE CASO UNIDADE
TUBARÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável.

Orientadora: Profa. Dr^a. Rosane Hein de Campos.

Co orientador: Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves.

Aprovado em 25 de fevereiro de 2019

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Rosane, Hein de Campos
Orientadora – PPGES/UFES

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves
Co orientador – PPGES/UFES

Prof^a. Dr^a. Edumar Ramos
Examinadora Interna – PPGES/UFES

Prof. Dr. Diogo Buarque
Examinador Externo – PPGEA/UFES

Prof^a. Dr^a. Mariângela Dutra de Oliveira
Examinadora Externo – IFES

À minha esposa Marta Curitiba da Silva Bastos,
aos meus filhos, Guilherme e Ana Clara Bastos.

AGRADECIMENTOS

O meu primeiro agradecimento é a Deus, e ao Mestre dos Mestres, Jesus Cristo, pela graça do dom da vida e da sabedoria em guiar todos os meus passos durante essa jornada em busca do conhecimento.

À minha esposa, Marta Curitiba da Silva Bastos, aos meus filhos, Guilherme Bastos e Ana Clara Bastos, aos meus pais, Theodiano Bastos e Maria do Carmo Bastos e aos meus irmãos, Hosana Bastos Paulino, Cristiane Bastos de Freitas e Teodiano Freire Bastos Filho, pela força nos momentos de fraqueza e sobretudo pelas orações.

Aos professores e orientadores Prof^a Rosane Campos e Ricardo Franci Gonçalves pela orientação, sabedoria na condução, pelas críticas e pela paciência. O empenho de vocês foi fundamental. Sempre dispostos em transferir valiosas informações que puderam ser sintetizadas neste trabalho.

À Banca Examinadora – Prof. Diogo Buarque, Prof^a. Dr^a. Edumar Ramos e Prof^a. Dr^a. Mariângela Dutra de Oliveira, pela disponibilidade de estar presente neste momento de avaliação, pelas discussões e contribuições a este trabalho.

Aos alunos da graduação em Engenharia Ambiental: Eduardo, Laís, Verônica Mantuan, Rayane Guzzo.

Ao Celso Bastos que foi fundamental nos incentivos e nas correções do trabalho.

Ao Professor Paulo Wagner com as valiosas contribuições para melhoria no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus colegas de mestrado: Fernanda Guzzo, Larissa Miranda, Heleno Mariane, Milene Nóbrega, Celso Bastos, sempre apoiando e ajudando na troca de conhecimentos.

Ao meu colega de empresa e do curso: Germano Valentim, pela troca de ideias, parceria e companheirismo nesta empreitada.

Aos meus colegas da VALE: Fernando Peres, Júlio Muniz, Marcelo Gottardi, Adriano Vilela, Austregésilo, Vanicleide Bof, Silas Sarti, Bravim, Carlos Leyva, Luciana

Ponche, Lorena Trabarch, Felipe Ferreira, que muito contribuíram para coleta de dados e extensas reuniões e discussões do tema.

Ao Prof. Diogo Buarque pelas orientações, ensinamentos, críticas construtivas, sempre atencioso e solícito, sem medir esforços em cooperar.

À VALE S.A. pela confiança e permissão para realizar este projeto. Entendendo que cada um dos seus membros deve estar alinhado à visão estratégica: “Crescer e evoluir juntos”.

“Sozinhos somos inteligentes. Juntos somos brilhantes”.

Steven Anderson

RESUMO

No Brasil, há uma falsa impressão da abundância de água como recurso hídrico, pois há somente 14% das águas doces do planeta e 53% do continente sul americano. Além disso, a distribuição natural é feita de forma irregular nas diferentes regiões do Brasil. Considerando-se que a Unidade Industrial de Tubarão está instalada em uma região que nos últimos anos tem passado por estresse hídrico com racionamento de água, tal como ocorreu em 2014, e devido à crescente pressão sobre os recursos naturais de água doce e da variabilidade climática, espera-se aumentar a necessidade de armazenamento de água durante os períodos chuvosos. Assim, para permitir a sustentabilidade dos seus negócios, a indústria foi levada a estudar estratégias de explorar fontes alternativas de água não potável e melhorar os seus processos produtivos com o objetivo de mitigar o risco de parar a sua produção em função da falta d'água. Adiciona-se a este cenário, o crescimento do setor industrial e a rápida expansão urbana, a qual potencializa ainda mais a construção de cenários de escassez hídrica no País (FIESP, 2005). Após um estudo criterioso da corrente hídrica de Tubarão, considerando as ofertas de água (entradas), os blocos consumidores e as saídas (perdas físicas, aparente, desperdícios, infiltração, evaporação, umidade do produto, entre outros), observou-se que em períodos de chuvas intensas há descarte de efluente líquido para o mar por falta de capacidade de armazenamento. Após tratamento, este descarte poderia retornar totalmente ao processo produtivo e ser utilizado como água de reposição dos reservatórios de reuso. Assim haveria uma economia de água potável, pois atualmente essa reposição é feita com este tipo de água. É neste contexto que este estudo se insere, tendo como principal objetivo utilizar a água de chuva como uma fonte alternativa nas atividades que não demandam água potável. Também neste estudo será dimensionado um reservatório com capacidade adequada para ofertar água de reposição e evitar descarte de efluentes líquidos para corpos receptores. O estudo do balanço hídrico da Unidade de Tubarão demonstrou que a vazão média do consumo de água é de 13 milhões de m³/ano, sendo que 62% retorna ao processo produtivo para ser reutilizado, e apenas 4% de toda a água que circula na unidade industrial é descartado para o mar. Também ficou evidente que, aproximadamente, 2,5 milhões de m³/ano de água potável (19%) é utilizada para

repor água (não potável) nos reservatórios de reuso de Tubarão. Considerando esta situação, este trabalho avaliou a possibilidade de construir um reservatório adicional para o armazenamento das águas de chuva, de forma a evitar o descarte para o mar. Adicionalmente, neste trabalho sugere-se o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos e implantação de um programa com foco na conscientização e na manutenção dos equipamentos, com vista a melhorarias em seus processos produtivos para combater o desperdício e os vazamentos de água.

Palavras chave: Reuso. Aproveitamento de Água. Balanço Hídrico. Água Industrial. Água de chuva.

ABSTRACT

In Brazil, there is a false impression of abundance of water as a water resource, as there is only 14% of the fresh water of the planet, and 53% of the South American continent. In addition, its natural distribution is irregular in different regions of Brazil. Considering that the "Tubarão" Industrial Company is located in a region that in recent years has experienced water stress with water rationing, as occurred in 2014, the increasing pressure on natural freshwater resources, and due to the climatic variability, it is expected a need for water storage during rainy periods. Thus, to allow the sustainability of its business, the industry has been led to study strategies to explore alternative sources of non-potable water and improve its production processes in order to mitigate the risk of stopping its production, due to the lack water. In addition to this scenario, there is the growth of the industrial sector and rapid urban expansion, which further potentiates the water scarcity in the country (FIESP, 2005). After a careful study of the Tubarão's water flow, and considering the water supply (inputs), the consumer blocks, and the outputs (physical losses, apparent losses, infiltration, evaporation, product humidity, among others), it was observed that in periods of intense rainfall there is discharge of liquid effluent into the sea, due to the lack of storage capacity. After treatment, this disposal could return totally to the production process and be used as replacement water for the reuse reservoirs. Thus, there would be a saving of potable water, since currently this replacement is made with this kind of water. It is in this context that this study is inserted, having as main objective to use rainwater as an alternative source in the activities that do not demand drinking water. Also, this study dimensions a reservoir with adequate capacity to supply replacement water and avoid discarding of liquid effluents to receiving bodies. As a result, the study of the water balance of the Tubarão Company demonstrated that the demand for water is 13 million m³ / year, 62% of which returns to the productive process to be reused, with only 4% of all the water circulating in the industrial unit is discarded to the sea. It was also evident that approximately 2.5 million m³ / year of drinking water (19%) is used to replenish (non-potable) water in the Tubarão reuse reservoirs. Considering this situation, this work evaluated the possibility of constructing an additional reservoir for rainwater and avoiding the discharge into the sea. Nevertheless, this work suggests the

improvement of the management of water resources and the implementation of a program focused on awareness and maintenance of equipment with improvements in their production processes to combat waste and water leaks.

Key words: Reuse. Water Utilization. Hydric balance. Industrial Water. Rain water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Priorização das ações de conservação da água.....	23
Figura 2 - Conservação e reuso da água	24
Figura 3 - Poços Profundos Figura 4 - Barreiras Hidráulicas	34
Figura 5 - Hierarquização de medidas técnicas preventivas para reduzir fontes de efluentes líquidos.....	37
Figura 6 - Esquemático do fluxo de água simplificado da Unidade de Tubarão	41
Figura 7 - Fluxo de Processo de Pelotização Usinas I a VI.....	43
Figura 8 - Vista panorâmica do Unidade de Tubarão – Vitória ES.....	46
Figura 9 – Identificação das áreas de abrangência das Diretorias da Unidade de Tubarão	47
Figura 10 - Vista superior da localização dos Poços profundos da Unidade de Tubarão	48
Figura 11 - Vista superior das Barreiras Hidráulicas (BHs) localizadas na Praia de Camburi.....	48
Figura 12 - Vista superior das Barreiras Hidráulicas (BHs) localizadas em Paria Mole	49
Figura 13 – Subdivisões dos blocos Consumidores da Unidade de Tubarão	49
Figura 14 - Circuito de água recirculada da Unidade de Tubarão.....	50
Figura 15 - Localização da bacia de decantação 1 da Unidade de Tubarão.....	51
Figura 16 - Localização das bacias de decantação 2 e 3 da Unidade de Tubarão....	53
Figura 17 – Representa as fontes de entrada de água na Unidade de Tubarão.....	57
Figura 18 – Localização dos hidrômetros instalados no sistema de rede de água recirculada (reuso) de Tubarão	59
Figura 19 – Localização da estação pluviométrica nº 83648	60
Figura 20 – Definição das áreas de contribuição do sistema de drenagem da região da DIPE	61
Figura 21 – Planilha Solver MSExcel®	66
Figura 22 – Série histórica de vazão de consumo de água na Unidade de Tubarão em 2017.....	70
Figura 23 - Consumo mensal de Água Nova em Tubarão nos anos de 2015 a 2018	71
Figura 24 - Aumento da Produção x Redução do consumo específico de água	72

Figura 25 - Blocos Consumidores na Unidade de Tubarão.....	74
Figura 26 - Distribuição da oferta de água nova na Unidade de Tubarão	75
Figura 27 - Oferta de água para os Blocos Consumidores do Nível 1	76
Figura 28 - Oferta de água para os Blocos Consumidores do Nível 1	76
Figura 29 - Distribuição do percentual de toda água utilizada na Unidade de Tubarão	78
Figura 30 – Série Histórica das vazões de consumo de água de Reuso (não potável) na Unidade de Tubarão em 2017	79
Figura 31 - Área Equivalente considerada para o cálculo de água de chuva	80
Figura 32 - Média mensal das precipitações (2007-2016) - INMET.....	81
Figura 33 - Comparação dos Volumes de Água Nova da Unidade de Tubarão e Oferta de Água da Chuva da área equivalente da DIPE.....	82
Figura 34 - Comparação dos Descartes (extravasamentos) x Precipitação mensal..	83
Figura 35 - Balanço Hídrico do Unidade de Tubarão antes da reconciliação dos dados	85
Figura 36 - Representação gráfica das diversas saídas da Unidade de Tubarão.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Perda diária de água em função de vazamentos de água em torneiras ...	25
Tabela 2 - Grau de tratamento necessário	33
Tabela 3 - Legislações vigentes relacionado a água.....	36
Tabela 4 - Benefícios pela prática e conservação e reuso de água na indústria.....	40
Tabela 5 - Coeficientes de Runoff.....	61
Tabela 6 - Cálculo do volume do reservatório considerando precipitação.....	68
Tabela 7 – Consumo médio mensal de água na Unidade de Tubarão	69
Tabela 8 - Demanda de Água Nova na Unidade de Tubarão	71
Tabela 9 - Consumo específico de água de alguns setores industriais	72
Tabela 10 - Consumo de água dos Blocos da Unidade de Tubarão	74
Tabela 11 - Composição de consumo de Água Nova (as águas de Poços e Barreiras Hidráulicas na Unidade de Tubarão	Erro! Indicador não definido.
Tabela 12 - Distribuição percentual do consumo de Água Nova de Tubarão	78
Tabela 13 - Consumo de água de reuso em empresas de mineração grande consumidoras de água.....	79
Tabela 14 - Cálculo da Área Equivalente e Coeficiente de escoamento (C).....	81
Tabela 15 - Produção mensal de água de chuva da DIPE.....	82
Tabela 16 - Vazões medidas e estimadas (Vm) e valor de QI.....	87
Tabela 17 - Solução da ferramenta Solver do MSEXcel	89
Tabela 18 - Relações entre as vazões reconciliadas e vazões medidas	90
Tabela 19 - Vazões médias e percentuais das diversas saídas de água em Tubarão	91
Tabela 20 - Dados das simulações da demanda e do volume do reservatório (Simulação Inicial)	93
Tabela 21 - Cálculo do volume do reservatório para demanda de 30.608m ³ /mês (Simulação Final).....	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Uso de água de diversas atividades industriais	39
Quadro 2 - Etapas para o estudo do gerenciamento dos recursos hídricos nos processos de produção	54
Quadro 3 - Planilha de coleta de dados mensais da água Setor Primário (CESAN + POÇOS E BARREIRAS HIDRÁULICAS)	56
Quadro 4a e 4b - Coleta mensal da oferta de água para os Blocos Consumidores..	58
Quadro 5 - Qualidade da Informação e Fontes de Informação	64

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A	Área
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
AMWUA	Municipal Water Users Association
Ac	Área de captação
B	Largura do telhado
BH	Balanço hídrico
BHR	Balanço hídrico reconciliado
C	Coefficiente de escoamento
CESAN	Companhia Espírito Santense de Saneamento
IAC	Informação de altíssima confiança
ICA	Informação de confiança alta
ICB	Informação de confiança baixa
ICM	Informação de confiança média
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IP	Informação precária
IPC	Informação pouco confiável
l	Litros
l/ano	Litros por ano
L/hab.dia	Litros por habitante por dia
l/mês	Litros por mês
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico

m ³ /ano	Metro cúbico por ano
m ³ /mês	Metro cúbico por mês
mm	Milímetros
P	Precipitação
PCRA	Programa de Conservação e Reuso de Água
QI	Qualidade da informação
QDM	Quantidade de dias no mês
S	Correntes líquidas de saídas
S.A.	Sociedade anônima
TECLIM	Rede de Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos da Bahia - UFBA
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFBA	Universidade Federal da Bahia
Vof	Volume da oferta de água
Vm	Vazão Medida
Vr	Vazão Reconciliada

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	OBJETIVOS	22
2.1	OBJETIVO GERAL	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1	CONSERVAÇÃO DE ÁGUA	23
3.2	USO RACIONAL E APROVEITAMENTO DE FONTES ALTERNATIVAS NO SETOR INDUSTRIAL	26
3.2.1	<i>Aproveitamento da Água Da Chuva</i>	28
3.2.2	<i>Aproveitamento de Águas Cinzas E Negras</i>	32
3.2.3	<i>Aproveitamento Da Água De Poços Profundos E Barreiras Hidráulicas</i>	33
3.2.4	<i>Uso Racional De Água No Setor Industrial</i>	35
3.2.5	<i>Reuso De Água Na Fabricação De Pelotas De Minério</i>	41
3.2.6	<i>Fluxo de Água no Processo de Pelotização na Indústria Mineradora</i>	42
3.3	BALANÇO HÍDRICO – BH	44
4	METODOLOGIA	46
4.1	LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO – ÁREA DE ESTUDO	46
4.1.1	<i>Descrição dos Dois Circuitos de Água da Unidade De Tubarão</i>	49
4.2	OBJETIVO 1 - ESTUDAR O CONSUMO DE ÁGUA E AVALIAR O POTENCIAL DE DIFERENTES CORRENTES LÍQUIDAS EM SUPRIR A DEMANDA POR ÁGUA POTÁVEL DA UNIDADE DE TUBARÃO	53
4.2.1	<i>Etapa 1: Avaliação Técnica e Diagnóstico do Uso da Água</i>	55
4.2.2	<i>Etapa 2: Avaliação da Demanda de Água</i>	55
4.2.3	<i>Etapa 3: Avaliação da Oferta de Água</i>	57
4.2.3.1	<i>Água Nova</i>	57
4.2.3.2	<i>Água de Reuso</i>	59
4.2.3.3	<i>Água de chuva</i>	60
4.3	OBJETIVO 2 – REALIZAR O BALANÇO HÍDRICO (BH) DA UNIDADE DE TUBARÃO, CONSIDERANDO TODAS AS CORRENTES LÍQUIDAS DE ENTRADAS E SAÍDAS DA UNIDADE DE TUBARÃO	62
4.3.1	<i>Identificação dos Pontos de Consumo de Água e Geração de Efluentes</i>	63

4.3.2	<i>Fluxograma do Balanço Hídrico</i>	64
4.3.3	<i>Avaliação da Demanda de Água, Medição e Estimativa das Vazões e Definição da Qualidade da Informação (QI)</i>	64
4.3.4	<i>Balanço Hídrico Reconciliado (BHR)</i>	65
4.3.5	<i>Análise dos Dados e Validação do Balanço Hídrico Reconciliado (BHR)</i>	66
4.3.6	<i>Melhoria da Qualidade da Informação</i>	66
4.4	OBJETIVO 3 – DESENVOLVER UM PLANO ESTRATÉGICO PARA O APROVEITAMENTO EFICIENTE DA ÁGUA DE CHUVA NOS PROCESSOS PRODUTIVOS E REDUÇÃO DO DESCARTE DE EFLUENTES LÍQUIDOS	67
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
5.1	FLUXO DAS CORRENTES LÍQUIDAS DA UNIDADE DE TUBARÃO	72
5.1.1	<i>Avaliação Técnica e Diagnóstico do Uso de Água</i>	72
5.1.2	<i>Avaliação da Demanda de Água (Blocos Consumidores)</i>	73
5.1.3	<i>Avaliação da Oferta de Água</i>	75
5.1.3.1	<i>Água Nova</i>	75
5.1.3.2	<i>Água de Reuso</i>	78
5.1.3.3	<i>Água de Chuva</i>	80
5.2	BALANÇO HÍDRICO DA UNIDADE DE TUBARÃO	84
5.3	ESTRATÉGIA DE APROVEITAMENTO DE FONTES NÃO POTÁVEIS E ZERAR O DESCARTE DE EFLUENTE LÍQUIDO EM CORPOS RECEPTORES	93
6	CONCLUSÕES	95
7	RECOMENDAÇÕES	96
8	REFERÊNCIAS	97
7	ANEXOS E APÊNDICES	105

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as externalidades ambientais associadas ao setor industrial e ao rápido crescimento urbano, contribuem para a construção de cenários de escassez hídrica. Para agravar ainda mais este cenário, as indústrias concentram-se em regiões que apresentam elevado grau de urbanização, formando assim um ambiente de competição pelos recursos hídricos.

Mediante à competição exacerbada com centros urbanos e devido à falta desses recursos na natureza, as indústrias buscam cada vez mais reduzir o consumo de água e investir em novas fontes de abastecimento e reutilização, para fins produtivos e melhoraria em seus processos e funcionamento, porém, de acordo com Hurlimann (2011), o grande impasse para a implementação das medidas de conservação de água pelas empresas, tais como, estações de tratamento e cisternas, está relacionado aos custos do investimento e as barreiras físicas.

Problemas enfrentados pela empresa de mineração VALE que possui um grande consumo de água em suas atividades de exportação de minério e de fabricação de pelotas de minério de ferro. Nesta empresa foi realizado o estudo de caso deste trabalho. Ela se encontra em uma zona conflituosa com as comunidades de dois municípios de Vitória e Serra, Espírito Santo. E embora ampliando suas ações, aportando vultosos recursos financeiros em projetos ambientais, na busca pelo equilíbrio do convívio com a população local e para redução dos impactos no meio ambiente, ainda a empresa convive com incertezas no fornecimento de água pelas concessionárias locais, as constantes mudanças climáticas e o crescimento urbano, que criam inseguranças na garantia de estabilidade da oferta de água para o setor industrial.

Logo, não só no caso da Vale, mas as indústrias, em centros urbanos, necessitam estudar estratégias de explorar fontes alternativas de água não potável, minimizando o impacto ambiental, o estresse hídrico e a pressão sobre os recursos naturais (KUMAR, 2014, NAIR *et. al.* 2014; NICOLETTE; BURR; ROCKEL, 2013; NETO *et al.*, 2012; SINGH; KHEDUN; MISHRA, 2014 2014; WIENER; JAFVERT). Para isso é necessário levar em consideração o conceito NEXUS, do qual não há como tratar de forma separada os assuntos que envolvam o uso da água, o ambiente, os alimentos,

a energia e o crescimento da população, necessitando assim de um equilíbrio entre esses elementos (QIN, *et al.*, 2015) .

Neste contexto, ressalta-se a importância de observar alguns conceitos de conservação de água na fase de concepção de projetos, tornando a implantação desses conceitos mais eficiente em termos de consumo de água e energia (AL-SALLAL; AL-RAIS; DALMOUNK, 2013; GILRON, 2014). Assim, durante a fase de estudos, para implantação de projetos de conservação, tanto a água quanto a energia, que são recursos finitos, exercem forte pressão para torná-los viáveis. Num pensamento reducionista, a relação água x energia deve estar conectada, de tal modo que possa proporcionar um papel proeminente neste roteiro sustentável (CHEESMAN, BENNETT e SON, 2008).

Tratando-se de um papel mais sustentável o Balanço Hídrico (BH) é uma ferramenta fundamental, pois auxilia na gestão dos recursos hídricos, permite diagnosticar a situação atual de um setor produtivo, a partir do conhecimento das vazões das entradas e saídas de um sistema, com isso pode-se atuar nos principais pontos, para se obter a redução do uso da água e identificação de áreas, onde a água tem potencial de reuso. Este Balanço Hídrico foi a ferramenta utilizada para desenvolver este trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Definir estratégias de conservação de fontes naturais por meio de aproveitamento de fontes alternativas não potáveis e do descarte zero de efluente industrial da Unidade Tubarão.

2.2 Objetivos Específicos

1. Estudar o consumo de água e avaliar o potencial de diferentes correntes líquidas em suprir a demanda por água potável na Unidade de Tubarão;
2. Realizar o balanço hídrico (BH) da Unidade de Tubarão, considerando todas as correntes líquidas de entradas e saídas;
3. Desenvolver um plano estratégico para o aproveitamento eficiente da água de chuva nos processos produtivos e redução do descarte de efluentes líquidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

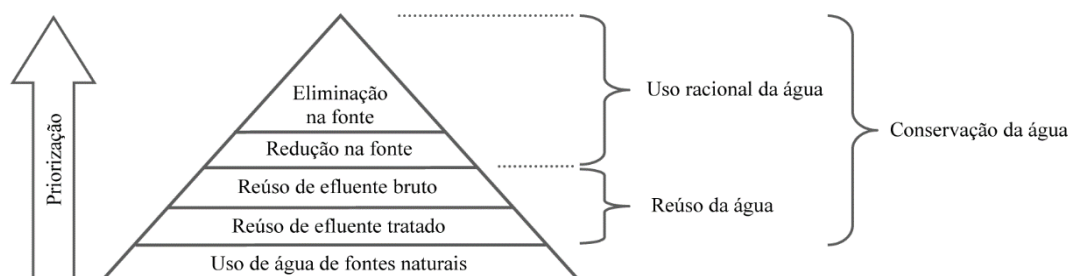
3.1 Conservação De Água

Historicamente a água sempre foi um recurso fundamental para o desenvolvimento das civilizações, estando associada às necessidades básicas do ser humano e das atividades do setor agrícola e industrial. O cenário de escassez observado em algumas regiões brasileiras, é provocado, principalmente, pela distribuição desordenada da água e pelo aumento da demanda que contribuem, para desencadear um panorama competitivo por este recurso, gerando conflitos locais e regionais. Neste sentido, a busca por práticas que levam à conservação dos recursos hídricos deve-se buscar de forma incansável (WEBER C. C, CYBIS L. F., Beal L. L, 2010).

A conservação da água pode ser definida como as práticas que propiciam a melhoria da eficiência do seu uso, conservá-la significa atuar de maneira sistêmica tanto na demanda como na oferta. Os autores Weber C. C, Cybis L. F., Beal L. L (2010), afirmam que conservação de água é toda e qualquer ação que reduza a quantidade desta extraída da natureza, o consumo, as perdas, os desperdícios e que contribuam para a redução da poluição. Já Gonçalves *et. al.* (2006) explica que a evolução do conceito de uso racional para conservação de água consiste na associação da gestão na demanda e da oferta desta. Para determinadas atividades produtivas, que necessitam de água com qualidade inferior ou não potável, a oferta pode ser suprida por água de reuso ou de chuva, sem comprometer a qualidade final do produto.

Alwi *et. al.* (2008) relata que para as ações referentes ao uso da água sejam efetivas, devem respeitar uma hierarquia de prioridades, quando não for possível eliminar o uso da água potável. Conforme ilustrado na Figura 1:

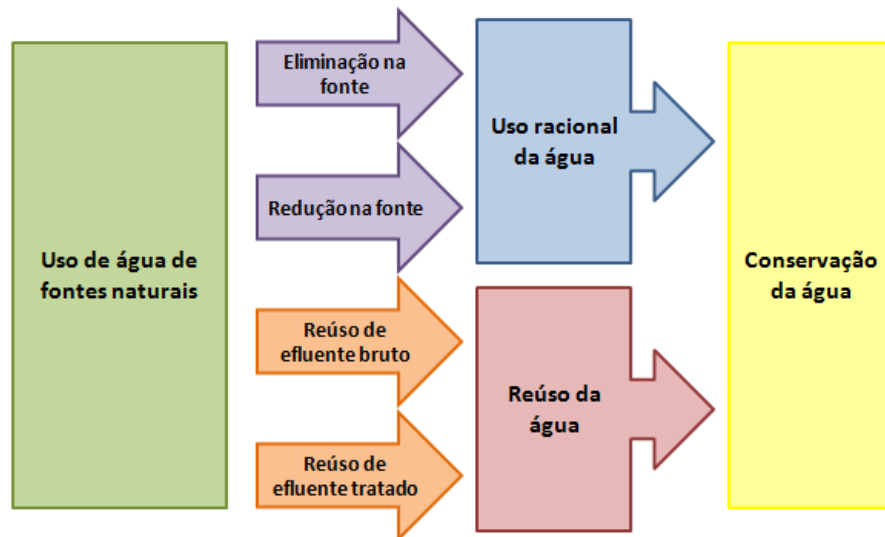
Figura 1 – Priorização das ações de conservação da água



Fonte: Adaptado Alwi *et. al.* (2008)

Além de Weber, Cybis, Beal (2010), outros autores como Gois; Rios; Costanzi (2015) também enfatizam que a prática de conservação de água é uma forma eficaz para atender à demanda, preservando o meio natural. A Figura 2, ilustra uma representação esquemática de um processo de conservação de água.

Figura 2 - Conservação e reuso da água



Fonte: Adaptado de Weber, Cybis e Beal (2010).

O esquema proposto, na Figura 2, sugere que para conseguir realizar a conservação de água, é necessário eliminar ou reduzir o consumo de água na fonte e praticar o reuso do efluente líquido após um processo de tratamento.

Outra forma de atuar na conservação de água é instalar equipamentos economizadores e na otimização dos sistemas hidráulicos Gude; Nirmalakhandan; Deng (2010). Gonçalves (2006), também comenta que, outras ações associadas à redução do consumo de água, tais como: uso racional e consciente deve ser observado no sentido de conservar água. O consumo consuntivo de água é aquele necessário para a realização das diferentes atividades, sendo que o desperdício pode ser decorrente do uso excessivo e/ou de perdas. Seguindo este raciocínio, de forma geral, o consumo total de água pode ser definido como:

$$\text{CONSUMO DA ÁGUA} = \text{CONSUMO} + \text{DESPERDÍCIO} + \text{PERDAS}$$

Ainda de acordo com Gonçalves, *et.al.* (2006), as perdas definidas como quantidades de água disponibilizadas para uso, acontecem em virtude de

deficiências técnicas, operacionais, econômicas ou gerenciais, a água não é utilizada para o que foi destinada. As perdas podem ser caracterizadas por:

- a. Perdas reais: que são consequências de vazamentos nas instalações, nos equipamentos e pela ineficiência do sistema.
- b. Perda aparente: também chamadas de perdas não físicas, são parcelas de água que não foram contabilizadas pela companhia de saneamento. Decorrem de erros de medição nos hidrômetros, fraudes (ligações clandestinas) e por falhas ou ausência de cadastramentos de pontos consumidores.
- c. Desperdício é resultado do mau uso realizado pelo usuário ou por parâmetros de utilização de água inadequados e aplicados em alguns processos produtivos, ou ainda, por mau comportamento por parte do usuário (pessoas, empresas, órgãos públicos e outros).

Um sistema hidráulico sem manutenção adequada pode perder boa parte da água por vazamentos. Tanto que uma pesquisa feita por Gonçalves (2006), em residências de diversos estados dos EUA, as perdas por vazamentos chegaram a 13,7% do consumo total interno das edificações.

Em geral, com pequenos investimentos para a correção das perdas existentes são obtidas significativas reduções de consumo. Isto é, desperdícios de água por vazamentos em torneiras provocam danos diários, os quais se observam na Tabela 1, considerando o tipo de vazamento, a frequência e a perda diária que podem ocorrer:

Tabela 1– Perda diária de água em função de vazamentos de água em torneiras

VAZAMENTO	FREQUENCIA (gotas/min)	PERDA DIARIA (litros/dia)
Gotejamento lento	Até 40 gotas/min	06 a 10
Gotejamento médio	$40 < n^{\circ} \text{ gotas/min} \leq 80$	10 a 20
Gotejamento rápido	$80 < n^{\circ} \text{ gotas/min} \leq 120$	20 a 32
Gotejamento muito rápido	Impossível de contar	> 32
Filete diâmetro≈ 2mm	—	>114
Filete diâmetro≈ 4mm	—	>333

Fonte: Adaptado Oliveira (2004)

Diante dessas possíveis ocorrências de mau uso da água, torna-se necessário a elaboração de um plano estratégico, para utilizar melhor o recurso, mas antes de elaborá-lo é fundamental realizar um diagnóstico do consumo. Para isso, alguns parâmetros devem ser observados tais como: as instalações físicas da unidade industrial e as atividades que consomem maior volume de água, as quais definirão as ações do planejamento proposto. Neste caso é necessário usar o Programa de Uso Racional de Água (PURA – SABESP).

Tais atividades culminam em práticas sustentáveis, que são fatores motivadores para o uso racional e o reuso de água. Além de proporcionar benefícios do ponto de vista ambiental, práticas sustentáveis também criam uma imagem positiva para a empresa que as adotam.

3.2 Uso Racional E Aproveitamento De Fontes Alternativas No Setor Industrial

As indústrias, por serem meras consumidoras de água, contribuem para o cenário de escassez hídrica. Para que este problema não afete suas operações, devem promover iniciativas para reduzir o risco da falta de água em seus processos produtivos. Silveira, M. e Araújo, N. (2003) alertam ainda que, a utilização não sustentável desses recursos provoca mudanças ecológicas irreversíveis. Nicolette, Burr e Rockel (2013), relatam que a pressão nos ecossistemas não está somente no setor das indústrias, mas também ao crescimento populacional. Por isso Singh, Khedun e Mishra (2014) descrevem que a gestão da água para um futuro sustentável exigirá alterações nos processos industriais e nas vidas das pessoas.

Assim, os programas que atuam com ações de uso racional, tal como o Programa de Conservação de Água – PCA, quando implantado de forma sistêmica e efetiva, tem como resultado a otimização do consumo de água e conseqüentemente a redução de efluentes gerados, ainda assim consideram a utilização de fontes alternativas.

O PCRA – Programa de Conservação e Reuso de Água, envolve um conjunto de ações específicas de racionalização do uso da água, que devem ser detalhadas a partir da realização de uma análise de demanda e oferta de água, em função dos usuários e atividades consumidoras (FIESP/CIESP, 2004). Já o PURA – Programa de Uso Racional de Água atua em três vertentes do uso racional da água:

- Tecnologia que adota a aplicação das normas técnicas;
- Mobilização que consiste na implementação de sistemas de reuso;
- Aproveitamento de águas e gestão cujo foco é a manutenção dos sistemas de reservação de água (PURA, 2013).

A aplicação dos programas requer pleno conhecimento do uso da água em toda a área industrial, de maneira a identificar os maiores consumidores e as melhores ações a serem realizadas.

Há também programas de sensibilização dos usuários, conforme apresentados por Gonçalves (*et al.* 1999 b), os quais atuam através de ações de comunicação destinada aos usuários, por meio de palestras realizadas a funcionários e àqueles responsáveis pela manutenção de sistemas, cujo objetivo é de informá-los dos procedimentos adequados e a forma correta de utilização dos aparelhos hidros sanitário.

Neste contexto, fazendo uma associação de um sistema predial, Oliveira (1999), sugere uma definição para uso racional da água, considerando duas opções operacionais em um prédio:

- Atuação – ação que influencia a redução de consumo, por exemplo, a instalação de componentes economizadores de água;
- Controle – ação que auxilia a estabilização do consumo de água nos níveis mínimos alcançados, por exemplo, a monitoração sistemática do consumo de água e a manutenção adequada do sistema predial.

Investir em tecnologias que tratem a água, para uso não potável passa a ser uma nova realidade de investimento sustentável, oferecendo, em alguns casos, a recuperação do investimento em poucos anos a partir da economia obtida (ECOCASA, 2014). Para Alwi *et. al.* (2008), pode-se reduzir o consumo, com instalação de dispositivos economizadores, programas educativos ou ações que mitigam o consumo de água. É fundamental que a gestão dos recursos hídricos seja direcionada para o uso racional (BEAL; STEWART, 2014; FIDAR, MEMON, BUTLER, 2016).

Ademais, as estratégias para o emprego das fontes alternativas de água dependem das características necessárias para determinada utilização (PATTANAYAK; YANG,

2005). O destino de utilização é quem vai determinar o tipo de tratamento adequado para o seu uso (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006).

3.2.1 Aproveitamento da Água Da Chuva

A água da chuva é intermitente, ou seja, depende de fatores climáticos para ocorrer, entretanto, notabiliza-se sua importância como um componente alternativo de utilização e conservação de fonte natural de água (CHUNG; LEE, 2009; YANG *et. al.*, 2012). O aproveitamento, além de reduzir o consumo de água potável, também é uma alternativa para combater as enchentes, desafogando o sistema de drenagem do complexo industrial, principalmente em períodos de chuvas intensas (AMORIM; PEREIRA, 2007).

Entretanto, deve-se levar em conta que a água da chuva acaba por se contaminar com as impurezas do leito ou do sistema de captação que ela percorre, tornando-a imprópria para uso potável, sendo necessário um tratamento adequado. Porém, sua purificação não necessita de sistemas complexos de tratamento (MARINOSKI; GHISI; GOMEZ, 2004).

Uma das estratégias para evitar o descarte e reservar água de chuva, é dimensionar um reservatório. O dimensionamento do reservatório deverá ser elaborado criteriosamente, de forma que garanta que o sistema tenha viabilidade técnica e econômica, pois um dos itens mais caro no aproveitamento de águas pluviais é a construção do reservatório. Outros autores afirmam que a viabilidade econômica de um sistema que tenha o objetivo de aproveitar a água da chuva, em atividades que não demandam água potável, tem relação com o seu uso final, além de considerar que os custos para o seu tratamento são bastante reduzidos (GOIS; RIOS; COSTANZI, 2015; EROKSUZ; RAHMAN, 2010; GHISI; BRESSAN; MARTINI, 2007; GHISI; FERREIRA, 2007; JONES; HUNT, 2010; KHASTAGIR; JAYASURIYA, 2010; LI; BOYLE; REYNOLDS, 2010; RAHMAN KEANE; IMTEAZ, 2012; DOMÈNECH; SAURÍ, 2011).

Para o dimensionamento do reservatório de água pluvial, a NBR 15527 sugere seis métodos distintos, a norma também define que fica a critério do projetista a escolha do método que melhor irá atender aos seus requisitos. Um dos fatores que influenciam para o dimensionamento do reservatório está relacionada à área de contribuição, ao índice pluviométrico da região em que está se analisando o

fenômeno, a intensidade, ao período de retorno, ao coeficiente de escoamento da área de contribuição, entre outros. Rupp (2011) realizou um estudo descrevendo a forma de utilização dos seis métodos sugeridos pela norma:

1) Método Rippl:

Utiliza séries históricas de precipitações, transformadas em vazões que alimentam o reservatório. Para o dimensionamento devem ser determinados a demanda média de água pluvial, a área da superfície de captação e o coeficiente de runoff (coeficiente de escoamento superficial, quociente entre a água que escoia superficialmente e o total de água precipitada).

O dimensionamento por esse método, inicia-se pelos cálculos do volume de água pluvial no tempo t e do volume de água pluvial no tempo t , expressos pelas equações 1 e 2, respectivamente.

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (1)$$

$$Q(t) = C \times P \times A \quad (2)$$

Em que:

$S(t)$ é o volume de água pluvial no reservatório no tempo t (L);

$D(t)$ é a demanda ou consumo pluvial no tempo t (L);

$Q(t)$ é o volume de água pluvial no tempo t (L);

C é o coeficiente de escoamento superficial;

P é a precipitação média do tempo t (mm);

A é a área de captação em projeção no terreno (m^2).

A capacidade do reservatório de água pluvial é por meio da equação 3.

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

Em que:

V é o volume do reservatório (L), sendo $\sum D(t) < \sum Q(t)$.

2) Método da Simulação:

Esse método baseia-se na determinação do consumo que será atendido por um reservatório com um tamanho previamente definido. Uma de suas características é que ele possibilita determinar a eficiência do sistema, pois os períodos em que o reservatório está suficientemente abastecido com água pluvial são relacionados com

todo o período que está sendo considerado na simulação. A NBR 15527 (ABNT, 2007) recomenda que para esse método, a evaporação de água não seja levada em consideração.

Inicia-se o dimensionamento do reservatório, calculando o volume de água pluvial no tempo t e o volume de água pluvial no reservatório no tempo t , através das equações 4 e 5, respectivamente, que devem ser aplicadas para cada mês do ano.

$$Q_{(t)} = C \times P \times A \quad (4)$$

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (5)$$

Em que:

$Q_{(t)}$ é o volume de água pluvial no tempo t (L);

C é o coeficiente de escoamento superficial;

P é a precipitação média do tempo t (mm);

A é a área de captação em projeção no terreno (m^2);

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

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

$D_{(t)}$ é a demanda ou consumo pluvial no tempo t (L).

Em seguida, determina-se o volume do reservatório V que atenda, para o primeiro mês (janeiro, por exemplo), à condição $V \geq S_{(t)} \leq 0$. Caso esta condição se confirme para os 11 (onze) meses do ano, esse volume V é o do reservatório. Caso contrário, deve-se determinar outro volume que atenda a esta condição para todo os 12 meses do ano.

3) Método Prático Brasileiro ou Método Azevedo Neto:

É um método empírico que a NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta. O volume do reservatório de água é calculado por meio da Equação 6

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (6)$$

Em que:

V é o volume do reservatório (L)

P é a precipitação média do tempo t (mm); e

A é a área de captação em projeção no terreno (m^2);

T é o número de meses de pouca chuva ou seca.

A NBR 15527 (ABNT, 2007) não especifica a maneira de determinar o número de meses de pouca chuva.

4) Método Prático Alemão:

Neste método, o volume do reservatório de água pluvial será o menor valor entre 6% do volume de água pluvial anual e 6% da demanda anual de água não potável conforme Equação 7.

$$V_{\text{adotado}} = \text{mínimo} \begin{cases} V \times 0,06 \\ D \times 0,06 \end{cases} \quad (7)$$

Em que:

V é o volume de água pluvial anual (L);

D é a demanda anual de água não potável (L); e

V_{adotado} é o volume do reservatório (L).

5) Método Prático Alemão:

Segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007) o dimensionamento do reservatório de água pluvial, deve-se utilizar a Equação 8.

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (8)$$

Em que:

V é o volume do reservatório (L);

P é a precipitação média do tempo t (mm); e

A é a área de captação em projeção no terreno (m²).

6) Método Prático Australiano:

Neste método, primeiro se calcula o volume de água pluvial por meio da Equação (9).

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (9)$$

Em que:

Q é o volume de água pluvial (L);

C é o coeficiente de escoamento superficial;

P é a precipitação média do tempo t (mm);

A é a área de captação em projeção no terreno (m²);

I é a interceptação da água que molha as superfícies e as perdas por evaporação (a NBR 15527 (ABNT, 2007), recomenda 2 mm).

O cálculo do volume do reservatório é feito por tentativas, por meio da Equação (10) (no primeiro mês considera-se o reservatório vazio), até que seja alcançado um valor dentro de um intervalo de confiança de 90% a 99%.

$$V(t) = V(t-1) + Q(t) - D(t) \quad (10)$$

Em que:

V(t) é o volume de água pluvial que está no reservatório no fim do mês t (L);

V(t-1) é o volume de água pluvial que está no reservatório no fim do mês t-1 (L);

Q(t) é o volume de água pluvial no tempo t (L);

D(t) é a demanda ou consumo pluvial no tempo t (L).

A confiança Cf é estimada por meio da Equação (11).

$$Cf = 1 - \frac{N(r)}{N} \quad (11)$$

Em que:

N(r) é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda; e

N é o número de meses considerado (geralmente são 12 meses).

Para o objetivo deste estudo, o Método da Simulação é o mais indicado, visto que para determinar o volume do reservatório, considerou-se a relação entre o índice pluviométrico e a demanda por água, Rupp (2011). Este método, baseia-se na determinação do volume do consumo que será atendido por um reservatório com dimensões volumétricas previamente definidas.

3.2.2 Aproveitamento de Águas Cinzas E Negras

As águas cinza, segundo Gonçalves (2006), são sempre produzidas a partir do consumo de água potável em residências, indústria, comércio e outras atividades. São oriundas de chuveiros, pias, lavatórios, máquina de lavar louça e roupas. As chamadas águas negras referem-se aos efluentes provenientes de bacias sanitárias e mictórios.

A qualidade requerida para a utilização das águas não potáveis depende da destinação que essa água receberá, estes são os requisitos que definem o tipo de tratamento adequado (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006). A ABNT NBR 13969: 1997 estabelece alguns parâmetros a serem atendidos, para a utilização da água de reuso, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Grau de tratamento necessário

Classe / Parâmetro	Turbidez	Coliforme fecal	Sólidos dissolvidos totais	pH	Cloro residual
Classe 1: 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.	< 5,00	< 200,00 NMP/100 mL	<200 mg/L	Entre 6,00 – 8,00	Entre 0,5 mg/L – 1,5 mg/L
Classe 2: Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	< 5,00	< 500,00 NMP/100 mL	-	-	> 0,5 mg/L
Classe 3: Reuso nas descargas dos vasos sanitários.	< 10,00	< 500,00 NMP/100 mL	-	-	-
Classe 3: Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	-	< 5.000,00 NMP/100 mL	-	-	-

Fonte: Adaptado da ANBT NBR 13969:1997

As estratégias para o emprego das fontes alternativas de água dependem das características necessárias para determinada utilização (PATTANAYAK; YANG, 2005). O destino de utilização é quem determina o tipo de tratamento adequado para o seu uso. (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006). Via de regra, alguns parâmetros de qualidade da água definirão um pré-tratamento. (SICHE et. al., 2007).

3.2.3 Aproveitamento Da Água De Poços Profundos E Barreiras Hidráulicas

Para aumentar a capacidade de produção de água, com o objetivo de suprir a demanda e para repor a água consumida nas indústrias, em especial as de mineração, deve-se considerar a possibilidade do aproveitamento de fontes alternativas, podendo ser: superficiais, subterrâneas, reuso e recirculação.

- Fontes superficiais: são aquelas provenientes de rios, lagos, cursos de água ou barragens implantadas com o objetivo de reservação de água. Normalmente são as mais utilizadas nos processos produtivos devido à disponibilidade e, na maioria das vezes, não possuem contaminações significativas que possam afetar o desempenho dos processos (ANA, 2006).
- Fontes subterrâneas: normalmente são viabilizadas em situações que há restrição ou indisponibilidade da fonte superficial, por restrições ambientais quanto à captação e principalmente nas situações em que há a necessidade de rebaixamento do aquífero para permitir as operações de lavra, ou para captação através de poços (Figura 3), ou ainda para evitar o risco de intrusão da cunha salina no aquífero subterrâneo, instalam-se as barreiras hidráulicas (Figura 4). No entanto, antes de implantar essas alternativas, recomenda-se um estudo aprofundado, pois em muitos casos, os sistemas aquíferos subterrâneos não possuem regularidade ou capacidade de abastecimento para atendimento completo às demandas de processos produtivos industriais que demandam grandes volumes de água, tais como os processos de pelletização e de mineração.

Figura 3 - Poços Profundos

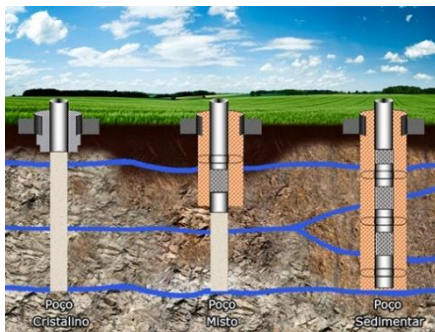


Figura 4 - Barreiras Hidráulicas



Fonte: Google (Acesso em 17 de janeiro 2018).

- Poços: são perfurados em grandes profundidades e geralmente a água jorra do solo naturalmente, porque sua própria pressão basta para levá-la à superfície, caso isso não ocorra é necessário utilizar uma bomba para conseguir retirar água do aquífero. Outra característica é que essas águas estão infiltradas em rochas e sedimentos, preenchendo todos os poros e fraturas. Esse processo equivale a uma filtragem natural, além disso, devido à sua grande profundidade, os aquíferos ficam protegidos da contaminação pelo homem e, muitas vezes, não é necessário tratamento antes do consumo.

- **Barreiras hidráulicas:** são sistemas de contenção hidráulicos compostos por poços de extração de água subterrânea. Essas barreiras estão situadas na região compreendida pela água subterrânea contaminada. A função das barreiras hidráulicas é extrair essa massa de contaminantes, através do bombeio das águas subterrâneas com bombeamento ininterrupto com paradas apenas para manutenção, com vazões e níveis adequados para promover uma zona de captura total capazes assegurar que todas as plumas sejam contidas.

- **Águas de reciclagem e recirculação:** são aquelas provenientes dos reservatórios que captam as águas residuais das etapas internas do processo na qual existe o desaguamento, tais como filtragem, peneiramento e espessamento. Após passar por um processo de tratamento estas águas retornam ao processo produtivo utilizados em atividades que não requerem potabilidade da água.

3.2.4 Uso Racional De Água No Setor Industrial

A competitividade do setor industrial cada vez mais exigirá que os processos produtivos apontem para um caminho de práticas limpas e que aperfeiçoem a forma de utilizar estes recursos naturais, com destaque para a água. A prática de reuso de água reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos, reduzindo assim os custos associados à poluição, contribuindo para a proteção do meio ambiente e da saúde pública, tornando esse agrupamento de ações em práticas sustentáveis.

Outro ponto a se considerar é que a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433 de 1997) define a água como bem de domínio público dotado de valor econômico. No Capítulo IV desta lei define instrumentos para gestão dos recursos hídricos, como a outorga pelo direito de uso da água e a cobrança correspondente. A cobrança acaba por incentivar o uso racional desse recurso, porém, deve-se complementar com medidas de redução na fonte, melhorias nos processos e pela prática do reuso (Hespanol et al., 2006). A Tabela 3 apresenta algumas legislações que abordam o tema relacionado à água.

Tabela 3 - Legislações vigentes relacionado a água

Origem	Documento	Tema relacionado
Federal	Lei 9.433 de 1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
Federal	ANA - Resolução Nº 219, DE 6 DE JUNHO DE 2005	Diretrizes para análise e emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos para fins de lançamento de efluentes
Estadual	Lei Nº 10.143	Cria a Agência Estadual de Recursos Hídricos – AGERH, e dá outras providências.
Estadual	Lei Nº 10.179 de 18 de março de 2014	Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo – SIGERH/ES e dá outras providências.

Fonte: Autor, 2018

É neste contexto de sustentabilidade que, a indústria pode contribuir positivamente no processo de uso racional da água, por exemplo: localizando as operações que utilizam muita água em regiões, onde o seu suprimento seja suficiente, adotando o reuso de águas cinza nos processos que não exigem água potável. Somente o reuso e as reciclagens podem reduzir o consumo de água na indústria em 50% ou mais, com a vantagem adicional de diminuir a poluição resultante (UNESCO, 2001).

A visão estratégica de uma indústria deve pressupor ações que visam alcançar a sustentabilidade do seu negócio e do seu parque industrial. Neste aspecto, o uso eficiente e racional da água, da energia e dos materiais confere confiabilidade para esse alcance estratégico. Portanto, é fundamental que companhias industriais elaborem um Plano de Sustentabilidade para suas atividades, porém, para que tenha efetividade é essencial que ele seja integrado a todo o processo produtivo com uma visão ampla, focando também nos pontos de geração e consumo de energia, consumo de água e no controle da poluição (COOK, 2014).

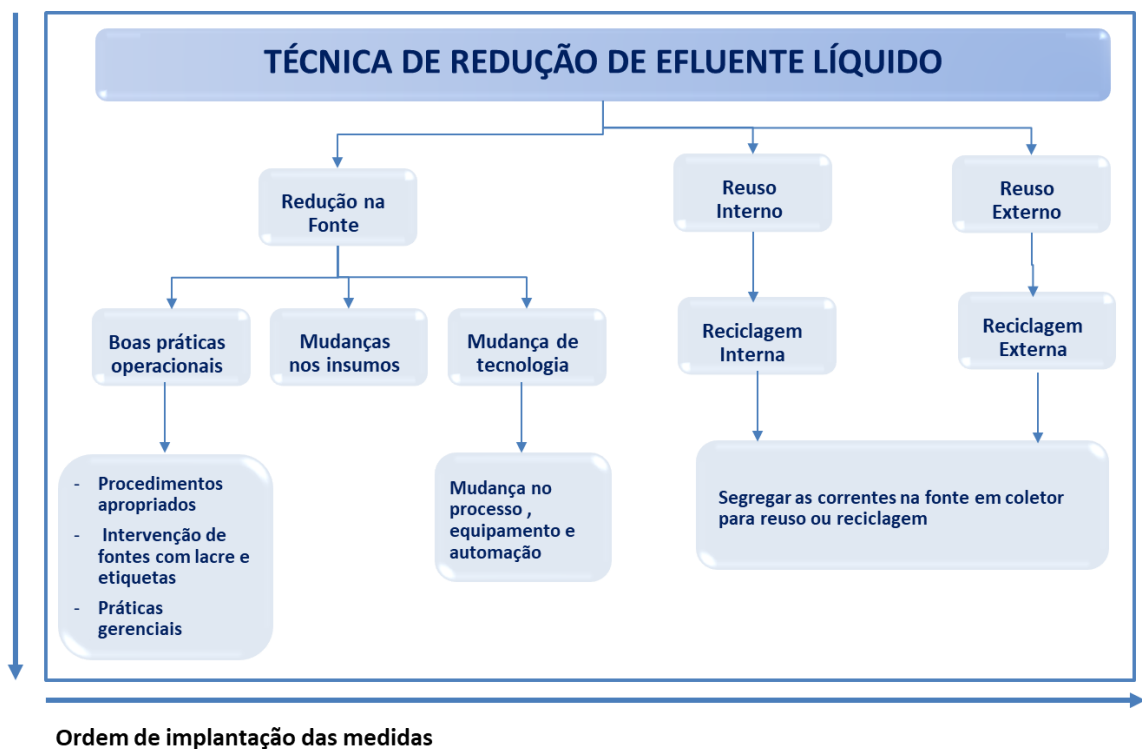
É razoável que o setor industrial incentive a busca do reuso de fontes de água industrial e promova a redução de efluentes líquidos industriais lançados em corpos receptores. Dessa forma, iniciativas de racionalização do uso e de reuso de água se constituem em elementos fundamentais na adoção de práticas de racionalização do uso da água, porém é necessário considerar a utilização de fontes alternativas para utilização nos processos industriais.

Isso requer práticas de conservação de água que reduzam o estresse hídrico e os impactos ambientais, bem como adotar melhores estratégias considerando situações de crise hídrica, ou seja, de pouca oferta, e para casos de excesso de oferta de água. Promover esta prática acaba por diminuir a problemática do conflito entre o fornecimento de água potável para fins de processos industriais e o fornecimento para uso humano.

A utilização de água pela indústria requer necessariamente uma adequada à gestão qualitativa e quantitativa deste insumo, isso independente da fonte de abastecimento utilizada, pois o uso negligente de quaisquer fontes de água ou a falta de gestão dos sistemas alternativos podem colocar em risco as atividades nas quais a água é indispensável.

Para melhor efetividade das ações para redução de fontes produtoras de efluentes líquidos e ter uma gestão mais eficaz, Cunha (2006a) propõe uma hierarquização de medidas preventivas (Figura 5).

Figura 5 - Hierarquização de medidas técnicas preventivas para reduzir fontes de efluentes líquidos



Fonte: Adaptado Cunha, 2006

A Figura 5 apresenta medidas de gestão que poderão ser implementadas, seguindo uma ordem de priorização de cima para baixo, da esquerda para a direita e aplicam-se as Boas Práticas Operacionais e em seguida Mudança de Insumo e Mudança de Tecnologia. Por fim, aplicam-se as medidas de reuso e reciclagem com prioridade de aplicação das técnicas internas. Com a implementação dessas medidas nesta ordem, geralmente há a redução de custos de implantação, contribuindo para reduzir os custos de produção, de energia, água e materiais.

Boas práticas operacionais, além de poderem ser adotadas em curto prazo, servem de exemplo para mudanças de atitudes e comportamentos das pessoas no âmbito operacional.

Já Cohim et al. (2009), define uma gestão que faz um equilíbrio entre a demanda de recursos hídricos com oferta. Faria et al. (2010) e Gossling (2015) confirmam este conceito que a gestão de demanda consiste em reduzir as retiradas de água de fontes naturais, beneficiando a preservação e a redução da degradação do meio ambiente decorrente dos lançamentos em corpos receptores.

Em 2014, o Brasil, especialmente o estado do Espírito Santo, deparou-se com um clima seco e sem chuvas, o que ocasionou uma redução significativa do volume de água nos reservatórios que abastecem as principais cidades do país e do estado. Chegando ao ponto de, pela primeira vez na história da Região Metropolitana de Vitória, ser instituído o racionamento de água. Por consequência, a concessionária de água do Estado (CESAN) restringiu ainda mais a disponibilidade de água para o setor industrial.

O volume de água para consumo está associado ao tipo de atividade, na qual o seu uso está destinado, esta variabilidade de consumo de água pode ser verificada no Quadro 1 que, de acordo com a atividade industrial, a demanda de água tem seu consumo específico bastante diverso. A quantidade e qualidade de água necessária às diversas atividades consumidoras em uma indústria dependem do seu ramo de atividade e da sua capacidade de produção (GONÇALVES & HESPANHOL, 2004).

Quadro 1 - Uso de água de diversas atividades industriais

DENOMINAÇÃO	USO DA ÁGUA (M ³ /UNIDADE DA ATIVIDADE)			
	UNIDADE DA ATIVIDADE	RETIRADA	CONSUMO	EFLUENTE
C10 – FABRICAÇÃO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS				
Fabricação de conservas de frutas, legumes e outros vegetais	t matéria-prima	18,75	3,75	15
Laticínios	m ³ de leite	1,1–2,0	–	1,6–2,2
Fabricação e refino de açúcar	t de açúcar	17	17	–
	t de cana processada	8,0–35,0	8,0–35,0	–
C11 – FABRICAÇÃO DE BEBIDAS				
Fabricação de malte, cervejas e chopes	m ³ produzido	4,0–5,4	0,8–1,2	3,2–4,3
Fabricação de bebidas não alcoólicas	m ³ produzido	1,4–3,0	0,9	0,5–2,1
C13 – FABRICAÇÃO DE PRODUTOS TÊXTEIS				
Preparação e fiação de fibras têxteis	t produzida	115–118	22–23	93–96
Fabricação de tecidos de malha	t produzida	36	6	30
C17 – FABRICAÇÃO DE CELULOSE, PAPEL E PRODUTOS DE PAPEL				
Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	TSA – tonelada seca ao ar	25,9–46,8	3,2–5,8	22,7–41
Fabricação de produtos diversos de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado	t papel	13–27	4–9	9–18
C19 – FABRICAÇÃO DE COQUE, DE PRODUTOS DERIVADOS DO PETRÓLEO E DE BIOCOMBUSTÍVEIS				
Coquearias	t coque	12,4	2,5	9,9
Fabricação de biocombustíveis	t cana processada	2	2	–
C20 – FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS				
Fabricação de produtos químicos inorgânicos	t produzida	3–6	2–4	2–12
Fabricação de produtos químicos orgânicos	t produzida	2–70	1–40	1–30
Fabricação de defensivos agrícolas e desinfetantes domissanitários	t produzida	10,3	3,3	7
Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal	t produzida	1,2–1,7	0,6–0,8	0,6–0,9
C21 – FABRICAÇÃO DE PRODUTOS FARMOQUÍMICOS E FARMACÊUTICOS				
Farmoquímicos e farmacêuticos	t produzida	312,5	62,5	250
C24 – METALURGIA				
Siderurgia	t aço bruto	33,6	8,7	24,9
Fundição	t produzida	5	1	4
C28 – FABRICAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS				
Máquinas e equipamentos	Unidade produzida	2,2–9,7	0,4–1,9	1,8–7,8
C29 – FABRICAÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, REBOQUES E CARROCERIAS				
Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	Unidade produzida	2,6–5	0,47–0,9	2,13–4,1
Fabricação de caminhões e ônibus	Unidade produzida	9	1,6	7,4

Fonte: CNI 2013

Segundo diversos especialistas apresentados numa pesquisa realizada por Mierzwa em 2002, as principais opções indicadas para reuso da água na indústria são: Refrigeração; Alimentação de caldeiras; Água de processo e Construção pesada (ASANO, 1991). Lavador de gases (CROOK, 1996). Lavagem de piso e peças; Irrigação de áreas verdes, aspersão de pátios de estocagem, umectação de vias e

limpeza em geral (REPOPORT, 2004; HEPANHOL, 1997; BEECKMAN, 1998; MUJERIEGO e ASANO, 1999). Já Hespanhol (2004), afirma que os principais consumidores de água na área industrial são: as torres de resfriamento, as caldeiras, a construção civil, irrigação de áreas verdes, as lavagens de pisos e de peças e, as diversas atividades dos processos industriais.

A adoção de práticas de reuso no setor industrial constitui num passo importante e estratégico para alcançar o desenvolvimento sustentável, sobretudo diante dos possíveis benefícios ambientais, econômicos e sociais passíveis de serem alcançados pelas indústrias, (GONÇALVES & HESPANHOL, 2004; EL-SALAM; EL-NAGGAR, 2010), como demonstra a Tabela 4.

Tabela 4 - Benefícios pela prática e conservação e reuso de água na indústria

BENEFÍCIOS DA CONSERVAÇÃO E REÚSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA	
AMBIENTAIS	<ul style="list-style-type: none"> a) Redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, possibilitando melhorar a qualidade das águas interiores das regiões mais industrializadas; b) Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada; c) Aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes como abastecimento público, hospitalar, etc.
ECONOMICOS	<ul style="list-style-type: none"> a) Conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais estabelecidos, possibilitando melhor inserção dos produtos brasileiros nos mercados internacionais; b) Mudanças nos padrões de produção e consumo; c) Redução dos custos de produção; d) Aumento da competitividade do setor; e) Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água.
SOCIAIS	<ul style="list-style-type: none"> a) Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, e em toda a cadeia produtiva; b) Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos; c) Melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.

Fonte: Manual de conservação e reuso de água para o setor industrial (Gonçalves, Hespanhol, 2004)

Cabe ressaltar que, segundo Mierzwa (2002), a prática de reuso é um dos componentes de gerenciamento de águas e efluentes, assim como a preservação dos recursos naturais e controle da poluição ambiental, mas que devem estar

vinculados a outras medidas que visem a racionalização do uso de águas e demais recursos naturais.

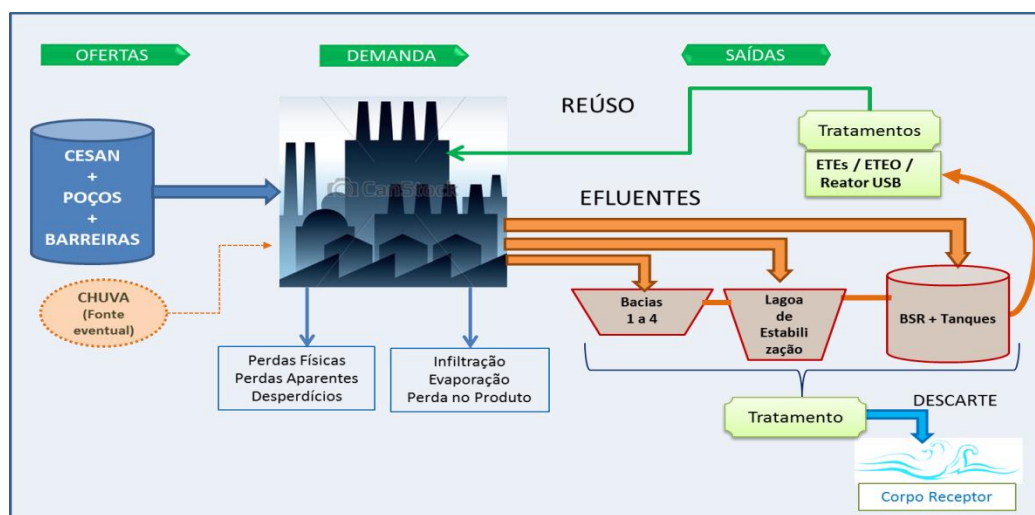
3.2.5 Reuso De Água Na Fabricação De Pelotas De Minério

O setor de mineração, particularmente durante a transformação do minério de ferro em pelotas (pelotização), apresenta em sua cadeia produtiva várias etapas que consomem grande quantidade de água, o que eventualmente pode ser expressivo competidor desses recursos com o consumidor humano, principalmente em períodos de estiagem ou de baixa oferta de água.

O reuso engloba a reutilização das águas oriundas dos processos industriais e das águas provenientes do uso das unidades administrativas, Restaurantes e outros. Os efluentes de processo e os decorrentes da drenagem pluvial da área das usinas de pelotização da Unidade de Tubarão, bem como as águas reutilizadas na limpeza industrial, são coletados e transportados para as bacias de decantação, através de sistemas constituídos por canaletas, tubulações, sistemas de recalque e tanques específicos para estes fins, em circuito fechado e que constitui o sistema de água recirculada (DANTAS GUIMARÃES 2007).

Neste contexto, a Unidade de Tubarão, estudo de caso, adota o reuso de efluentes tratados em seus processos produtivos. A Figura 6 representa de forma simplificada o fluxo das correntes líquidas dentro da Unidade de Tubarão, onde observa-se que seus efluentes após passarem por processos de tratamento, retornam ao setor produtivo.

Figura 6 - Esquemático do fluxo de água simplificado da Unidade de Tubarão



Fonte: Autor (2019)

A demanda de água consumida no processo de pelotização acaba por exercer uma constante pressão sobre este sistema de abastecimento realizado pela concessionária local. Boa parte do processo de fabricação de pelotas não requer que a qualidade da água seja potável, nesse caso, o reuso torna-se fundamental para reduzir o impacto pela demanda de água potável.

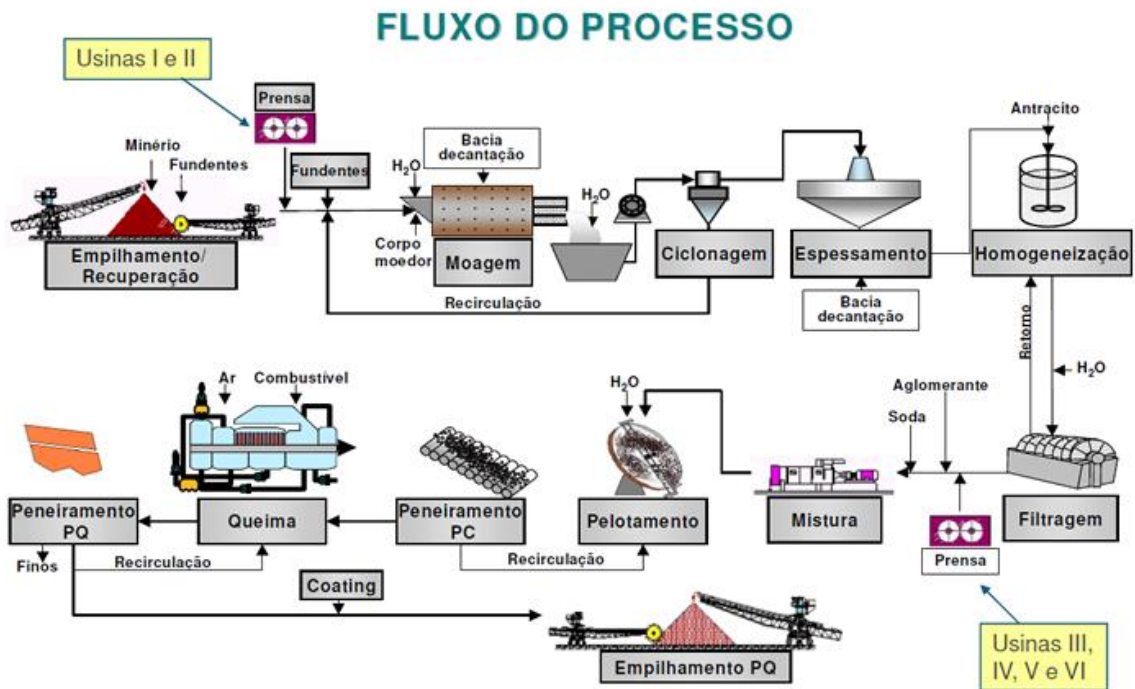
Para Neto e Estender (2015), o reuso de água pode se tornar num fator positivo para as organizações, impactando nos seus resultados financeiros. As exigências por uma produção limpa e um consumo racional dos recursos naturais tem impellido o mundo corporativo a estabelecer sistema de gestão ambiental que vai de encontro com práticas produtivas sustentáveis. Com a prática de reuso nos processos de pelotização, faz com que a demanda por água potável reduz, isso propicia a preservação de mananciais que abastecem a comunidade do entorno da Unidade Industrial.

Ademais, dois riscos presentes no setor de mineração devem ter especial consideração na avaliação da sustentabilidade deste setor, estes estão associados ao consumo de água e ao consumo de energia que causam grande impacto para o negócio do setor de mineração (NGUYEN, 2014).

3.2.6 Fluxo de Água no Processo de Pelotização na Indústria Mineradora

A indústria de mineração tem adotado diversas ações focadas em conservação e uso racional da água, estabelecendo programas de gestão ambiental e recursos hídricos. O fluxo de água para produção de pelotas de minério ocorre em diversas etapas do processo produtivo. Essas etapas ocorrem desde o empilhamento do minério proveniente de mina, passando por diversas etapas para a produção da pelota chegando até o seu armazenamento e estoque nos pátios de pelotas, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Fluxo de Processo de Pelotização Usinas I a VI



Fonte: Relatório da VALE S.A.

O processo de pelotização da Unidade de Tubarão é realizado por via úmida, ou seja, a água utilizada no processo entra na fase de preparação da matéria-prima (moagem, espessamento, homogeneização) onde a umidade inicial corresponde à proporção de 70% de água e 30% de matéria-prima e na saída do homogeneizador há uma redução de água em 30% e 70% de sólidos. A água retirada nesta fase retorna ao processo alimentando o espessador. A fase seguinte consiste da filtragem a vácuo, adição de aglomerante e mistura para homogeneização de polpa antes do processo de pelotamento. Na filtragem a “polpa retida” apresenta umidade inferior a 9% e a água resultante da filtragem também retorna ao processo. Nas fases seguintes, pelotamento e cozimento da pelota, a água contida nas pelotas é evaporada no forno pelo calor transferido no processo de queima da pelota.

Durante o processo produtivo ocorrem eventuais desbalanceamentos do sistema provocando transbordo de água (“overflow”) no tanque de processo, cuja água é canalizada para bacia de decantação onde ocorre a separação do material sólido (minério de ferro) que é recuperado por uma draga flutuante, sendo bombeado e retornado ao processo.

A distribuição de água procedente das bacias de decantação é direcionada para a alimentação dos canhões de aspersão do sistema de controle de emissões atmosféricas das pilhas de matérias-primas (Pátios de Finos), Pátios de Pelotas, Pátio de Carvão, sistema de aspersão das correias e lavadores de gás do sistema de controle de emissões atmosféricas das unidades de cada usina, umectação de vias, lavagem de piso, jardinagem e outras atividades.

Por fim, o sistema do Anel de Água Recirculada captura os efluentes provenientes dos processos produtivos destinando-os aos quatro reservatórios de águas residuais chamados de Bacias de Decantação. Seguindo a Resolução Nº 54, de 28 de novembro de 2005 no Art. 3º e capítulo IV – reuso para fins industriais e a ABNT NBR 13969: 1997, todos os efluentes de Tubarão passam por tratamentos que conferem a qualidade mínima requerida para o reuso. As estações de tratamento existentes dentro da Unidade de Tubarão são 03 ETE – Estações de Tratamento de Efluentes (ETE Sul, ETE Norte e ETE do Píer, Lagoa de Estabilização), 01 Reator UASB e 01 ETEO – Estação de Tratamento de Efluentes Oleosos.

3.3 Balanço Hídrico – BH

O balanço hídrico é uma excelente ferramenta para iniciar o processo de identificação de áreas, onde a água tem potencial de reuso, pois permite diagnosticar a situação atual de um setor produtivo e os pontos, em que se possa intervir efetivamente para obter a redução do uso. Há várias vertentes para atuação, podendo agir no tipo de equipamento, no processo produtivo ou ainda na cultura da empresa e de seus funcionários. O balanço hídrico é o primeiro passo para o gerenciamento do uso da água. Esse consiste no cômputo das vazões dos efluentes de entrada e saída em um determinado sistema, por um período determinado.

Ao aplicar essa ferramenta, torna-se mais fácil identificar e mensurar informações sobre o uso da água, bem como, quantificar os fluxos de água entre os processos ou atividades desenvolvidas numa unidade industrial, possibilitando maior confiabilidade na apuração dos dados. SOUZA et. al. (2009, p. 1) define balanço hídrico como uma:

[...] ferramenta computacional que identifica as vazões de entrada e saída de água em um determinado período de tempo, a partir do mapeamento das vazões e das qualidades de informação dessas estimativas e/ou medições, que representa o grau de incerteza da medida ou estimativa.

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria - CNI, o Balanço hídrico:

[...] é uma excelente forma de se iniciar o processo para maximizar o uso e reuso de água, pois permite diagnosticar visualmente a situação atual da indústria e os pontos onde se intervir mais imediatos para se obter a pretendida redução da captação (CNI, ANO, p. 187).

Uma das dificuldades na elaboração de um BH está relacionada à coleta de dados, pois nem sempre há pontos suficientes de medidores de vazão instalados nos pontos de consumo (MARTINS et al., 2010; RODRIGUES et al., 2009). Em consequência disso, para realizar o levantamento das correntes aquosas poderão ser utilizadas outras formas de obter os dados de vazões, tais como, estimativas com base na literatura, dados de projetos e balanço de massa (MARTINS et al., 2010; FONTANA et al., 2004).

Com o intuito de minimizar erros, provenientes das diversas metodologias para determinar os dados do BH é recomendável a reconciliação de dados com atribuição de graus de confiabilidade, também denominado qualidade da informação (QI) (MARTINS et al., 2010). A reconciliação dos dados, chamado de BHR – Balanço Hídrico Reconciliado, tem como base a atribuição de graus de confiabilidade, ou qualidade da informação (QI). A vantagem dessa metodologia é que ao contrário da reconciliação de dados clássica que considera a vazão medida, pode-se aproveitar todo tipo de informação da vazão mesmo com pouca medição.

Esta qualidade da informação (QI) é considerada como sendo uma variável que depende do método com o qual a vazão foi determinada (a vazão poderá ser medida ou estimada) e de sua incerteza (OLIVEIRA, 2011; RODRIGUES et al., 2009). Narciso (apud VALLE, 2013, p.24) indicou que os valores de QI para uma planta pode ser estabelecido em seis níveis, variando de 10 a 0,4. (Figura 11), onde:

1. IPC indica informação pouco confiável (0,4);
2. IP informação precária (2,0);
3. ICB informação de confiança baixa (4,0);
4. ICM informação de confiança média (6,0);
5. ICA, informação de confiança alta (8,0) e
6. IAC, informação de altíssima confiança (10,0).

Logo, o BHR consiste na atribuição de pesos na qualidade da informação (QI) conforme o método adotado para obter os dados no estudo. Para dados de maior confiabilidade é atribuído um valor alto de QI e para dados estimados de forma empírica ou com menor precisão sem utilizar instrumentos de medição é aplicado um valor baixo de QI, conforme o escalonamento dos seis níveis citados acima. (OLIVEIRA, 2011; FREIRE, 2011).

4 METODOLOGIA

4.1 Localização do Empreendimento – Área de Estudo

A Unidade Industrial de Tubarão, escolhida para estudo de caso, está localizada na região Norte do município de Vitória – ES, suas instalações estão divididas em Diretorias: DIPE – Diretoria de Pelotização, Ferrovia, Infraestrutura e Porto, conforme a Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Vista panorâmica do Unidade de Tubarão – Vitória ES



Fonte: Google Earth (Acesso em 22 de novembro de 2018).

Figura 9 – Identificação das áreas de abrangência das Diretorias da Unidade de Tubarão



Fonte: Google Earth (Acesso em 22 de novembro de 2018).

A escolha pela realização do estudo na Unidade de Tubarão se deu diante do fato da empresa utilizar maiores parcelas de água em alguns dos seus processos produtivos, bem como pela circulação de funcionários, terceiros, visitantes e outros, que também são consumidores de água. Além de suprir as necessidades para o consumo humano e atividades produtivas, parte da água potável consumida em Tubarão é utilizada para abastecer o sistema de combate a incêndio e as torres de resfriamentos, que estão instalados dentro de cada uma das usinas. Neste fluxo de água que circula na empresa, outra parte da água perde-se por diversas razões, destacando os vazamentos e desperdícios.

Para suprir as necessidades da empresa, existem duas entradas de água (oferta): fornecida pela concessionária CESAN – Companhia de Saneamento Básico do Espírito Santo e de poços profundos e barreiras hidráulicas, demonstradas nas Figuras: Figura 10, Figura 11 e Figura 12. Fontes que serão chamadas de “Água Nova”.

Outra fonte de água é a não potável, ofertada às operações industriais é proveniente do sistema do Anel de Água Recirculada, que antes da distribuição para os sistemas produtivos das Usinas de Pelotização (DIPE), a água passa por sistemas de tratamentos: ETEO – Estação de Tratamento de Efluentes Oleosos, ETEs – Estação de Tratamento de Esgoto (ETE Sul, ETE Norte, UASB e Lagoa de Estabilização).

Figura 10 - Vista superior da localização dos Poços profundos da Unidade de Tubarão



Fonte: Google Earth (Acesso em 26 de abril de 2018).

Figura 11 - Vista superior das Barreiras Hidráulicas (BHs) localizadas na Praia de Camburi



Fonte: Google Earth (Acesso em 26 de abril de 2018).

Figura 12 - Vista superior das Barreiras Hidráulicas (BHs) localizadas em Praia Mole



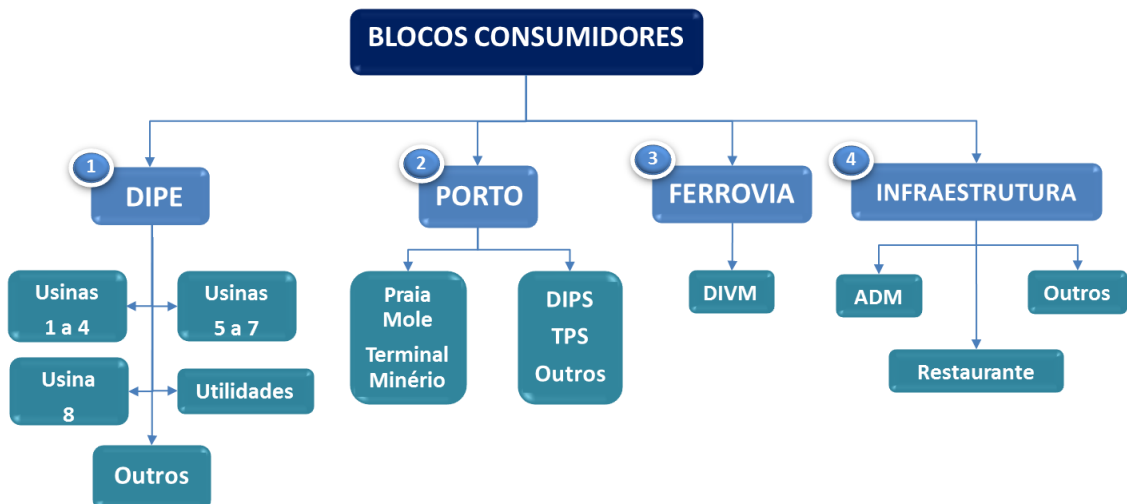
Fonte: Google Earth (Acesso em 26 de abril de 2018).

4.1.1 Descrição dos Dois Circuitos de Água da Unidade De Tubarão

As instalações industriais de Tubarão foram subdivididas e identificadas em quatro Blocos Consumidores: o primeiro da DIPE - formado pelas usinas de Pelotização de 1 a 8, Utilidades e Outros. O segundo do Porto: Contempla o Porto de Praia Mole, Terminal de Minério, DIPS, TPS e outros; o terceiro Bloco da Ferrovia: Formado pela Diretoria da Ferrovia e o quarto Bloco da Infraestrutura: Formado por consumidores da área Administrativa da Unidade de Tubarão, Restaurantes e outros.

Para cada um desses blocos foram quantificados os pontos de oferta e de demanda de água apresentados a Figura 13.

Figura 13 – Subdivisões dos blocos Consumidores da Unidade de Tubarão



Fonte: Autor (2019)

As fontes de “Água Nova” e de reuso não potável formam o fluxo de água da Unidade de Tubarão. Este é constituído por dois circuitos de água: o primeiro chamado de Suprimento Primário, que é abastecido pela CESAN, Poços e Barreiras Hidráulicas; o segundo circuito chamado de Anel de Água Recirculada, é abastecido pelas águas reservadas nas quatro bacias de decantação que faz a distribuição de água industrial dentro da Unidade. O circuito de água recirculada, eventualmente, recebe a contribuição da chuva contribuindo para a reposição de água nas bacias (1 a 4), esta contribuição reduz o consumo de água potável dentro da Unidade de Tubarão.

Água de Suprimento Primário

Composto de água fornecida pela CESAN e da captação dos poços profundos e barreiras hidráulicas, bombeada até a ETA – Estação de Tratamento de Água, onde é submetida ao tratamento e descarregada em 2 (dois) reservatórios enterrados. Um dos reservatórios possui a capacidade de armazenamento de 16.000 m³ e o outro de 7.200 m³ e interligados.

Água Recirculada

O circuito de água recirculada é constituído por dois sistemas de recuperação de águas industriais da Bacia 1 e o sistema das Bacias 2, 3 e 4, (Figura 14). Por meio deste que é realizado o abastecimento de água industrial nos diversos pontos da Unidade de Tubarão.

Figura 14 - Circuito de água recirculada da Unidade de Tubarão



Fonte: Relatório do estudo do Anel de Água Recirculada da VALE.

Sistema de Recuperação de Águas Industriais – Bacia 1

Este sistema recebe a drenagem das Usinas I a IV e do pátio velho do Porto. As usinas I a IV possuem galerias subterrâneas que recolhem os fluxos provenientes de lavagens de pisos e equipamentos, drenagem de equipamentos, transbordo das caixas dos espessadores e de água pluvial. Todos os efluentes coletados são conduzidos por gravidade para o sistema de coleta de efluente líquido, que é constituído de 3 (três) tanques agitadores e 2 (dois) reservatórios em concreto que reservam esses efluentes.

Os tanques agitadores possuem dimensões aproximadas de 5,5 m de diâmetro e 10 m de altura e volume útil de 200 m³ por tanque. A partir destes, o efluente é bombeado, através de 4 bombas de polpa, para uma bacia de decantação, localizada próximo das usinas. Esta bacia de decantação recebe também, por gravidade, parte do transbordo (overflow) dos espessadores da Usinas III e IV. Esses tanques são utilizados para armazenar todos os efluentes líquidos do transbordo dos tanques agitadores e a drenagem pluvial e dos pátios de pelotas e de minério das Usinas I a IV.

Estes reservatórios dispõem de 2 (dois) sistemas de bombeamento. Um deles é utilizado para retornar os efluentes para os tanques metálicos e o outro é utilizado para transferir os efluentes com menor concentração de sólidos para a bacia 1 (Figura 15).

Figura 15 - Localização da bacia de decantação 1 da Unidade de Tubarão



Fonte: Google (Acesso em janeiro de 2018)

O transbordo da Bacia 1, constituído de água e partículas finas em suspensão, escoia por gravidade para 2 reservatórios em concreto com capacidade unitária de aproximadamente 1.000 m³. Como prática operacional para não permitir o descarte de efluente líquido para o oceano, somente um dos reservatórios opera, o outro permanece como reserva (stand-by).

A água recuperada é conduzida por gravidade para o poço de coleta, local que estão instaladas 4 bombas verticais. Desse conjunto, 3 bombas alimentam a rede de distribuição de água recirculada. Para atendimento da demanda é necessária a operação simultânea das 3 bombas, na condição de pico, todas as bombas operam em paralelo. O nível do poço de coleta é monitorado e o nível mínimo equivale a 65 % da altura do poço e o nível máximo é de 95 %. Quando o nível ultrapassa o valor de 95%, é aberta a válvula de interligação ao Sistema de Recuperação de Água Industrial das Bacias 2 e 3, transferido o excedente de água recirculada para esse sistema.

Sistema de Recuperação de Águas Industriais – Bacias 2 e 3

Este sistema é constituído de 2 (duas) bacias de decantação e 2 (dois) reservatórios em concreto, interligados a uma casa de bombas. As bacias de decantação recebem, por gravidade, a drenagem das Usinas V a VII. A Bacia 2 opera em condições normais com os efluentes das Usinas V/VI, enquanto a 3 atende à Usina VII (Figura 16).

Figura 16 - Localização das bacias de decantação 2 e 3 da Unidade de Tubarão



Fonte: Google (Acesso em janeiro de 2018)

A partir dos reservatórios, a água recuperada é conduzida por gravidade para o poço de coleta, local que estão instalados 2 conjuntos de bombas. Um desses, atende às Usinas 5 e 6. O outro conjunto de bombas atende à Usina VII.

O sistema de água reciclada integra todas as bacias (1 a 4), abastecendo todas as unidades de pelletização de Tubarão. Em períodos chuvosos o sistema sobrecarrega havendo o transbordo do excesso de efluente líquido, que após passar por tratamento é descartado para o corpo receptor (oceano).

4.2 Objetivo 1 - Estudar O Consumo de Água e Avaliar o Potencial de Diferentes Correntes Líquidas em Suprir a Demanda por Água Potável da Unidade de Tubarão

Os estudos adotados foram embasados em dois programas: PCRA – Programa de Conservação e Reuso de Água - e o PURA-USP - Programa de Uso Racional da Água. O primeiro é um programa que define ações específicas de racionalização do uso da água, que devem ser implementadas, após uma análise da demanda e oferta de água, a partir dos usuários e das atividades consumidoras (FIESP/CIESP, 2004). O segundo - PURA são diretrizes de gestão de sistemas de reservação de água

potável com atuação em três requisitos para o uso racional da água: tecnologia, com aplicação das normas técnicas; mobilização, constituindo-se em implementação de sistemas de reusos; e aproveitamento de águas e gestão, com foco em manutenção dos sistemas de reservação de água). Os conceitos dos dois programas foram utilizados para definir a estratégia de reuso e reservação de água neste trabalho. Conforme o Quadro 2, o estudo do consumo de água e da produção de diferentes correntes líquidas de águas residuárias na unidade industrial foi dividido em quatro etapas:

Quadro 2 - Etapas para o estudo do gerenciamento dos recursos hídricos nos processos de produção

Etapas	Principais Atividades	Produtos
(1) Estudo e avaliação técnica do uso da água	Análise documental; Levantamento de Campo.	Análise da série histórica de consumo de água; Definição dos Blocos Consumidores de Água.
(2) Avaliação da demanda de água potável e não potável (reuso)	Avaliação das vazões da água de demanda (CESAN + Poços Profundos + Barreiras Hidráulicas).	Análise quantitativa da demanda de água potável e não potável (reuso).
(3) Avaliação da oferta de água potável e não potável (reuso)	Avaliação das vazões de água ofertadas (CESAN + Poços Profundos + Barreiras Hidráulicas) Estudo da oferta de águas de reuso ETEs e ETEO, Lagoa de	Análise quantitativa da oferta e da demanda de água potável e não potável (reuso).

Fonte: Adaptado de FIESP/CIESP (2004).

4.2.1 *Etapa 1: Avaliação Técnica e Diagnóstico do Uso da Água*

Para a coleta de dados analisou-se os seguintes documentos e informações:

- Contas de água fornecidas pela CESAN (Companhia Espírito Santense de Saneamento);
- Planilhas de medição dos hidrômetros instalados em pontos de consumo dentro de Tubarão;
- Projetos arquitetônicos e hidráulicos;
- Legislação, normas e procedimentos a serem atendidos;
- Característica da água a ser utilizada;
- Identificados os fluxos de água, compreendendo o mapeamento das redes de água e efluentes, identificados e quantificados as fontes de abastecimento (tanques, lagoas, rede pública, poços profundos) e pontos de lançamento de efluentes líquidos em corpos receptores (rede pública, rios, etc.);
- Outras informações consideradas relevantes para este estudo a respeito do uso da água no processo industrial.

A análise da série histórica do consumo de água no processo produtivo de Tubarão, bem como a setorização em “Blocos Consumidores”, permitiu a identificação dos maiores consumidores e as atividades com potencial uso de água não potável. Destaca-se a umectação de vias, aspersão de pilhas de minério e pelotas, lavagem de piso, jardinagem, consumo humano, torres de resfriamento, sistema de combate a incêndio, entre outros.

4.2.2 *Etapa 2: Avaliação da Demanda de Água*

A etapa 2 consistiu na mensuração das vazões das diversas atividades de cada um dos blocos consumidores de Tubarão. Esta foi realizada com a leitura mensal dos hidrômetros instalados e preenchido as planilhas de cada mês para cada um dos Blocos Consumidores da Unidade de Tubarão. O Quadro 3 representa a planilha de coleta de dados utilizada para um dos Blocos Consumidores da Unidade de Tubarão.

Quadro 3 - Planilha de coleta de dados mensais da água Setor Primário (CESAN + POÇOS E BARREIRAS HIDRÁULICAS)

CONSUMO DE ÁGUA NO COMPLEXO DE TUBARÃO - POÇOS e CESAN													
Mês de Janeiro/2017			Período avaliado: 26/12/2016 25/01/2017			Entrada CESAN:							
Diretoria	Área	Sub-área	Água medida / estimada			CONSUMO TOTAL	POÇOS			CESAN			
			Situação de medição	Leitura Anterior	Leitura Atual		Consumo (m³)	%	Consumo (m³)	Valor a ser pago	%	Consumo (m³)	Valor a ser pago
DIPE	Unidades 1 a 7	Us. 1 e 2	Leitura										
		Us. 3	Leitura										
		Us. 4	Leitura										
		Us. 5 e 6	Leitura										
		Us. 7	Leitura										
		Total	-										
	Unidade 8	Us. 8 - Administrativo	Leitura										
		Us. 8 - Torres	Leitura										
		Total	-										
	Utilidades	Pátio de Calcário	Leitura										
		Moagem de Calcário	Leitura										
	Total	-											

Fonte: Adaptado Planilha de controle da Gerência de Infraestrutura da Unidade de Tubarão

Para determinar a vazão de água que não foi possível medir, em virtude de não haver hidrômetros instalados (perdas aparentes), realizou-se o cálculo pela diferença entre a água total consumida e o que era registrado pelo hidrômetro geral (CESAN). O resultado desta diferença chamou-se de “Outros” e o seu valor distribuído proporcionalmente para os blocos consumidores em função do percentual de consumo de “Água Nova” de cada bloco, ou seja, os blocos que consomem mais tiveram uma proporção maior desta água não medida. O método adotado apresenta grande incerteza, pois utiliza a diferença entre valores consumidos e os valores registrados por hidrômetros, ou seja, não reflete o real consumo.

A conclusão desta etapa 2 permitiu conhecer a demanda total de água necessária para as operações dentro da Unidade de Tubarão e identificar todas as saídas de água por infiltração, evaporação e por perdas físicas (vazamentos), aparentes (não medidas), bem como os desperdícios que ocorrem em suas operações.

4.2.3 Etapa 3: Avaliação da Oferta de Água

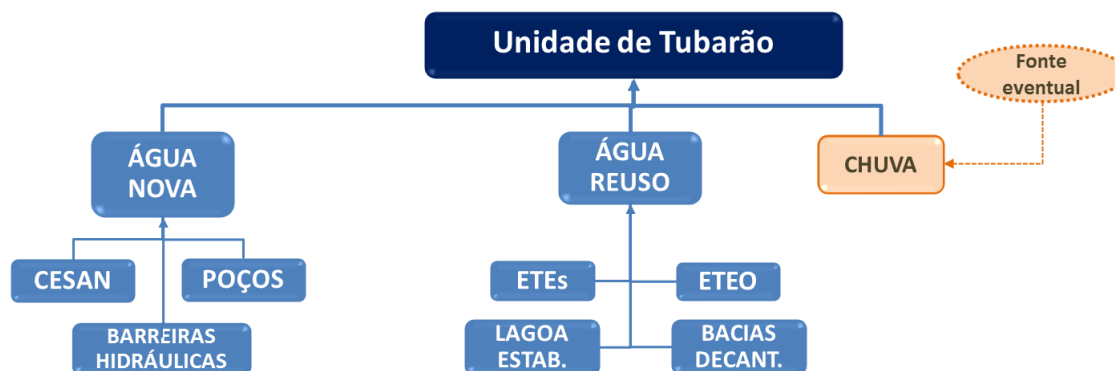
O Fluxo d'água fornecido para utilizar na Unidade de Tubarão foi classificado em três tipos, dependendo das suas características, representados na Figura 17:

Tipo 1: “Água Nova”: águas provenientes da Concessionária CESAN e das águas dos Poços e Barreiras Hidráulicas instalados na Unidade de Tubarão.

Tipo 2: “Água de Reuso”: efluentes do processo produtivo industrial, direcionados para os sistemas de tratamentos de Tubarão: ETE – Estação de Tratamento de Efluentes (UASB, Lagoa de Estabilização e Bacias de Decantação) e a ETEO – Estação de Tratamento de Efluentes Oleosos.

Tipo 3: “Água de Chuva”: águas das precipitações pluviométricas que ocorrem na região. O aproveitamento da água de chuva que precipita em uma determinada área da Unidade de Tubarão é capturado pelo sistema de drenagem pluvial, ligado ao de tratamento das Bacias de Decantação.

Figura 17 – Representa as fontes de entrada de água na Unidade de Tubarão.



Fonte: Autor (2019)

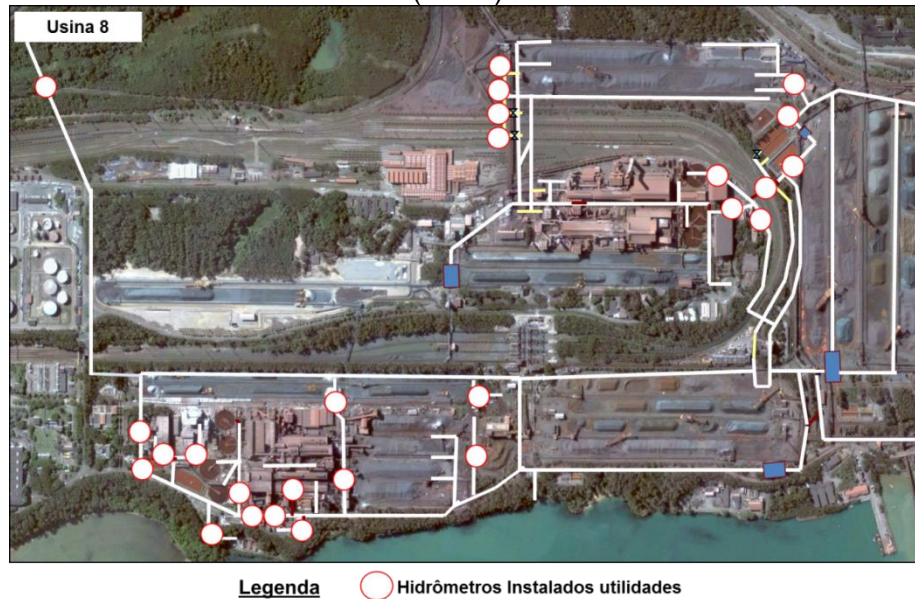
4.2.3.1 Água Nova

Conforme os Quadros 4a e 4b, a determinação do volume de água proveniente da Concessionária de abastecimento de água potável CESAN e de Poços Profundos e das Barreiras Hidráulicas realizou-se pela leitura dos hidrômetros instalados nos pontos de abastecimento.

4.2.3.2 Água de Reuso

O volume ofertado de água de reuso foi determinado por meio das leituras de hidrômetros instalados em cada ponto de consumo do anel de água recirculada. A Figura 18 ilustra o ponto, onde cada hidrômetro foi instalado no anel.

Figura 18 – Localização dos hidrômetros instalados no sistema de rede de água recirculada (reuso) de Tubarão



Fonte: Burgarelli, R. (2016)

Para os casos em que os caminhões são abastecidos para realizar atividade de umectação de vias, aspersão de pilhas de minérios, pilhas de pelotas e jardinagem, o cálculo do volume foi baseado na quantidade de caminhões que fazem essas operações diariamente. Em função de sua capacidade de transporte de água, do número de caminhões e de viagens realizadas, determinou-se o volume de água retirada do anel de água recirculada.

Considera-se como produção de esgoto a vazão anual produzido por toda Unidade de Tubarão, valores medidos mensalmente pela Gerência de Infraestrutura. A vazão anual foi distribuída percentualmente de acordo com a demanda por água potável, para cada um dos blocos consumidores (diretorias) da Unidade de Tubarão. Isso se deve ao fato de não ter como medir a produção de esgoto de cada um dos blocos separadamente.

Na tubulação de abastecimento de cada bloco consumidor, foram instalados hidrômetros que registraram as vazões durante o ano de 2017. Com esses dados

são computados mensalmente, possibilitando determinar o volume de água de reuso para cada bloco consumidor.

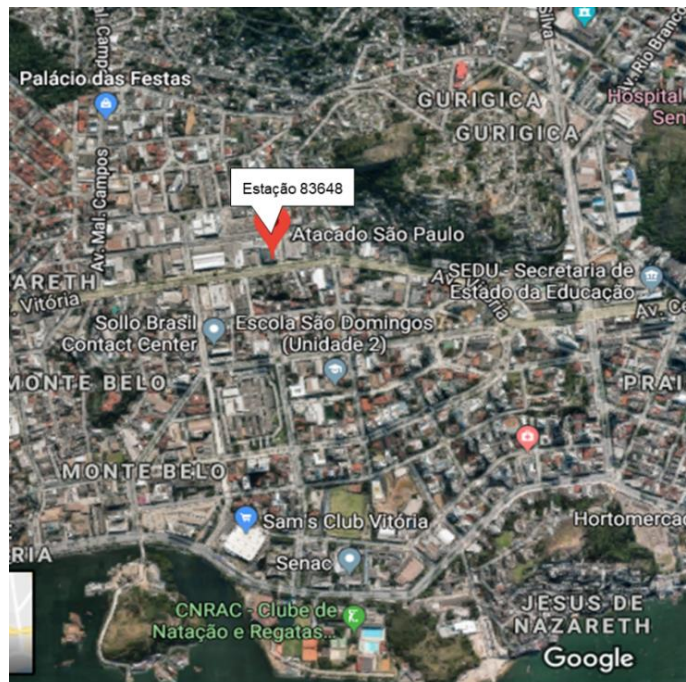
4.2.3.3 Água de chuva

Para que o trabalho tenha condições de se desenvolver no período estabelecido, pelo programa de mestrado, e por considerar que a abrangência da área da DIPE – Diretoria de Pelotização é maior comparada com as demais, optou-se em direcionar as propostas de redução do consumo de água e zerar a emissão de efluentes líquidos no oceano para este bloco consumidor.

A estimativa do volume de água pluvial ofertada para Tubarão foi baseada nos valores de precipitação da estação pluviométrica nº 83648, localizada na cidade de Vitória – ES (Figura 19) disponível pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A partir desses dados, foi possível calcular a média mensal de precipitação de chuva na região e identificar os meses de maior e menor oferta.

Figura 19 – Localização da estação pluviométrica nº 83648

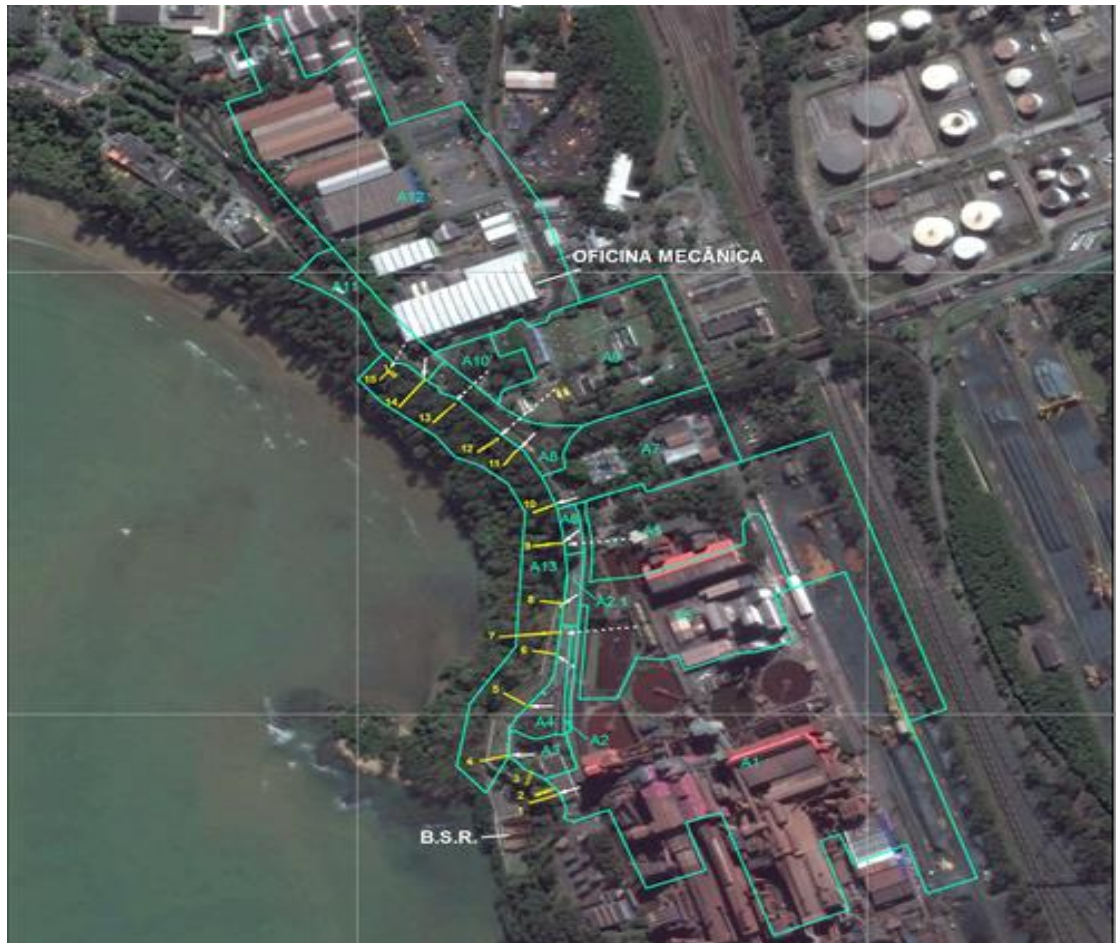


Fonte: Google Maps (Acesso em 12 jun. 2018).

Para determinar o volume de água de chuva a ser coletado, foi considerada a área total da DIPE (Figura 20), onde se pretende coletar a água de chuva pelo sistema de

drenagem. Foi classificado o tipo de revestimento da área de contribuição para definir o coeficiente de escoamento superficial.

Figura 20 – Definição das áreas de contribuição do sistema de drenagem da região da DIPE



Fonte: Relatório RL-8930PZ-B-11001_Rev_2

Os valores de coeficiente de escoamento superficial, adotados neste trabalho foram apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Coeficientes de Runoff

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

Fonte: Adaptado de Baptista e Coelho (2003).

A partir dos dados coletados, foi possível calcular o potencial de oferta de água pluvial, conforme das Equações 12 e 13.

$$A_{\text{equivalente}} = \sum_{15}^n (Cn \times An) \quad (12)$$

Em que:

$A_{\text{equivalente}}$ = Área Equivalente (m^2);

Cn = coeficiente de escoamento de cada área da bacia de contribuição;

An = área de cada bacia de contribuição (m^2);

A Equação 13 (volume da oferta) foi aplicada para cada precipitação mensal média dos últimos 15 anos, ou seja, da série histórica de 2002 a 2017.

$$V_{\text{oferta}} = \frac{(A_{\text{equivalente}} \times P_{\text{med}})}{1000} \quad (13)$$

Em que:

V_{oferta} = Volume mensal da água de chuva

$A_{\text{equivalente}}$ = Área Equivalente (m^2);

P_{med} = Precipitação média dos últimos 15 anos

Em seguida, foi possível relacionar a vazão média ofertada anualmente de água da chuva com a vazão média anual de consumo de água potável pela Unidade de Tubarão. Esta comparação demonstrará o potencial do uso da água de chuva tratada, em substituição da potável para abastecimento das bacias 1 a 4 de Tubarão e posterior utilização nas atividades industriais que não necessitam de água potável.

4.3 Objetivo 2 – Realizar O Balanço Hídrico (BH) da Unidade de Tubarão, Considerando Todas as Correntes Líquidas de Entradas e Saídas da Unidade de Tubarão.

O balanço foi realizado com base nas condições de operação das instalações durante o período mais seco do ano, quando o consumo de água é maior e o impacto da precipitação pluvial é desprezível, bem como o período de chuvas intensas, quando a demanda de água se reduz em algumas operações da Unidade de Tubarão. Em períodos chuvosos várias atividades, tais como, umectação de vias,

irrigação de jardins, lavagem de piso, aspersão de pilhas, entre outros, não necessitam de água. Este balanço contempla os circuitos de água de suprimento primário que corresponde às águas provenientes da CESAN, dos Poços e das Barreiras Hidráulicas, da água recirculada das bacias 1 a 4 e da água de chuva.

Visando reduzir os erros com as coletas de dados de vazões, a partir das leituras dos hidrômetros, registros estimados teoricamente, foi aplicado o método do balanço hídrico reconciliado (BHR). Este método foi desenvolvido pela Rede Teclim, que propõe a atribuição de graus de confiabilidade para os dados de vazão, que dependendo da técnica utilizada na obtenção dos dados, é atribuído um valor que irá representando o nível de incerteza dos dados (FREIRE, 2011).

Freire (2011) estabelece seis etapas para realizar o balanço hídrico reconciliado, que são:

4.3.1 Identificação dos Pontos de Consumo de Água e Geração de Efluentes

Foram identificados e quantificados, em termos de vazão média, os pontos de entrada e os consumidores de água de toda a Unidade de Tubarão. As recirculações de água dentro dos subprocessos de Tubarão (por exemplo: espessamento-moagem-filtragem) não foram mensurados, pois os consumos dos subprocessos não são controlados pela empresa, ou seja, foi considerada a vazão média de água recirculada consumida dentro de cada unidade de usina de pelotização. Inicialmente foram realizados levantamentos de campo para reconhecimento dos diversos pontos das instalações consumidoras da unidade industrial e determinados os consumos médios. Os consumos médios de água foram calculados e/ou estimados utilizando-se diversos recursos, dependendo do ponto de aplicação, relacionados a seguir:

- Utilização das planilhas de distribuição do consumo de água, elaboradas pelo setor de Utilidades da unidade industrial de Tubarão. Estas planilhas apresentam os resultados das leituras realizadas mensalmente nos hidrômetros e medidores de vazão instalados nos principais pontos de consumo de água de suprimento primário. São apresentados também a leitura do hidrômetro de entrada do Unidade de Tubarão da CESAN (entrada de água de suprimento) e o consumo de água proveniente dos poços profundos;

- Utilização de dados de balanços de massas e águas de Tubarão elaborado por empresa terceira contratada pela VALE;
- Utilização de dados de desenhos de fornecedores (torres de resfriamentos, canhões aspersores, etc.);
- Obtenção de dados operacionais de consumo de água, com os engenheiros e técnicos que operam o sistema de água em Tubarão, bem como funcionários de empresas prestadoras de serviços que atendem à Unidade de Tubarão.

4.3.2 Fluxograma do Balanço Hídrico

Para a elaboração do fluxograma do balanço hídrico da Unidade de Tubarão, identificaram-se a quantidade de água utilizada no processo produtivo e os quantitativos envolvidos em atividades consumidoras de água, como lavagem de áreas externas e internas, aspersão de pátios, umectação de vias, jardinagem, entre outros.

4.3.3 Avaliação da Demanda de Água, Medição e Estimativa das Vazões e Definição da Qualidade da Informação (QI)

Para estabelecer uma hierarquia de confiabilidade dos dados das vazões de entrada e saída obtidas da Unidade de Tubarão, foram estabelecidos coeficientes de qualidade da informação – QI. Os valores dos coeficientes da informação estão associados ao critério adotado para obtenção das vazões de entrada e saída da Unidade (Quadro 5).

Quadro 5 - Qualidade da Informação e Fontes de Informação

QI - Qualidade da Informação	Fontes de Informação
0,4 - IPC (Pouco Confiável)	Estimativa grosseira sem muita consistência.
2,0 - ICB (Nível de Confiança Baixo)	Literatura existente, projetos antigos e simulações.
4,0 - ICM (Nível de Confiança Médio)	Experiência de campo e estimativa confiável a partir de medições existentes e informações de operadores do sistema.
10,0 - ICA (Nível de Confiança Alto)	Hidrômetros instalados.

Fonte: Adaptado de Freire *et. al.* (2010).

4.3.4 Balanço Hídrico Reconciliado (BHR)

A redução da diferença entre os valores das vazões originais e os valores reconciliados, foi realizada de acordo com Crowe (1986). Para tanto foram utilizadas as Equações 16 e 17, que representam as funções de reconciliação de dados para balanço hídrico.

$$\min \sum_{i=1}^N \frac{(V_{Ri} - V_{Mi})^2}{\sigma_i^2} \quad 16)$$

$$\sum_{l=1}^L (V_{Ri_{in}}) - \sum_{m=1}^M (V_{Ri_{out}}) = 0 \quad j = 1, \dots, J \quad 17)$$

Em que:

i = correntes;

σ = incerteza associada à medição;

VR = vazões reconciliadas;

VM = vazões medidas;

in = correntes de entradas;

out = vazões de saídas;

N = número total de correntes envolvidas;

L = correntes de entrada;

j = cada unidade;

J = quantidades de unidades.

Martins *et. al.* (2010) adaptou a Equação 16 para sistemas sem redundância de dados medidos, conforme Equação 18.

$$\min \sum_{i=1}^N \frac{(V_{Ri} - V_{Mi})^2}{V_{Mi}^2} \cdot QI_i^2 \quad 18)$$

Em que:

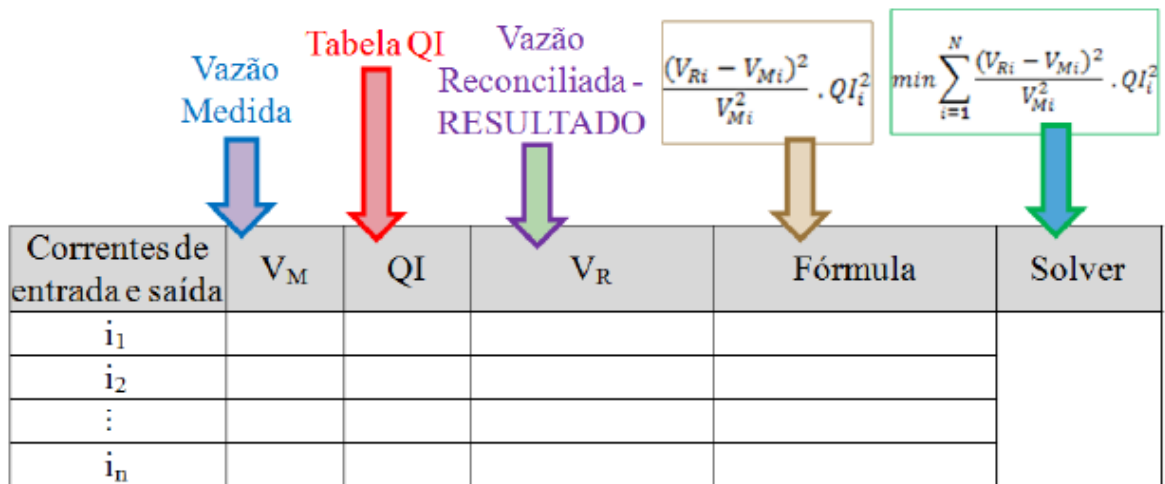
i = correntes;

V_{Ri} = vazões reconciliadas;

V_{Mi} = vazões medidas;
 N = número total de correntes envolvidas;
 QI_i = qualidade da informação.

Para a reconciliação das vazões do balanço hídrico foi utilizada a ferramenta *solver* do software MSEXcel®, Microsoft. Inc versão 2010 (Figura 21).

Figura 21 – Planilha Solver MSEXcel®



Fonte: Guzzo (2017)

4.3.5 Análise dos Dados e Validação do Balanço Hídrico Reconciliado (BHR)

A validação dos resultados do BHR foi realizada pela análise das relações entre as vazões reconciliadas e não reconciliadas, conforme as Equações 19 e 20 (CROWE, 1986).

$$\text{Diferença} = V_{Ri} - V_{Mi} \quad 19)$$

$$\text{Desvio das vazões (\%)} = \frac{100 (V_{Ri} - V_{Mi})}{V_{Ri}} \quad 20)$$

4.3.6 Melhoria da Qualidade da Informação

Para definir a qualidade das informações e diminuir os desvios, as vazões reconciliadas foram comparadas com as vazões medidas. Para os casos com desvios significativos, foram calculadas novas vazões reconciliadas alterando os valores de QI. O objetivo foi melhorar a qualidade da informação compondo um BHR

mais consistente que reflita proximidade com os valores de fato praticados. Os valores dos desvios considerados aceitáveis foram os encontrados abaixo de 2%. O parâmetro de aceitação (2%) foi baseado no mesmo valor considerado em estudo de BHR dos autores Freire (2011); Guzzo (2017) e Valentim (2018).

4.4 Objetivo 3 – Desenvolver um Plano Estratégico para o Aproveitamento Eficiente da Água de Chuva nos Processos Produtivos e Redução do Descarte de Efluentes Líquidos

A razão deste objetivo é apresentar estratégias para potencializar o reaproveitamento de água em uma planta industrial notadamente dependente de água e reduzir o descarte de efluente líquido para o oceano. Para simular situações adversas, foi considerado o cenário de escassez de precipitação pluviométrica, para os períodos de seca, e de abundantes ofertas de água de chuva para os períodos chuvosos.

A estratégia visa estabelecer condições de aproveitamento dessa fonte de água e introduzi-la nas atividades do processo produtivo, que não requer água potável, sem que haja interrupção no fornecimento ou extravasamentos. Para isso, optou-se pela construção de um reservatório de contenção de água pluvial, com a finalidade de reservar a vazão de água pluvial e encaminhá-la para o sistema de drenagem de Tubarão.

A determinação do volume ideal do reservatório para armazenar a água de chuva da DIPE, foi calculado a partir da utilização do método da simulação sugerido pela NBR 15527 - ABNT, 2007. Esta norma recomenda que para o Método da Simulação a evaporação de água seja desconsiderada.

Este método estabelece a relação entre o período em que o reservatório atende a demanda e o período total investigado, ou seja, há uma relação entre o volume de chuva captada e o volume de chuva realmente utilizado. Os critérios para dimensionamento do reservatório utilizando o método foram:

- a. Ter capacidade de armazenar o volume da água de chuva;
- b. Atender à demanda por água não potável e de reposição dos reservatórios;
- c. Não haver descarte (*overflow*);

- d. Não ter necessidade de suprimento, ou seja, reposição de água no reservatório (*make up*).

As Equações 14 e 15 representam o método, para um determinado mês. Assim, aplica-se a equação da continuidade de um reservatório finito.

$$V_{\text{oferta}}(t) = C \times P(t) \times A_{\text{eq}} \quad (14)$$

$$S(t) = V_{\text{oferta}}(t) + S(t-1) - D(t) \quad (15)$$

Sendo que: $0 \leq S(t) \leq V$

Em que:

$V_{\text{oferta}}(t)$ = Volume mensal da água de chuva no tempo t ; m^3

C = Coeficiente de escoamento superficial (adotado 0,76);

A_{eq} = Área Equivalente em projeção do terreno (m^2);

$P(t)$ = Precipitação média dos últimos 15 anos no tempo t (mm);

$S(t)$ = Volume de água pluvial no reservatório no tempo t (m^3);

$S(t-1)$ = Volume de água pluvial no reservatório no tempo $t-1$ (m^3); e

$D(t)$ = Demanda de água pluvial no tempo t (m^3).

De posse dos dados da precipitação, da área de captação, da demanda e do volume inicial, estes valores são inseridos na Tabela 6 para o cálculo e determinação do volume do reservatório ideal.

Tabela 6 - Cálculo do volume do reservatório considerando precipitação

Meses	$P_{\text{med}} \text{ mensal}$	Demanda Cte	Área de Captação	Produção Mensal de Chuva	Volume do Reservatório	Nível do Reservatório		Descarte (Overflow)	Reposição de Água (Make Up) CW
	(mm)	(m^3)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	Antes	Depois		
	Pt	Dt	A	Voft	Volume Inicial	St-1	St		
Jan									
fev									
Mar									
Abr									
Mai									
Jun									
Jul									
Ago									
Set									
Out									
Nov									
Dez									
Total An	-	-		-			-	0	-

% Falhas 0,00

Volume aproveitável durante o ano (m^3) 0,00

Estimativa Inicial do Volume Cisterna =

Fonte: Autor (2019)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A vazão média de consumo total de água (potável e de reuso) em Tubarão no ano de 2017 foi de 12.732.949 m³/mês, sendo 4.905.306 m³/mês de Água Nova (potável) e 7.827.643 m³/mês de Água de Reuso (não potável). O consumo médio de água nova e de reuso em Tubarão durante o ano de 2017 está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Vazões médias mensais de consumo total de água (potável e de reuso) em Tubarão no ano de 2017

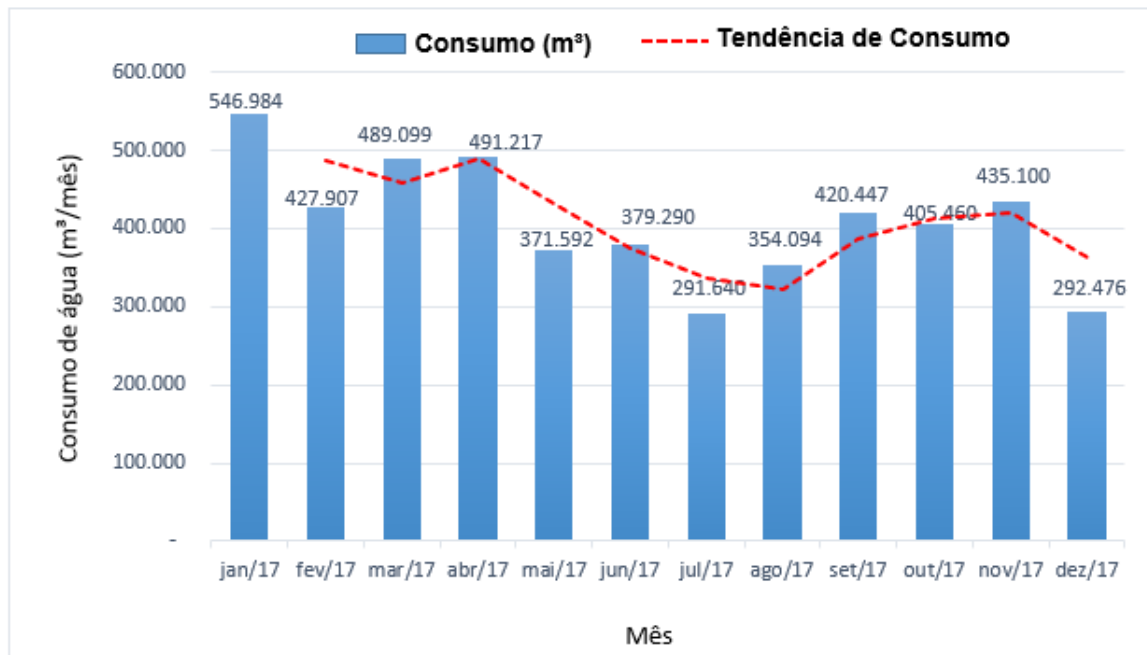
Mês/Ano	Vazão Média do Consumo de Água Nova (potável) (m ³ /mês)	Vazão Média do Consumo de Água de Reuso (não potável) (m ³ /mês)	Vazão Média do Consumo Total (m ³ /mês)
jan/17	546.984	596.979	1.143.963
fev/17	427.907	619.558	1.047.465
mar/17	489.099	555.019	1.044.118
abr/17	491.217	516.799	1.008.016
mai/17	371.592	585.672	957.263
jun/17	379.290	671.112	1.050.402
jul/17	291.640	928.902	1.220.542
ago/17	354.094	650.686	1.004.780
set/17	420.447	613.252	1.033.699
out/17	405.460	631.831	1.037.292
nov/17	435.100	645.161	1.080.262
dez/17	292.476	812.671	1.105.148
Total	4.905.306	7.827.643	12.732.949

Fonte: Elaborado pelo autor

A porcentagem de utilização da água de reuso é de 61% em relação à Água Nova, o que demonstra que grande parte da água é aproveitada no processo.

A Figura 22 apresenta a série histórica de vazão de consumo de água potável (CESAN + Poços + Barreiras Hidráulicas) em Tubarão durante o ano de 2017.

Figura 22 – Série histórica de vazão de consumo de água na Unidade de Tubarão em 2017

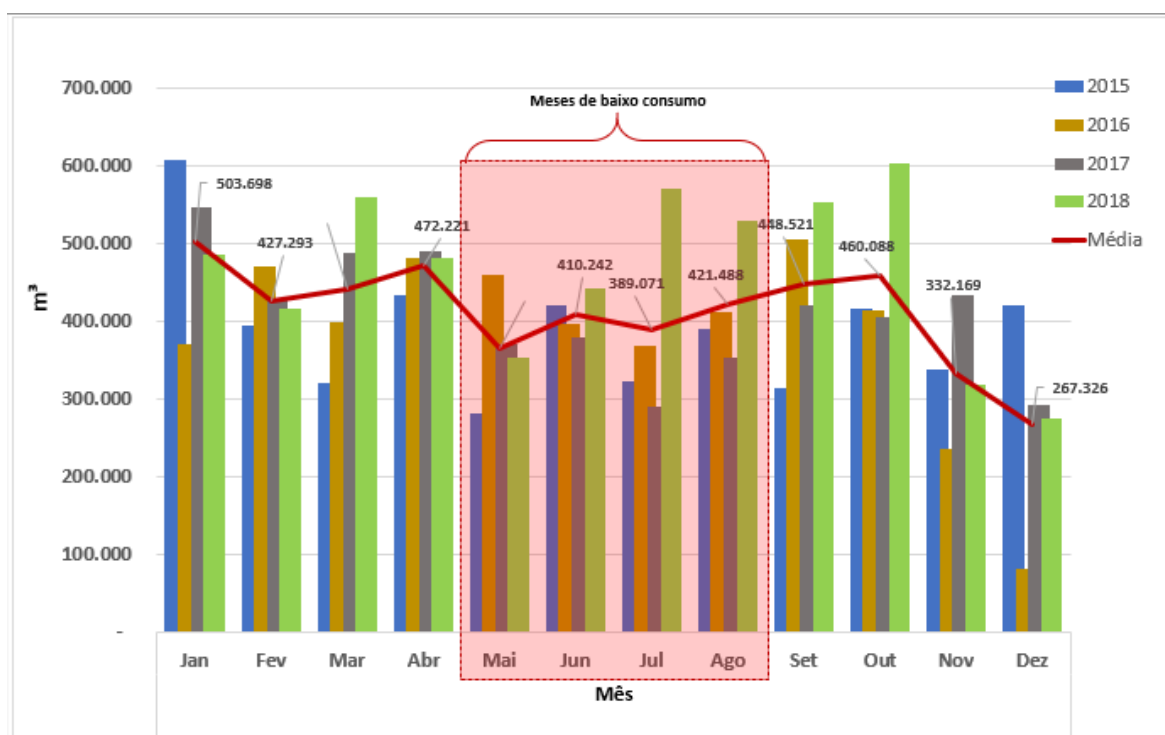


Fonte: Autor (2019)

O consumo de água potável apresenta queda nos meses de maio, junho, julho, agosto e dezembro, sendo que em julho e dezembro, a redução ocorrida foi devido ao menor fluxo de pessoas por se tratar de período de férias e feriados de final de ano.

A Figura 23 (dados no Apêndice V) apresenta a comparação das séries históricas da vazão de consumo de água nova nos anos de 2015 a 2018.

Figura 23 - Consumo mensal de Água Nova em Tubarão nos anos de 2015 a 2018



Fonte: Autor (2019)

Verifica-se que o comportamento do consumo ocorrido no ano de 2017 apresentou o mesmo comportamento da média da série histórica dos anos de 2015 a 2018, ou seja, sempre nos meses de maio, junho, julho, agosto e dezembro havendo redução no consumo de água.

Por outro lado, 55% dessa água (2,7 milhões de m³) são utilizados para reposição dos reservatórios (Bacias 1 a 4) e os outros 45% (2,2 milhões de m³) são destinados ao consumo humano (Tabela 8).

Tabela 8 - Consumo de Água Nova na Unidade de Tubarão

Descrição	Vazão média (m ³ /ano)	Percentual
1. ÁGUA NOVA (CESAN + POÇOS + BARREIRAS)		
Uso Humano (Prédios Adm e Restaurantes)	2.225.284	45%
Água de Make Up (reposição de água nas Bacias)	2.680.022	55%
CONSUMO TOTAL DE ÁGUA NOVA	4.905.306	100%

Fonte: Autor (2019)

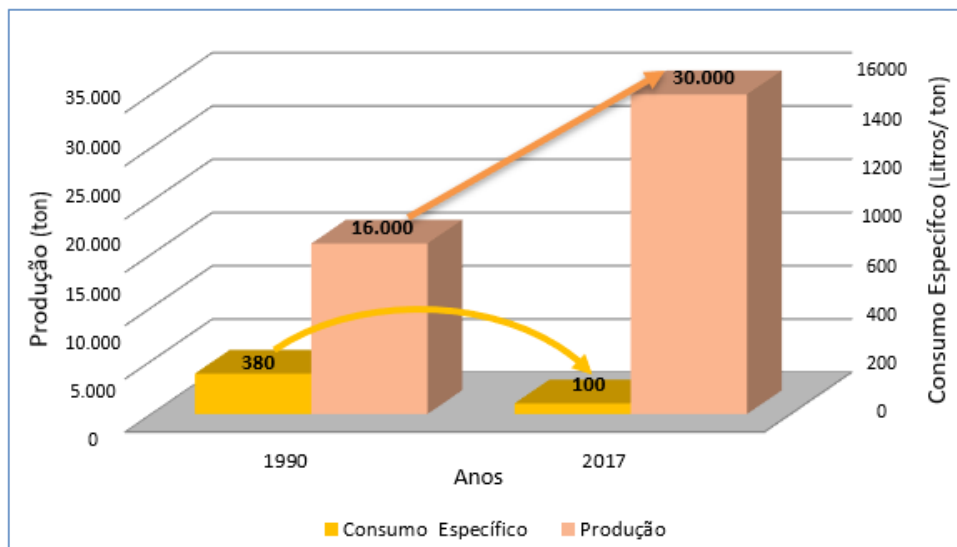
A água utilizada para reposição (aproximadamente 2,7 m³/ano) pode ser substituída por outra com qualidade não potável. É neste sentido que, após ser armazenada e passar por um tratamento, a água de chuva pode ser considerada como uma opção de água de reposição.

5.1 Fluxo das Correntes Líquidas da Unidade de Tubarão

5.1.1 Avaliação Técnica e Diagnóstico do Uso de Água

Na avaliação e diagnóstico do uso da água em Tubarão, observou-se que de 1990 até 2017, houve uma redução do consumo de água e um aumento da produção de pelotas. A Figura 24 mostra a comparação do consumo específico de água (m³/ton de pelotas produzida) relacionado com o aumento da produção de pelotas.

Figura 24 - Aumento da Produção x Redução do consumo específico de água



Fonte: Relatório de Sustentabilidade (2017)

Observa-se que no ano de 1990 foram necessários 380 L de água para produzir uma tonelada de pelotas. Já em 2017 esse consumo foi reduzido para aproximadamente 100 L, ou seja, uma redução de 75% no consumo de água (Figura 25). Comparando-se o aumento de produção no mesmo período com o consumo específico de água, conclui-se que houve redução no consumo de água, mesmo com o aumento da produção em quase 100%, passando de 16.000 ton. para 31.000 ton.

A Tabela 9 apresenta uma comparação da Unidade de Tubarão com outras unidades produtivas semelhantes, tal como as enquadradas de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE).

Tabela 9 - Consumo específico de água de alguns setores industriais

Denominação	Unidade da atividade	Consumo (m ³ /unidade da atividade)	Referências
VALE S.A. (Unidade de Tubarão - DIPE)	t pelotas produzidas	0,10	Relatório de Sustentabilidade da VALE de 2017
ARCELORMITTAL (Siderurgia)	t aço líquido produzido	2,28	Relatório de Sustentabilidade da ARCELORMITTAL de 2017
Extração de minério de ferro	t produzida	0,64	RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.3 –Jul/Set 2014, 327-337
Siderurgia	t aço bruto	1,20-33,60	RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.3 –Jul/Set 2014, 327-339
Metalurgia dos metais não-ferrosos	t produzida	0,50	RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.3 –Jul/Set 2014, 327-340
Fundição	t produzida	1,00	RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.3 –Jul/Set 2014, 327-341

Fonte: Autor (2019).

Os processos industriais de cada uma das empresas da Tabela 9 são diferentes pois tem atividades produtivas específicas para cada uma delas. Entretanto, verifica-se que o consumo da Unidade de Tubarão com 0,10m³/ton é bem menor em relação ao das empresas de extração de minério de ferro com 0,64 m³/ton, (RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.3 –Jul/Set 2014, 327-337). Os resultados obtidos pela Unidade de Tubarão são referentes aos investimentos em melhorias dos processos, renovação e modernização dos equipamentos.

5.1.2 Avaliação da Demanda de Água (Blocos Consumidores)

A média do consumo de água compilado do sistema de registros (PIMS), que considera as leituras do hidrômetro geral da CESAN, dos poços profundos e das barreiras hidráulicas da Unidade de Tubarão. Os resultados das vazões médias mensais de consumo para cada bloco consumidor estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Vazões médias mensais de Consumo de água nos Blocos da Unidade de Tubarão

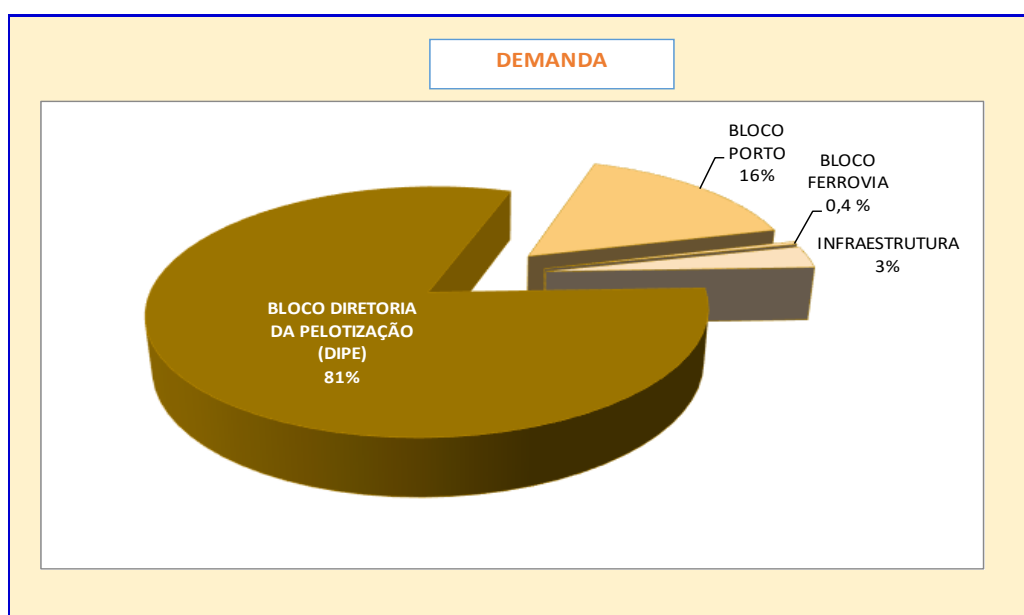
Unidades Industriais	Média do Consumo de água (m ³ /mês)
DIPE	855.326
PORTO	169.977
INFRAESTRUTURA	31.513
FERROVIA	4.263
Total	1.061.079

Fonte: Autor (2019).

Verifica-se que a diretoria de Pelotização (DIPE) se destaca como maior consumidor, com vazão média mensal de 855.326 m³/mês. O segundo maior consumidor é o Porto cuja vazão média é de 169.977 m³/mês, na sequência, a Infraestrutura com 31.513 m³/mês e a Ferrovia com vazão média de 4.263 m³/mês.

Em termos percentuais, a Figura 25 mostra a distribuição percentual do consumo de água do ano de 2017, mostra que a DIPE apresenta 81% do consumo com vazão média aproximada de 10 milhões m³/ano, o Porto (16%) com vazão média aproximada de 2 milhões m³/ano, Infraestrutura (3%) com vazão média aproximada de 378 mil m³/ano e a Ferrovia (0,4%) com vazão média aproximada de 52 mil m³/ano, os valores das vazões de demandas mensais de cada Bloco consumidor, estão no Apêndice III.

Figura 25 - Blocos Consumidores na Unidade de Tubarão



Fonte: Autor (2019).

Os 81% da vazão de consumo total, exercidos pela DIPE, referem-se ao consumo de água pelas atividades de produção de pelotas, sistema de combate a incêndio e reposição de água nos reservatórios (bacias 1 a 4). Já os 16% do Porto são basicamente para umectação de vias, aspersão das pilhas de Pelotas e Minério, lavagem de piso entre outras, enquanto que o consumo da Infraestruturas se destina a jardinagem, lavagem de pisos, umectação de vias.

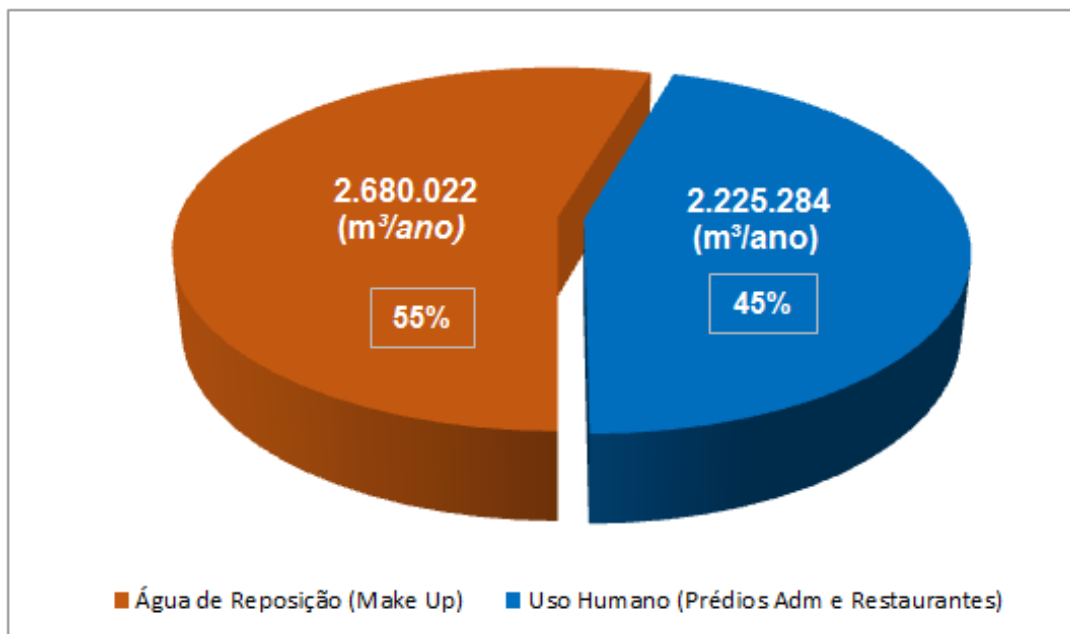
5.1.3 Avaliação da Oferta de Água

Conforme mencionado, são três as fontes de água ofertadas na Unidade de Tubarão: água nova, água de reuso e água de chuva.

5.1.3.1 Água Nova

A Figura 26 demonstra toda a entrada de água nova ofertada para a Unidade de Tubarão.

Figura 26 - Distribuição da oferta de água nova para uso humano e reposição nas Bacias da Unidade de Tubarão



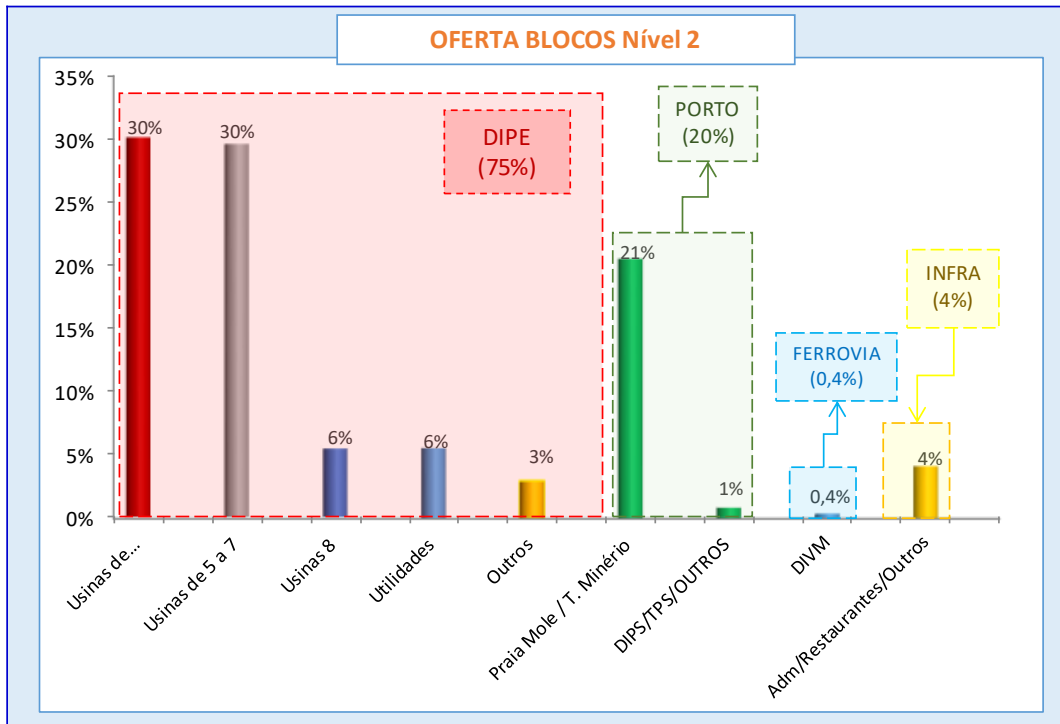
Fonte: Autor (2019).

De acordo com a Tabela 8 e a Figura 26, a água ofertada em Tubarão (55%) é destinada à reposição dos reservatórios (Bacias), restando 45% para o consumo humano. Os resultados encontrados demonstram que a oferta de água potável em

Tubarão é prioritariamente destinada às atividades dos processos industriais e não ao consumo humano.

As Figuras 27 apresentam a distribuição do consumo de água nova nos Blocos das Diretorias DIPE, Porto, Ferrovia e Infraestrutura.

Figura 27 - Distribuição do consumo de água nova para os Blocos Consumidores



Fonte: Autor (2019)

Verifica-se, que os maiores consumos de água nova da Unidade de Tubarão em 2018 são direcionados para os Blocos da DIPE (75%), composto pelas Usinas de 1 a 8, Utilidades e Outros. Em seguida, destaca-se o Bloco do Porto composta do Terminal de Praia Mole e Terminal de Minério com 20%, sendo que os demais Blocos consumiram apenas 5% do total. Considerando as 8 usinas de pelotização instaladas na Unidade de Tubarão, o valor médio da oferta de água por usina é de 8,25%, porém, especificamente a Usina 8 tem um consumo menor (6%) por ter sido construída recentemente (2014), com processos, instalações e equipamentos modernos.

A Tabela 11 apresenta a distribuição do consumo anual de água nova na Unidade de Tubarão no ano de 2017. Conforme já mencionado, o uso das águas provenientes dos poços e das barreiras hidráulicas é misturado com a água da CESAN, passando pelo processo de tratamento na ETA, para posteriormente, ser distribuída para consumo geral dentro da Unidade de Tubarão.

Tabela 11 – Distribuição das vazões médias mensais das fontes que compõem a Água Nova da Unidade de Tubarão

Fonte	m³/ano	Percentual
CESAN	2.003.025	41%
POÇOS + B. HIDRÁULICAS	2.902.282	59%
Total	4.905.306	100%

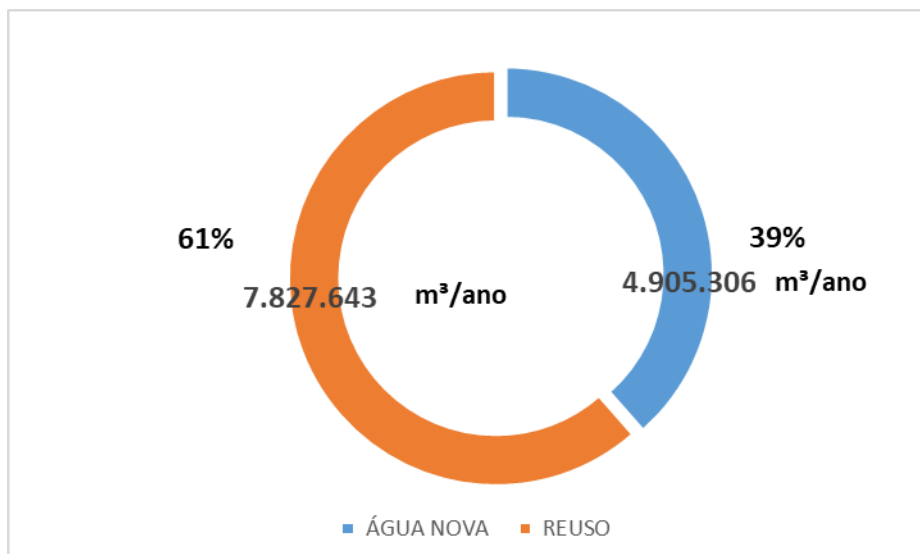
Fonte: Autor (2019).

Pode-se observar que 59% de toda a água nova da Unidade de Tubarão são provenientes de Poços e de Barreiras Hidráulicas, sendo apenas 41% proveniente da concessionária CESAN. Esses resultados indicam que a Unidade de Tubarão tem buscado reduzir a sua dependência do fornecimento da CESAN. Por outro lado, a utilização dos poços e das barreiras hidráulicas como fontes alternativas não potáveis, do ponto de vista da conservação de fontes naturais e de sustentabilidade, torna-se, em longo prazo, uma estratégia questionável. Por esta razão, aproveitar melhor a água de chuva para utilizar em algumas atividades do processo produtivo deve ser considerado como uma estratégia sustentável.

5.1.3.2 Água de Reuso

A partir das leituras realizadas nos hidrômetros e com a elaboração do balanço hídrico da Unidade de Tubarão, caracterizou-se o consumo da água de reuso no ano 2017 (Figura 28).

Figura 28 - Distribuição do percentual e da vazão média anual de toda água consumida na Unidade de Tubarão



Fonte: Autor (2019)

Considerando-se as vazões de consumo de água de reuso com 7,8 milhões de m³/ano (61%) e de água nova com 4,9 milhões de m³/ano (39%), isso corresponde a uma vazão total de água de aproximadamente 13 milhões de m³/ano (Tabela 12). O consumo de água de reuso de Tubarão (61%) são um pouco inferiores aos reportados por Diniz *et al.* (2016), onde 70% de toda água foi proveniente do reuso.

Tabela 12 - Distribuição percentual do consumo de Água Nova de Tubarão

	DIPE	PORTO	FERROVIA	INFRAESTRUTURA	TOTAL	%
ÁGUA NOVA	3.600.455	1.033.510	43.382	227.959	4.905.306	39%

Fonte: Autor (2019).

Resultados similares também foram encontrados por Diniz *et al.*, (2009) também obtiveram ao de Tubarão, com 30% de água potável sendo utilizada para uma unidade industrial de mineração.

A Tabela 13 demonstra o percentual de reuso de água em empresas que tem atividades de mineração e grandes consumidoras de água.

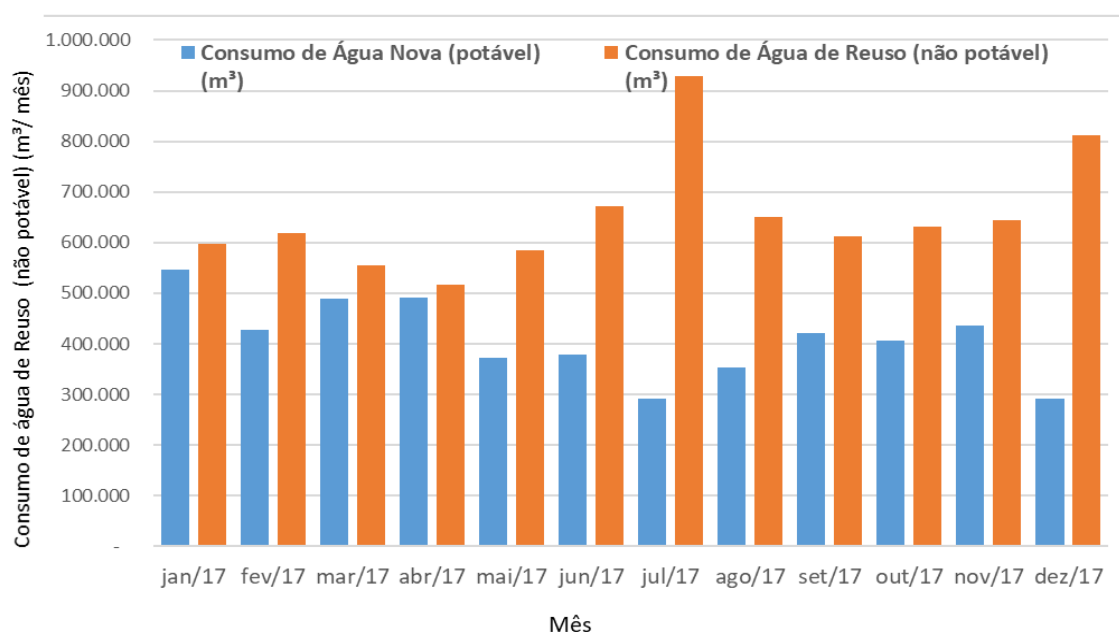
Tabela 13 - Consumo de água de reuso em empresas de mineração grande consumidoras de água

Denominação	Reuso de água (%)	Referências
VALE S.A. (Unidade de Tubarão - DIPE)	61%	Este estudo
Industria de Mineração	80%	ANA, 2006
Atividades de Mineração da VALE	82%	Relatório de Sustentabilidade da VALE de 2017

Fonte: Autor (2019),

A Figura 29 representa a variação do consumo médio mensal de água de reuso na Unidade de Tubarão durante o ano de 2017. Percebe-se que A DIPE apresenta um menor percentual de reuso (61%), variando em torno de 20% com relação às demais. Este valor poderá ser elevado se considerar a utilização de fontes alternativas, como o efluente líquido que é descartado para o oceano.

Figura 29 – Série histórica das vazões de consumo de água de Reuso (não potável) na Unidade de Tubarão em 2017



Fonte: Autor (2019).

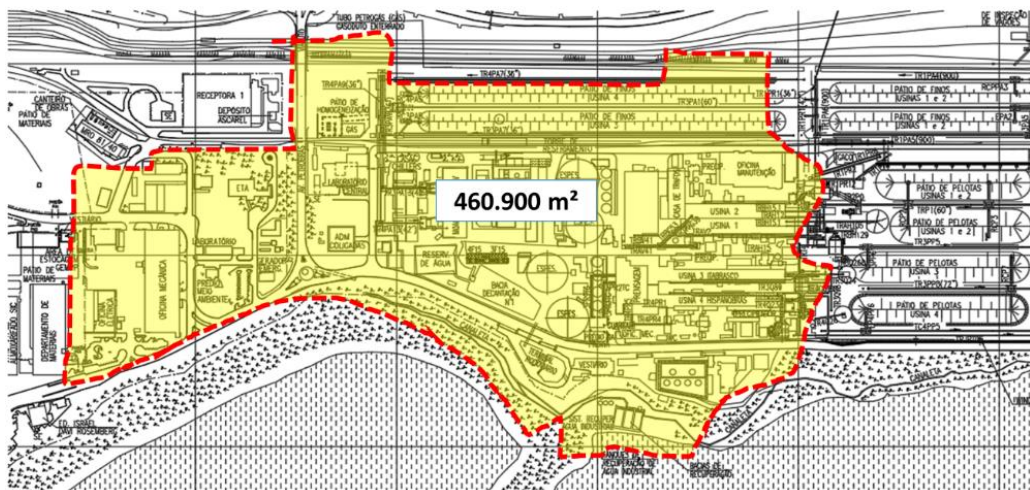
Durante o levantamento dos dados da água de reuso, verificou-se que não há um padrão de consumo em Tubarão. Este fato foi confirmado pelo estudo realizado por Burgarelli (2016). Este fato é um complicador, do ponto de vista do dimensionamento de um sistema, pois a falta de padrão no consumo faz com que para o dimensionamento de um sistema deve-se considerar o pico máximo de demanda. A Figura 29 apresenta a variação do consumo médio de água de reuso na Unidade de Tubarão.

Verifica-se ainda que, diferente do comportamento do consumo de água nova (potável), a maior demanda por água de reuso se manifesta nos meses de maio, junho, agosto e dezembro, observando-se um pico no mês de fevereiro, julho com aproximadamente 930 mil m³. Isso se deve ao fato de que nesse período menos chuvoso aumenta a necessidade de se regar jardins, lavagem de piso, aspersão de pilha entre outras atividades. Já o mês de dezembro o consumo da água de reuso aumenta, pois neste mês a Unidade de Tubarão inicia o programa de verão onde há intensificação dos ventos nordestes, para combater a emissão de particulados para a atmosfera, o uso de água principalmente nas aspersões de pilhas, lavagem de piso e umectação de vias se intensificam.

5.1.3.3 Água de Chuva

Conforme estabelecido anteriormente no item 4.2.3.3, a delimitação da área captação da água de chuva foi realizada para a Diretoria de Pelotização – DIPE resultando no cálculo da água de chuva é de 460.900 m², conforme Figura 30.

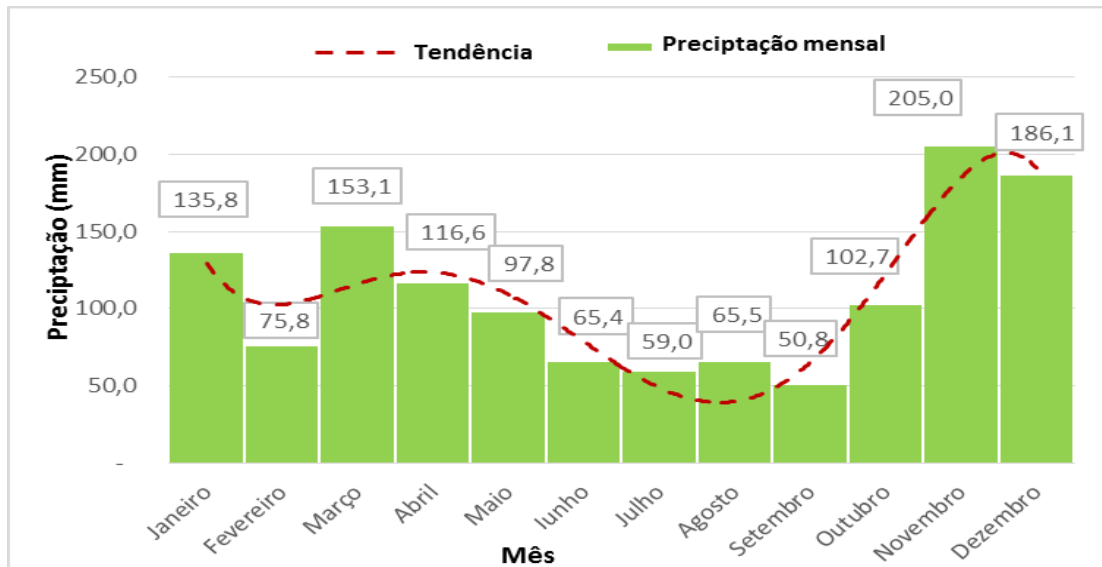
Figura 30 - Área Equivalente considerada para o cálculo de água de chuva



Fonte: Autor (2019).

A Figura 31 apresenta a média mensal da estação pluviométrica nº 83648 (INMET), bem como a distribuição da chuva na região no período de 2002 a 2017

Figura 31 - Média mensal das precipitações (2007-2016) - INMET



Fonte: Autor (2019).

Verifica-se que os meses de novembro e dezembro são os mais chuvosos com 205,0 e 186,1 mm, respectivamente, e os meses de maio a setembro os menos chuvosos, variando de 97,8 mm a 50,8 mm.

Para determinar o coeficiente de escoamento em cada uma das áreas, foi considerada a média conforme Tabela 14.

Tabela 14 - Distribuição dos Coeficientes de escoamento (C) correspondendo a cada uma das Áreas Equivalentes da DIPE

Dados das Bacias		
Nome	Área (m ²)	C
1	26300	0,75
2	80300	0,75
3	22800	0,75
4	78000	0,75
5	24300	0,8
6	47100	0,9
7	11300	0,75
8	35200	0,75
9	11100	0,75
10	16200	0,75
11	24900	0,75
12	4400	0,75
13	6800	0,75
14	64700	0,75
15	7500	0,75
Total	460.900	0,76

Fonte – Autor (2019).

A partir desses dados, conforme a Equação 13 (item 4.2.3.3), calculou-se o volume de água ofertado pelas chuvas na área da DIPE para cada mês do ano, conforme apresentado na Tabela 15.

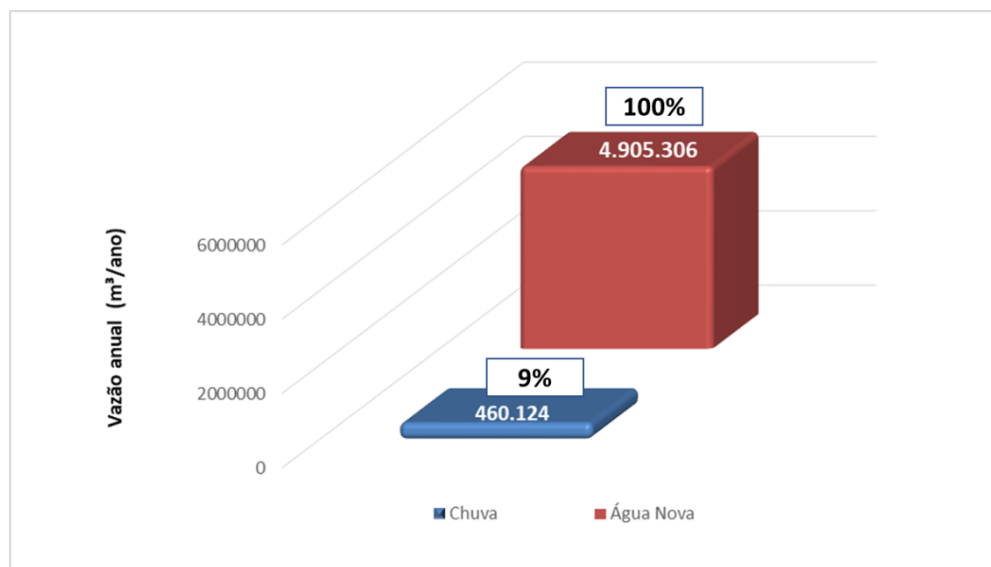
Tabela 15 - Produção mensal de água de chuva da DIPE

Meses	P_{med} mensal	Área de Captação	Produção Mensal de Chuva
	(mm)		
Jan	135,8	460.900,0	47.566
fev	75,8	460.900,0	26.535
Mar	153,1	460.900,0	53.614
Abr	116,6	460.900,0	40.855
Mai	97,8	460.900,0	34.274
Jun	65,4	460.900,0	22.899
Jul	59,0	460.900,0	20.669
Ago	65,5	460.900,0	22.941
Set	50,8	460.900,0	17.804
Out	102,7	460.900,0	35.958
Nov	205,0	460.900,0	71.811
Dez	186,1	460.900,0	65.197
Volume Total anual			460.124

Fonte: Adaptado ANA 2017

Comparando-se os dados com o consumo de água potável fornecido pela CESAN, observa-se que a oferta de água da chuva representa cerca de 9% de todo o consumo de água potável de Tubarão fornecido pela concessionária (Figura 32).

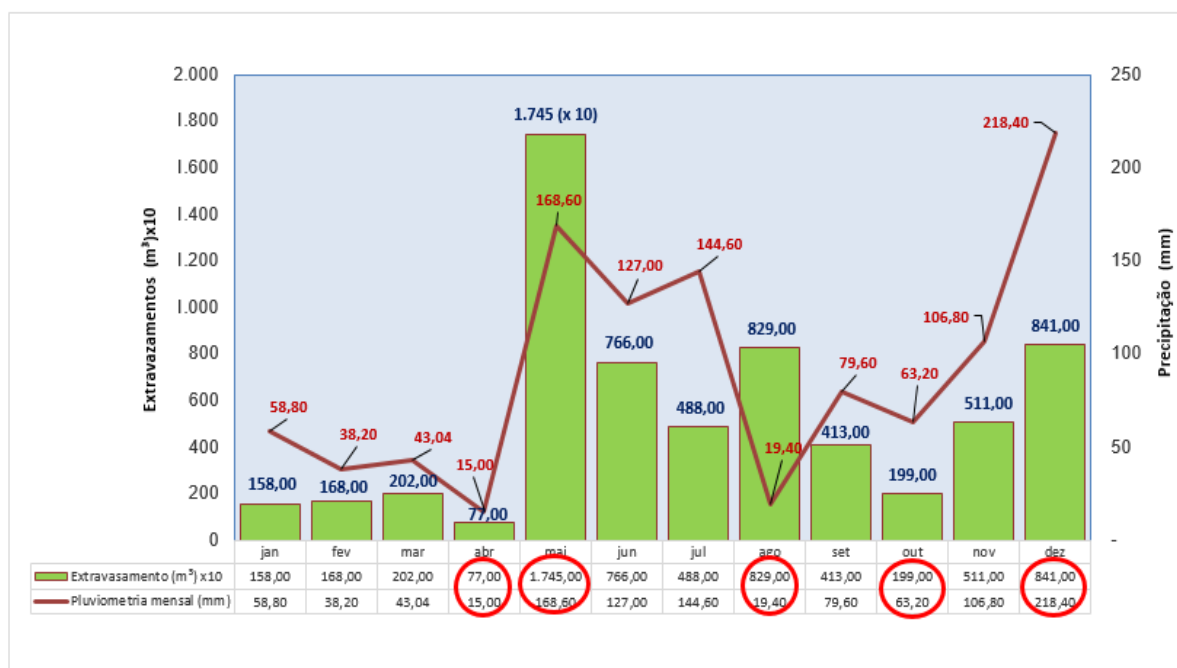
Figura 32 - Comparação dos Volumes de Água Nova da Unidade de Tubarão e Oferta de Água da Chuva da área equivalente da DIPE



Fonte – Autor (2019).

A água da chuva somente poderá ser aproveitada em determinadas atividades que não exijam um padrão de qualidade de água potável. Na Unidade de Tubarão, a demanda por água de reuso (não potável) é muito superior (7,8 milhões m³/ano) ao que é ofertado pelas chuvas (460 mil m³/ano), o que corresponde a 6% de toda água de reuso. Por outro lado, durante a fase de coleta de dados, observou-se que em alguns meses do ano de 2017 os descartes mensais de efluentes líquidos para o oceano estão associados aos períodos chuvosos (Figura 33).

Figura 33 - Comparação dos Descartes (extravasamentos) ocorridos em Tubarão com a Precipitação mensal da região da DIPE no ano de 2017



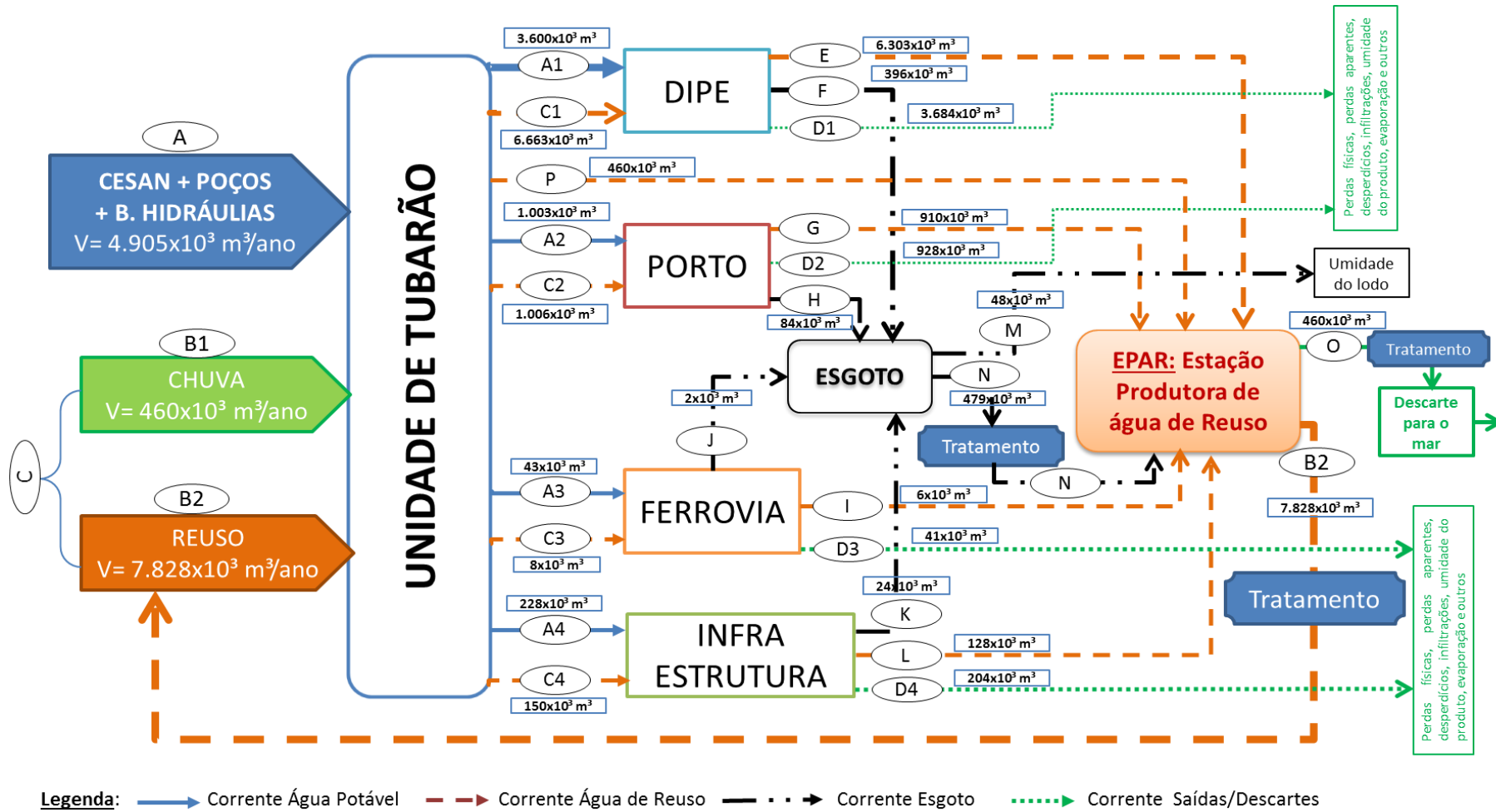
Fonte: Autor (2019).

Nos meses de abril e outubro, tanto a precipitação (15 mm e 63,20 mm) quanto o descarte (770 m³ e 1.990 m³), respectivamente, foram reduzidos. Já em agosto, embora a precipitação tenha sido baixa (19,40 mm) houve descarte de efluente líquido, isso devido às manobras operacionais para realizar manutenções em equipamentos. Percebe-se que no mês de maio houve intensa precipitação (168,60 mm) associada a um grande descarte para o oceano (17.445 m³).

5.2 Balanço Hídrico da Unidade De Tubarão

A partir dos valores das vazões de água de entrada e saída coletadas e estimadas no item 5.1 elaborou-se o fluxograma das correntes líquidas da Unidade de Tubarão (Figura 34).

Figura 34 - Balanço Hídrico do Unidade de Tubarão antes da reconciliação dos dados



Fonte: Autor (2019)

Em que:

- A: Consumo médio anual de água CESAN + Poços + Barreiras Hidráulicas (m³/ano);
- B1: Vazão média anual de água produzido pelas chuvas (m³/ano);
- B2: Vazão média anual de água de reuso (m³/ano);
- A1: Vazão média anual de consumo de água nova da DIPE (m³/ano);
- C1: Vazão média anual de consumo de água de reuso da DIPE (m³/ano);
- A2: Vazão média anual de água de consumo do PORTO (m³/ano);
- C2: Vazão média anual de consumo de água de reuso do PORTO (m³/ano);
- A3: Vazão média anual de água de consumo da FERROVIA (m³/ano);
- C3: Vazão média anual de consumo de água de reuso da FERROVIA (m³/ano);
- A4: Vazão média anual de água de consumo da INFRAESTRUTURA (m³/ano);
- C4: Vazão média anual de consumo de água de reuso da INFRAESTRUTURA (m³/ano);
- E: Vazão média anual da produção de água cinza das Usinas da DIPE (m³/ano);
- F: Vazão média anual da produção de água negra da DIPE (m³/ano);
- D1: Vazão média anual na forma de perdas físicas, perdas aparentes, desperdícios, infiltrações, umidade do produto, evaporação e outros da DIPE (m³/ano);
- G: Produção média anual de água cinza do PORTO (m³/ano);
- H: Vazão média anual da produção de água negra do PORTO (m³/ano);
- D2: Vazão média anual na forma de perdas físicas, perdas aparentes, desperdícios, infiltrações, umidade do produto, evaporação e outros do PORTO (m³/ano);
- I: Vazão média anual da produção de água cinza da FERROVIA(m³/ano);
- J: Vazão média anual da produção de água negra da FERROVIA (m³/ano);
- D3: Vazão média anual na forma de perdas físicas, perdas aparentes, desperdícios, infiltrações, umidade do produto, evaporação e outros da FERROVIA (m³/ano);
- K: Vazão média anual da produção de água negra da INFRAESTRUTURA (m³/ano);
- L: Vazão média anual da produção de água cinza da INFRAESTRUTURA (m³/ano);
- D4: Vazão média anual na forma de perdas físicas, perdas aparentes, desperdícios, infiltrações, umidade do produto, evaporação e outros da INFRAESTRUTURA (m³/ano);
- M: Vazão média anual da produção de água na forma de perdas no processo de tratamento do esgoto (m³/ano);
- N: Vazão média anual da produção de água proveniente do tratamento do esgoto (m³/ano);
- O: Vazão média anual da produção de água de efluente líquido descartado para o mar (m³/ano);
- P: Vazão média anual da saída de água de chuva para a EPAR (m³/ano);

As vazões e os consumos de água apresentados no fluxograma da Figura 35 referem-se aos valores médios horários e mensais, não representando necessariamente as vazões e consumos instantâneos.

Diante dos dados apresentados, elaborou-se a Tabela 16, na qual se atribuiu um valor de QI para cada corrente líquida, conforme critérios definidos no item 4.3.3 no Quadro 5, sendo o valor da qualidade da informação igual a 10 para as vazões medidas por hidrômetro, 4 para as vazões medidas com base em séries históricas consistentes, 2 para vazões coletadas através de simulações e 0,4 para vazões estimadas de forma intuitiva.

Tabela 16 - Vazões medidas e estimadas (Vm) e valor de QI

Item	Correntes	Processo	Vm (m³/ano)	Medidor		QI
				Sim	Não	
1	A	CESAN + Poços + Barreiras Hidráulicas	4.905.306	X		10
2	B1	Água de Chuva	460.124		X	4
3	B2	Reuso	7.827.643	X		10
4	A1	DIPE	3.600.455	X		10
5	C1		7.123.581	X		10
6	A2	PORTO	1.033.510	X		10
7	C2		1.006.208		X	4
8	A3	FERROVIA	43.382	X		10
9	C3		7.776	X		10
10	A4	INFRAESTRUTURA	227.959		X	10
11	C4		150.201		X	4
12	E	DIPE	6.663.457		X	4
13	F		427.102		X	4
14	P		460.124		x	4
15	D1		3.633.477		X	4
16	G	PORTO	1.006.208		X	4
17	H		84.366		X	4
18	D2		949.145		X	2
19	I	FERROVIA	7.776		X	4
20	J		2.109		X	4
21	D3		41.273		X	2
22	K	INFRAESTRUTURA	13.709		X	4
23	L		150.201		X	4
24	D4		214.250		X	2
25	M	Esgoto	52.729		X	10
26	N		474.557		X	10
27	O	Reuso	474.557	X		10
28	B2		7.827.643	X		10

Fonte: Autor (2019)

Para realizar o cálculo do balanço hídrico foram estruturadas equações que compreendem a entrada, distribuição e saída da água na Unidade de Tubarão. A Equação 21 relaciona as entradas de água A (CESAN + Poços + Barreiras Hidráulicas), B1 (Água da chuva) e B2 (Água de Reuso) foram igualadas às entradas de águas nos pontos de consumo das diretorias de Tubarão, correspondendo:

$$A + B1 + B2 = A1 + C1 + A2 + C2 + A3 + C3 + A4 + C4 \quad (21)$$

A Equação 22 relaciona a soma das entradas de água A, B1 e B2 com a soma das saídas, ou seja, as entradas de águas saem de cada uma das Diretorias da Unidade de Tubarão.

$$A + B1 + B2 = D1 + D2 + D3 + D4 + M + O + B2 \quad (22)$$

Toda água de reuso (água industrial) proveniente dos processos de produção da Unidade de Tubarão é direcionada para a Estação Produtora de Água de Reuso – EPAR (as bacias de decantação 1 a 4). A Equação 23 iguala as vazões produzidas pelas Usinas da DIPE (E), PORTO (G), FERROVIA (I), INFRAESTRUTURA (L) e ESGOTO (N) com as saídas para reuso e descarte para o mar (corpo receptor) (O) e de reuso (B2).

$$E + G + I + L + N + P = B2 + O \quad (23)$$

Em que:

E: Vazão média anual da produção de água cinza das Usinas da DIPE (m³/ano);

G: Produção média anual de água cinza do PORTO (m³/ano);

I: Vazão média anual da produção de água cinza da FERROVIA(m³/ano);

L: Vazão média anual da produção de água cinza da INFRAESTRUTURA (m³/ano);

N: Vazão média anual da produção de água proveniente do tratamento do esgoto (m³/ano);

B2: Vazão média anual de água de reuso (m³/ano);

O: Vazão média anual da produção de água de efluente líquido descartado para o mar (m³/ano).

Após os cálculos das vazões de entrada e saídas da Unidade de Tubarão e com a aplicação da ferramenta solver do MExcel®, foram realizados novos cálculos considerando a reconciliação dos dados, já definidos no item 4.3.3 (Quadro 5 da Metodologia). Desta forma a Tabela 17 apresenta os valores válidos e definidos pelo BHR.

Tabela 17 - Resultados válidos extraídos da ferramenta Solver do MExcel

Item	Correntes	Processo	Vm (m ³ /ano)	QI	Vr (m ³ /ano)	Fórmula	Solver
1	A	CESAN + Poços + Barreiras	4.905.306,49	10	4.890.403,41	0,000923	0,097905
2	B1	Água de Chuva	460.123,72	4	463.779,96	0,00101	
3	B2	Reuso	7.827.642,56	10	7.661.280,12	0,04517	
4	A1	DIPE	3.600.454,70	10	3.598.599,40	2,66E-05	
5	C1	DIPE	6.663.457,13	4	6.482.112,56	0,01185	
6	A2	PORTO	1.033.510,45	10	1.033.319,96	3,4E-06	
7	C2	PORTO	1.006.208,00	4	1.008.363,62	7,34E-05	
8	A3	FERROVIA	43.381,94	10	43.384,99	4,95E-07	
9	C3	FERROVIA	7.776,14	4	7.776,57	4,84E-08	
10	A4	INFRAESTRUTURA	227.959,39	10	228.080,70	2,83E-05	
11	C4	INFRAESTRUTURA	150.201,29	4	150.045,73	1,72E-05	
12	E		6.303.943,99	4	6.288.507,40	9,59E-05	
13	F	DIPE	395.464,45	4	395.938,55	2,3E-05	
14	P	DIPE	460.123,72	4	460.130,85	3,84E-09	
15	D1		3.564.503,39	4	3.396.266,00	0,035642	
16	G		910.337,83	4	921.936,44	0,002597	
17	H	PORTO	105.457,19	4	105.237,30	6,96E-05	
18	D2		1.023.923,43	2	1.014.509,85	0,000338	
19	I		5.858,74	4	5.859,21	1,03E-07	
20	J	FERROVIA	2.109,14	4	2.109,12	1,79E-09	
21	D3		43.190,20	2	43.193,23	1,97E-08	
22	K		24.255,15	4	24.259,28	4,63E-07	
23	L	INFRAESTRUTURA	128.151,15	4	128.074,75	5,69E-06	
24	D4		225.754,38	2	225.792,40	1,13E-07	
25	M	Esgoto	47.935,09	10	47.935,73	1,78E-08	
26	N	Esgoto	479.350,85	10	479.608,52	2,89E-05	
27	O	Reuso	460.123,72	10	460.122,85	3,56E-10	
28	B2	Reuso	7.827.642,56	10	7.827.643,43	1,23E-12	

Fonte: Autor (2019).

Em virtude da Unidade de Tubarão ter diversos hidrômetros instalados, grande parte das correntes líquidas de entrada foram medidas, isso fez com que os valores das vazões reconciliadas se aproximaram das vazões medidas (Tabela 18).

Tabela 18 - Relações entre as vazões reconciliadas e vazões medidas

Item	Correntes	Processo	Vm (m ³ /ano)	QI	Vr (m ³ /ano)	Vr-Vm	Desvio (%)
1	A	CESAN + Poços + Barreiras	4.905.306,49	10	4.890.403,41	-14.903,07	-0,30
2	B1	Água de Chuva	460.123,72	4	463.779,96	3.656,24	0,79
3	B2	Reuso	7.827.642,56	10	7.661.280,12	-166.362,44	-2,17
4	A1	DIPE	3.600.454,70	10	3.598.599,40	-1.855,31	-0,05
5	C1	DIPE	6.663.457,13	4	6.482.112,56	-181.344,57	-2,80
6	A2	PORTO	1.033.510,45	10	1.033.319,96	-190,49	-0,02
7	C2	PORTO	1.006.208,00	4	1.008.363,62	2.155,62	0,21
8	A3	FERROVIA	43.381,94	10	43.384,99	3,05	0,01
9	C3	FERROVIA	7.776,14	4	7.776,57	0,43	0,01
10	A4	INFRAESTRUTURA	227.959,39	10	228.080,70	121,31	0,05
11	C4	INFRAESTRUTURA	150.201,29	4	150.045,73	-155,55	-0,10
12	E		6.303.943,99	4	6.288.507,40	-15.436,60	-0,25
13	F	DIPE	395.464,45	4	395.938,55	474,10	0,12
14	P	DIPE	460.123,72	4	460.130,85	7,13	0,00
15	D1		3.564.503,39	4	3.396.266,00	-168.237,39	-4,95
16	G		910.337,83	4	921.936,44	11.598,61	1,26
17	H	PORTO	105.457,19	4	105.237,30	-219,89	-0,21
18	D2		1.023.923,43	2	1.014.509,85	-9.413,59	-0,93
19	I		5.858,74	4	5.859,21	0,47	0,01
20	J	FERROVIA	2.109,14	4	2.109,12	-0,02	0,00
21	D3		43.190,20	2	43.193,23	3,03	0,01
22	K		24.255,15	4	24.259,28	4,13	0,02
23	L	INFRAESTRUTURA	128.151,15	4	128.074,75	-76,40	-0,06
24	D4		225.754,38	2	225.792,40	38,03	0,02
25	M	Esgoto	47.935,09	10	47.935,73	0,64	0,00
26	N	Esgoto	479.350,85	10	479.608,52	257,68	0,05
27	O	Reuso	460.123,72	10	460.122,85	-0,87	0,00
28	B2	Reuso	7.827.642,56	10	7.827.643,43	0,87	0,00

Fonte: Autor (2019).

Os desvios encontrados estão dentro da margem aceitável de 2%, donde se conclui, que o resultado foi consequência dos valores de QI atribuídos as correntes líquidas da Unidade de Tubarão.

Resultados obtidos por Guzzo (2017), em um estudo no Shopping Vila Velha ES e por Valentim (2018) em restaurante industrial de grande porte, desvios similares a esse trabalho foram relatados, 0,003% e 0,0005% respectivamente. Nestes casos a

pequena variação também foi atribuída aos altos valores adotados de QI para ambos os casos.

A partir da obtenção desses dados, foi possível determinar as principais saídas de água que ocorrem na Unidade de Tubarão. A Tabela 19 relaciona as principais vazões anuais dessas saídas.

Tabela 19 - Vazões médias e percentuais das diversas saídas de água do circuito de efluente líquido de Tubarão

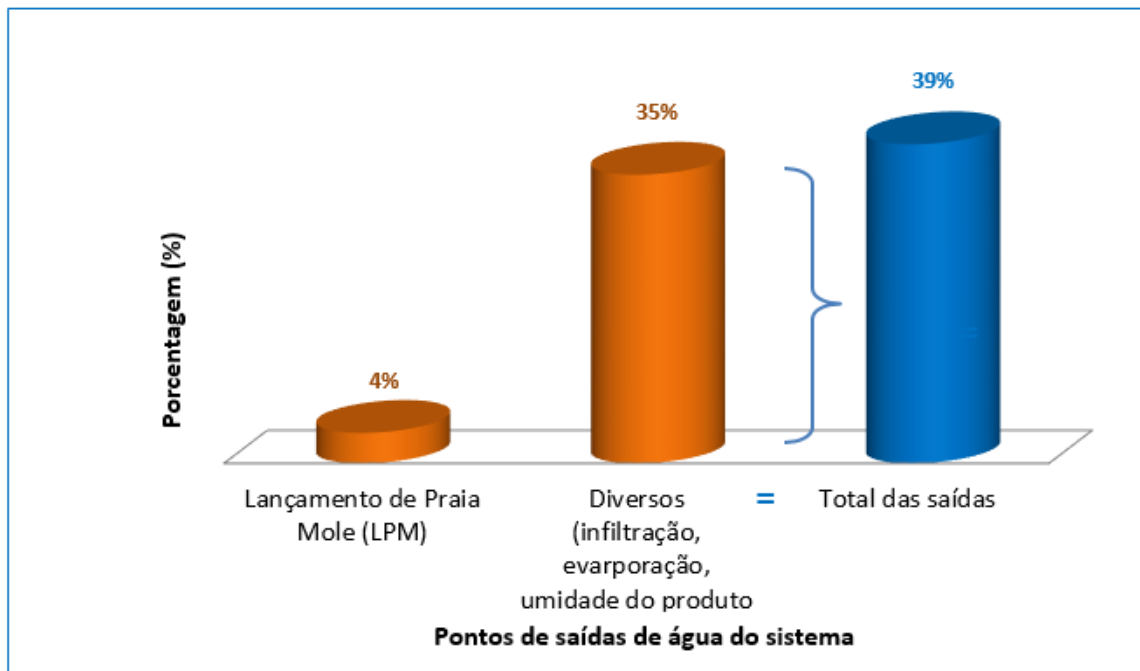
Diversas Saídas de Água da Unidade de Tubarão	
Descrição	Vazão média (m³/ano)
Lançamento de Praia Mole (LPM)	460.124
Diversos (infiltração, evaporação, umidade do produto e outros)	4.508.610
Total das saídas	4.968.734

Fonte: Autor (2019).

Todas as saídas de água de Tubarão, destacando-se que aproximadamente 5 milhões de m³/ano de toda água consumida em Tubarão partem do sistema por lançamentos a corpos receptores ou por infiltração, evaporação, umidade do produto, entre outros. Esta é uma perda bastante expressiva causando forte impacto no balanço hídrico de Tubarão.

Outro aspecto que merece destaque é que, embora vazão de descarte de efluente líquido para o oceano seja reduzida (460.124 m³/ano), este lançamento deve ser contido, uma vez que passando pelo tratamento de efluentes, podem ser utilizados no processo industrial. Através da Figura 35, observa-se a distribuição em percentual das diversas saídas de água que ocorrem na Unidade de Tubarão.

Figura 35 - Representação gráfica das diversas saídas de água das correntes líquidas da Unidade de Tubarão



Fonte: Autor (2019)

Nota-se que 39% de toda água que circula na Unidade de Tubarão é descartada do sistema (aproximadamente 5 milhões de m³/ano), sendo 34% (4,5 milhões de m³/ano) é perdida por diversas formas (infiltração, evaporação, umidade do produto e outros) os outros 4% (algo em torno de 475 mil m³/ano) são descartados para o oceano. Importante observar que, boa parte do consumo da água é para reposição (make up das bacias 1 a 4) com o objetivo de reestabelecer o equilíbrio do sistema de fornecimento de água em Tubarão.

Considerando-se que em determinadas atividades o uso de água para fins produtivos não requer potabilidade da água, após passar por tratamento, a água de chuva como água não potável, torna-se um promissor candidato de reposição de parte dessa demanda em substituição da água de reposição (água potável).

5.3 Estratégia de Aproveitamento de Fontes não Potáveis e Zerar o Descarte de Efluente Líquido em Corpos Receptores

Para iniciar a simulação do método, e verificar se toda a vazão do descarte (460.123,70 m³/ano) pode ser considerada como consumo mensal constante no valor de 38.343,60 m³/mês estimou-se um volume inicial do reservatório de 50.000 m³, conforme demonstrado na Tabela 20.

Tabela 20 - Dados das simulações da demanda e do volume do reservatório (Simulação Inicial)

Meses	P _{med} mensal	Demanda Cte	Área de Captação	Produção Mensal de Chuva	Volume do Reservatório	Nível do Reservatório		Descarte (Overflow)	Reposição de Água (Make Up)
	(mm)	(m ³)	(m ²)	(m ³)	(m ³)	Antes	Depois		
	Pt	Dt	A	Voft	Volume Inicial	St-1	St		
Jan	135,8	38.343,6	460.900,0	47.566,2	50.000,0	-	9.222,6	0	-
fev	75,8	38.343,6	460.900,0	26.535,2	50.000,0	9.222,6	2.585,9	0	2.585,9
Mar	153,1	38.343,6	460.900,0	53.614,5	50.000,0	-	15.270,8	0	-
Abr	116,6	38.343,6	460.900,0	40.854,8	50.000,0	15.270,8	17.782,0	0	-
Mai	97,8	38.343,6	460.900,0	34.274,1	50.000,0	17.782,0	13.712,5	0	-
Jun	65,4	38.343,6	460.900,0	22.899,2	50.000,0	13.712,5	1.732,0	0	1.732,0
Jul	59,0	38.343,6	460.900,0	20.669,1	50.000,0	-	17.674,6	0	17.674,6
Ago	65,5	38.343,6	460.900,0	22.941,3	50.000,0	-	15.402,4	0	15.402,4
Set	50,8	38.343,6	460.900,0	17.803,8	50.000,0	-	20.539,9	0	20.539,9
Out	102,7	38.343,6	460.900,0	35.957,8	50.000,0	-	2.385,8	0	2.385,8
Nov	205,0	38.343,6	460.900,0	71.810,6	50.000,0	-	33.466,9	0	-
Dez	186,1	38.343,6	460.900,0	65.197,2	50.000,0	33.466,9	50.000,0	10320	-
Total Anu	1.313,6	460.123,7		460.123,7			79.134,3	10320	60.320,5
				% Falhas			50,00		
				Volume aproveitável durante o ano (m3)			399.803		
				Estimativa Inicial do Volume Cisterna =	50.000,0				

Fonte: Autor (2019).

Analisando a Tabela 20, verifica-se que o reservatório com 50.000 m³ permite o descarte de efluente líquido e ainda este não terá a capacidade de atender à demanda, pois será necessária uma reposição de água (make up) de 60.320,50 m³. Esta condição apresenta uma falha de 50% e não atende aos critérios para dimensionamento do reservatório definidas no item 4.4 da Metodologia. Para determinar o volume de água do reservatório que satisfizesse as premissas de cálculo deste trabalho, foram realizadas várias as simulações que estão demonstradas no Apêndice I.

Na etapa final das simulações, chegou-se aos resultados relacionados na Tabela 21.

Tabela 21 - Cálculo do volume do reservatório para demanda de 30.608m³/mês (Simulação Final)

Meses	P _{med} mensal	Demanda Cte	Área de Captação	Produção Mensal de Chuva	Volume do Reservatório	Nível do Reservatório		Descarte (Overflow)	Reposição de Água CW
	(mm)	(m ³)	(m ²)	(m ³)	(m ³)	Antes	Depois		
	Pt	Dt	A	Voft	Volume Inicial	St-1	St		
Jan	135,8	31.906,0	460.900,0	47.566,2	82.124,0	-	15.660,2	0	0
fev	75,8	31.906,0	460.900,0	26.535,2	82.124,0	15.660,2	10.289,4	0	0
Mar	153,1	31.906,0	460.900,0	53.614,5	82.124,0	10.289,4	31.997,9	0	0
Abr	116,6	31.906,0	460.900,0	40.854,8	82.124,0	31.997,9	40.946,7	0	0
Mai	97,8	31.906,0	460.900,0	34.274,1	82.124,0	40.946,7	43.314,8	0	0
Jun	65,4	31.906,0	460.900,0	22.899,2	82.124,0	43.314,8	34.308,0	0	0
Jul	59,0	31.906,0	460.900,0	20.669,1	82.124,0	34.308,0	23.071,1	0	0
Ago	65,5	31.906,0	460.900,0	22.941,3	82.124,0	23.071,1	14.106,4	0	0
Set	50,8	31.906,0	460.900,0	17.803,8	82.124,0	14.106,4	4,2	0	0
Out	102,7	31.906,0	460.900,0	35.957,8	82.124,0	4,2	4.056,0	0	0
Nov	205,0	31.906,0	460.900,0	71.810,6	82.124,0	4.056,0	43.960,5	0	0
Dez	186,1	31.906,0	460.900,0	65.197,2	82.124,0	43.960,5	77.251,7	0	0
Total An	1.313,6	382.872,0		460.123,7			338.966,9	0	-
				% Falhas			0,00		
				Volume aproveitável durante o ano (m3)			382.872		
				Estimativa Inicial do Volume Cisterna =	82.124,0				

Fonte: Autor (2019).

O resultado da última simulação definiu que o volume de 82.124 m³ é possível conter a água que seria descartada para o oceano, podendo retornar para o processo produtivo e atender a uma vazão de demanda de 382.872 m³/ano.

A estratégia encontrada, portanto, foi a construção de um reservatório para conter a água de chuva, que após um tratamento pode ser utilizada nos processos industriais que não necessitam de água potável. Com isso a utilização da chuva como água de reuso irá aumentar o percentual de reutilização dos atuais 61% para 67%, em contrapartida haverá redução do consumo de água nova (potável) de 39% para 33%.

6 CONCLUSÕES

Esse trabalho avaliou o comportamento de todo o fluxo das correntes hídricas da Unidade de Tubarão. Por meio da divisão da Unidade em “Blocos Consumidores” foi possível observar que os maiores consumidores de água são DIPE, PORTO e Infraestrutura, responsáveis pelo consumo de 81%, 16% e 3% do total da água que circula em Tubarão, respectivamente.

Também foi possível verificar que a partir da realização do balanço hídrico (BH) da Unidade de Tubarão, é viável a utilização da água de chuva tratada, com um potencial de oferta de 460.123,72 m³ de água no ano, equivalente a cerca de 9% de todo o consumo de água potável de Tubarão fornecido pela concessionária CESAN. Vale ressaltar que se chegou a uma vazão aproximada de 5 milhões de m³/ano (35%) de toda água consumida na Unidade é retirada do sistema, por perdas, desperdícios, evaporação, infiltração, umidade do produto, entre outros. Estas perdas são bastante expressivas causando forte impacto no equilíbrio do balanço hídrico, pois para compensar as saídas, é necessária a reposição deste volume de água para estabilizar o sistema.

A pesquisa também avaliou que, para repor água aos reservatórios e compensar as perdas (saídas), a Unidade de Tubarão utiliza uma vazão aproximada de 3 milhões de m³/ano de água potável, correspondendo a 55% de toda oferta desta água. A utilização da água de chuva reduzirá o consumo da água potável e contribuirá com a estratégia definida neste estudo em utilizar fontes alternativas. Para conter a água de chuva e para evitar o descarte de efluente líquido em corpos receptores será necessária a construção de um reservatório com aproximadamente 82.124 m³ de capacidade.

A utilização de fontes alternativas e redução no consumo trazem não somente benefícios econômicos, mas também, alívio nos sistemas de drenagens e de esgoto, além de posicionar a empresa na trilha de sua visão estratégica: “Transformar recursos naturais em prosperidade e desenvolvimento sustentável”. Por considerar que a VALE é uma empresa que possui várias unidades industriais no Brasil e no mundo, avaliou-se que este estudo poderá ser expandido para as outras unidades obtendo os mesmos ou até maiores benefícios aqui proposto para a Unidade de Tubarão.

7 RECOMENDAÇÕES

- Como recomendação para futuros trabalhos, o autor sugere considerar toda a poligonal que define a região da Unidade de Tubarão como área equivalente para o cálculo da vazão da água de chuva e não somente a área da DIPE.
- Recomenda-se realizar o estudo de viabilidade econômica para implantação de um reservatório para captação da água de chuva.
- Este estudo para identificar os principais pontos que geram desperdícios ou perdas físicas dentro de Tubarão.
- Implantação de programas de redução de consumo e geração de efluentes, tais como implantado nas indústrias Deten Química S.A., que após a implementação do Programa Efluente Zero – PEZ, conseguiu reduzir o seu consumo de água em 48% e da Rhodia empresa de alimentos, que reduziu em 68% no volume total de água consumida.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUA um importante ativo da economia verde. **ECOCASA**, São Paulo, 5 abr. 2014. Disponível em <<http://www.ecocasa.com.br/agua-um-importante-ativo-da-economia-verde>>. Acesso em: dez. 2016.

ALEXANDRE, E. C. F.; CASTRO, M. L. de; PESQUERO, M. A. Caracterização e tratamento de águas cinza com fins não potáveis. **Revista de Biotecnologia e Ciência**. Anápolis, v. 2, n. 2, p. 106-116, 2013.

AL-SALLAL, K. A.; AL-RAIS, L.; DALMOUNK, M. B. Designing a sustainable house in the desert of Abu Dhabi. **Renewable Energy**, p. 80-84, 2013.

ALWI, S. R. W.; MANAN, Z. A.; SAMING, M. H.; MISRAN, N. A holistic framework for design of cost-effective minimum water utilization network. **Journal of Environmental Management**, p. 219-252, 2008.

AMORIM, S. V. de.; PEREIRA, D. J. A. de. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.

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, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BAPTISTA, M.; COELHO, M. M. L. P. Fundamentos de engenharia hidráulica. 2ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003.

BEAL, C. D.; STEWART, R. A. Identifying Residential Water end Uses Underpinning Peak Day and Peak Hour Demand. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 2014.

CASTRO, L. M. A.; CORDEIRO, J. R. C; MELO, H. C. **Sistema de Gerenciamento de recursos hídricos para garantia de suprimento de água na indústria**. 2009.

CHEESMAN, J.; BENNETT, J.; SON, T. V. H. Estimating household water demand using revealed and contingent behaviors: Evidence from Vietnam. **Water Resources Research**,

v. 44, 2008.

CHUA, K. J.; CHOU, W. M.; YAN, J. Achieving better energy-efficient air conditioning – A review of technologies and strategies. **Applied Energy**, p. 87-104, 2013.

CHUNG, E.; LEE, K. S. Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques. **Journal of Environmental Management**, p. 1502-1522, 2009.

CIMINELLI, V. S. T.; PEDREIRA, R. R. V. **Água na indústria mineral, impacto da seca, perspectiva**. 2014.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Água, indústria e sustentabilidade**. Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade – GEMAS. Brasília – DF. 2013, p. 232.

COHIM, E; GARCIA, A; KIPERSTOK, A; DIAS, M. C. Consumo de água em residência de baixa renda – estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife. **Anais... ABES**. Recife 2009

COOK, S.; SHARMA, A. K.; GURUNG, T. R.; Evaluation of alternative water sources for commercial buildings: A case study in Brisbane, Australia. **Resources, Conservation and Recycling**, p.86-93, 2014.

CROWE, C. M., 1986. Reconciliation of process flow rates by matrix projection. **AIChE Journal**. v. 32, n. 4, 1986, p.616-623.

CUNHA, K. F. da. **Caracterização e monitoramento do consumo de água em habitações de interesse social**. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

DANTAS, F. M.; GUIMARÃES, P. B. V.; **Reflexões sobre água e mineração em um contexto de escassez: O CASO DO MUNICÍPIO DE CURRAIS NOVOS/RN sob o prisma do direito e desenvolvimento**, II SIMÓCIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO NORDESTE, CAMPINA GRANDE-PB, 2007.

DINIZ, M.G.M.; SILVA, F. E. O.; NASCIMENTO, F. A.; VIANNA, P. P.; RESENDE, M. F.; SANTOS, M. L. P. 2016, **Estudo de balanço hídrico em empreendimentos de mineração**, p.15-17.

DOMÈNECH, L., SAURÍ, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal of Cleaner**

Production. p. 598-608, 2011.

EL-SALAM, M. M. A.; EL-NAGGAR, H. M. In-plant control for water minimization and wastewater reuse: a case study in pasta plants of Alexandria Flour Mills and Bakeries Company, Egypt. **Journal of Cleaner Production**, p. 1403-1412, 2010.

EROKSUZ, E., RAHMAN, A. Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. **Resources, Conservation and Recycling**. p. 1449-1452, 2010.

ESCASSEZ hídrica atinge outros países e situação é agravada por mudanças climáticas. **Sabesp**, São Paulo, 17 dez. 2014. Notícias. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaold=65&id=6388>>. Acesso em 18 dez. 2016.

FARIA, A. DA S.; KIPERSTOK A.; MEDEIROS, Y.D.P. Aproximação dos conceitos de gestão de recursos hídricos e produção limpa, utilizando a abordagem gestão da demanda. In: CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, I., 2010. Salvador. **Anais... Salvador: ABES**, 2010. 5p.

FIDAR, A. M.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Performance evaluation of conventional and water saving taps. **Science of the Total Environment**, p. 815-824, 2016.

FIESP/CIESP – Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. Conservação e reúso de água: **Manual de orientações para o setor industrial**. São Paulo, 2004.

FILHO, G. R. O. A crise da água na região metropolitana de São Paulo em 2014 e a ineficiente gestão dos recursos hídricos. **CES Revista**, Juiz de Fora, v. 29, n. 1, p. 5-20, jan/jul. 2015.

FIORI, S., FERNANDES, V. M. C., PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 19-30, 2006.

FONTANA, D., KALID, R., SARTORI, I., KIPERSTOK, A., SILVA, M., SALES, E. A., FILHO, J. G. P., PERAZZO, S. Balanço hídrico – uma nova sistemática. In: II Congresso Brasileiro de Termodinâmica Aplicada – CBTERMO., 2004, **Paraná. Anais...XV COBEQ A Engenharia Química e o Crescimento Sustentável**, 2004. 7.p.

FREIRE M. T. M., KALID R. A., AMORIM G.J.S., KIPERSTOK A. Balanço hídrico reconciliado como instrumento de apoio à gestão do consumo de água em instalações aeroportuárias: o estudo de caso o Aeroporto Internacional de Salvador Bahia/Brasil. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e

Ambiental,32., 2010, Punta Cana, República Dominicana. **Anais...** Republica Dominicana: AIDIS, 2010.

FREIRE, M. T. M. **O consumo racional de água no aeroporto internacional de Salvador, Bahia/Brasil.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

GHISI, E., BRESSAN, D. L., MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. **Building and Environment.** P. 1654-1666, 2007.

GHISI, E., FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment.** P. 2512-2522, 2007.

GILRON, J. Water-energy nexus: matching sources and uses. **Clean Technologies and Environmental Policy**, p. 1471-1479, 2014.

GOIS, E. H. B. de.; RIOS, C. A. S.; COSTANZI, R. N. Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, p. 263-271, 2015.

GONÇALVES, R. F., SIMÕES, G. M. S. da., WANKE, R. Reuso de águas cinzas em edificações urbanas – estudo de caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ). **Revista AIDIS**, v. 3, n. 1, p. 120-131, 2010.

GONÇALVES, R.F. (Org.). **Uso Racional da Água em Edificações.** Prosab-Finep Edital 4. Rio de Janeiro: Abes, 2006.

GONÇALVES, R.F. (Org.). **Uso Racional de Água e Energia.** Prosab-Finep Edital 5. Rio de Janeiro: Abes, 2009.

GOSSLING, S. New performance indicators for water management in tourism. **Tourism Management**, p. 233-244, 2015.

GUDE, V. G. Energy and water autarky of wastewater treatment and power generation systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 52-68, 2015.

GUDE, V. G.; NIRMALAKHANDAN. N.; DENG, S. Renewable and sustainable approaches for desalination. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 2641-2654, 2010.

HURLIMANN, A. Household use of and satisfaction with

alternative water sources in Victoria Australia. **Journal of Environmental Management**, p. 2691-2697, 2011.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Históricos**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em jun. 2017.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. **Tabela de Consumo de Energia Elétrica – Chuveiros Elétricos** – Edição 02/2016. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/chuveiro.pdf>>. Acesso em jun. 2017.

JONES, M. P., HUNT, W. F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. **Resources, Conservation and Recycling**, p. 623-629, 2010.

KESHAVARZI, A. R.; SHARIFZADEH, M.; HAGHIGHI, A. A. K.; AMIN, S.; KESHTKAR, Sh.; BAMDAD, A. Rural domestic water consumption behavior: A case study in Ramjerd area, Fars province, I.R. Iran. **Water Research**, p. 1173-1178, 2006.

KHASTAGIR, A., JAYASURIYA, N. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. **Journal of Hidrology**, p. 181-188, 2010.

KUMAR, P.; SAROJ, D. P. Water-energy-pollution nexus for growing cities. **Urban Climate**, p. 846-853, 2014.

LI, Z., BOYLE, F., REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, p. 1-8, 2010.

LISBOA, L.; SILVA, D. D.; OLIVEIRA, I. C.; SILVA, B. M. B. **Matriz de Coeficientes Técnicos de Recursos Hídricos para o Setor Industrial Brasileiro**

LOIOLA, R. O aquecimento global não é o vilão da crise hídrica de São Paulo. **Veja.com**. Fev/2015. Seção Ciência. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia/o-aquecimento-global-nao-e-o-vilao-da-crise-hidrica-de-sao-paulo/>>. Acesso em: nov. 2016.

MARINOSKI, D. L.; GHISI, E.; GOMEZ, L. A. Aproveitamento de água pluvial e dimensionamento de reservatório para fins não potáveis: Estudo de caso em um conjunto residencial localizado em Florianópolis – SC. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE

CONSTRUÍDO, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ENTAC, 2004.

MARTINS, M.A.F., AMARO, C., SOUZA, L., KALID, R., KIPERSTOK. A. New objective function for data reconciliation in water balance from industrial process. **Journal of Cleaner Production**. v. 18, p. 1184-1189, 2010.

MIERZUWA, José Carlos; HESPANHOL , Ivanildo, **Água na Indústria – Uso Racional e Reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005

MILLER, G. W., Integrated concepts in water reuse: managing global water needs, **Desalination** 187 (2006) 65–75

MUN, J.S., HAN, M. Y. Design and operational parameters of a rooftop rainwater harvesting system: Definition, sensitivity and verification. **Journal of Environmental Management**. p. 147-153, 2012.

NAÇÕES UNIDAS. World Population Prospects, the 2015 Revision: **Key finding and advance tables**. Department of Economic and Social Affairs, New York, 2015.

NAIR, S.; GEORGE, B.; MALANO, H. M.; ARORA, M.; NAWARATHNA, B. Water-energy-greenhouse gas nexus of urban water systems: Review of concepts, state-of-art and methods. **Resources, Conservation and Recycling**, p. 1-10, 2014.

NETO, E. F.; ESTENDER A. C. **Tratamento e Reuso da água junto aos clientes como instrumento de diferenciação competitivo sustentável**, 2015.

NETO, R. F. M.; CARVALHO, I. C. CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F. Rainwater use in airports: A case study in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**. p. 36-43, 2012.

NGUYEN, M.T., Vink, S., Ziemski M., Barrett D.J.(2014) Water and energy synergy and trade-off potentials in mine water management. **Journal of Cleaner Production**. v 84, p. 629-638.

NICOLETTE, J.; BURR, S.; ROCKEL, M. A Practical Approach for Demonstrating Environmental Sustainability and Stewardship through a Net Ecosystem Service Analysis. **Sustainability**, p. 2152-2177, 2013.

OLIVEIRA, A. P. A.; LUZ, A. B.; **Recursos Hídricos e Tratamento de água na mineração**, 2001.

OLIVEIRA, G. L. **A metodologia TECLIM para uso racional da água na indústria: Uma proposta de sistematização**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia 149 Industrial) – Programa

de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

PATTANAYAK, S. K.; YANG, J. C. Coping with unreliable public water supplies: Averting expenditures by households in Kathmandu, Nepal. **Water Resources Research**, v. 41, 2005.

PATTANAYAK, S. K.; YANG, J. C. Coping with unreliable public water supplies: Averting expenditures by households in Kathmandu, Nepal. **Water Resources Research**, v. 41, 2005.

PURA. Programa de uso racional da água. **Diretrizes de Gestão de Sistemas de Reservação de Água Potável**, versão 1.13. São Paulo, 2013. Disponível em <<http://www.pura.usp.br/pesquisa-e-extensao/dtrs/>>. Acesso em: out. 2016.

QIN, Y. A. N.; CURMI, E. A.; KOPEC, G. A.; ALLWOOD, J. A.; RICHARDS K. China's energy-water nexus – assessment of the energy sector's compliance with the “3 Red Lines” industrial water policy. *Energy Policy* 82(2015)131–143. journal homepage: www.elsevier.com/locate/enpol

Rachel Baum, Urooj Amjad, Jeanne Luh, Jamie Bartram, **An examination of the potential added value of water safety plans to the United States national drinking water legislation**

RAHMAN, A., KEANE, J., IMTEAZ, M. A. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. **Resources, Conservation and Recycling**. p. 16-21, 2012.

RAPOPORT, B. **Águas cinza: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reúso domiciliar e condominial**. 2004. Monografia. Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2004.

RODRIGUES, I., MARTINS, M., HARTMANN, A., KALID, R. **Utilização de questionários na estimativa da incerteza em reconciliação de dados do balanço hídrico**. Trabalho apresentado no VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Minas Gerais, 2009. Disponível em: <<http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br/>>. Acesso em: abr. 2018.

RODRIGUES, R.S. **As Dimensões Legais e Institucionais de Reúso de Água no Brasil: Proposta de Regulamentação do Reúso no Brasil**, 2005.

SANTOS, G.O.; HERNANDEZ, F. B.T.; ROSSETTI, J. C. **Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo**. 2010.

Shaoqing Chen, Bin Chen, Urban nexus-água da energia: A

perspectiva de rede, p. 1-3, 2016

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: Precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, n. 2, p. 137-148, 2007.

SILVA, L. M. **Estudo da demanda de água não potável e desenvolvimento de um sistema de reúso de água cinza para habitação de interesse social**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

SINGH, V. P.; KHEDUN, C. P.; MISHRA, A. K. Water, Environment, Energy, and Population Growth: Implications for Water Sustainability under Climate Change. **Journal of Hydrologic Engineering**, p. 667-673, 2014.

SINGH, V. P.; KHEDUN, C. P.; MISHRA, A. K. Water, Environment, Energy, and Population Growth: Implications for Water Sustainability under Climate Change. **Journal of Hydrologic Engineering**, p. 667-673, 2014.

SOUZA et. al. Balanço hídrico: Uma ferramenta para gestão industrial e otimização ambiental. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Olinda – PE. 2009, p. 8

VERGARA, S. C.; BRANCO, P. D. Empresa Humanizada: a organização necessária e possível. **RAE – Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 20-30, 2001.

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 291-300, 2010.

WIENER, M. J.; JAFVERT, C. T.; NIES, L. F. The assessment of water use and reuse through reported data: A US case study. **Science of the Total Environment**, p. 70-77, 2016.

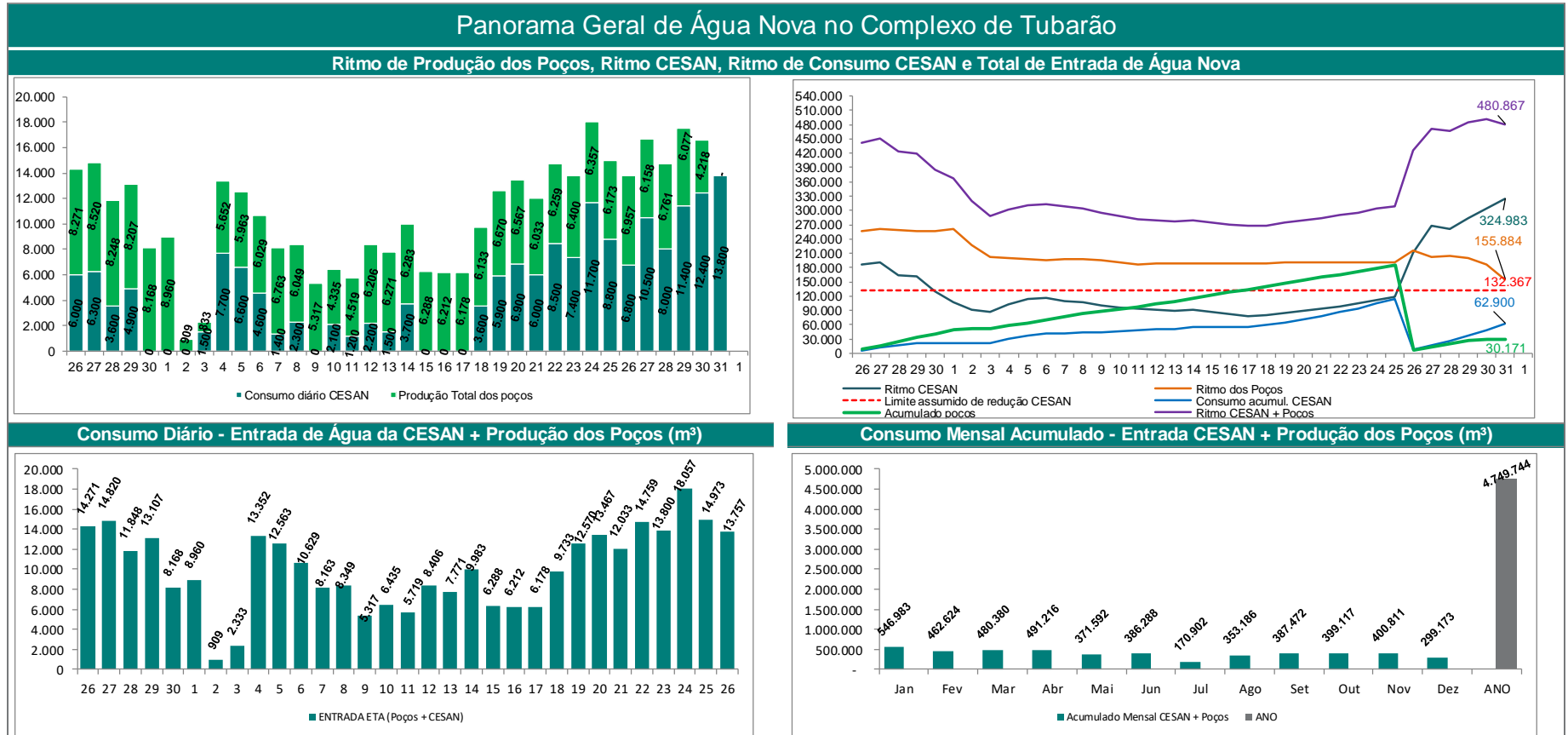
7 ANEXOS e APÊNDICES

7.1 ANEXO I

	ETE SUL (m³/mês)			ETE NORTE (m³/mês)			ETE PÍER (m³/mês)			UASB (m³/mês)			ETEO (m³/mês)			LAGOA (m³/mês)			SILO (m³/mês)			PLUVIOGRAMA (mm/m²/mês)	TOTAL DO PERÍODO (m³/mês)
	TRATADO	VAZÃO DE PROJETO	(%) COM RELAÇÃO AO TOTAL	TRATADO	VAZÃO DE PROJETO	(%) COM RELAÇÃO AO TOTAL	TRATADO	VAZÃO DE PROJETO	(%) COM RELAÇÃO AO TOTAL	TRATADO	VAZÃO DE PROJETO	(%) COM RELAÇÃO AO TOTAL	TRATADO	VAZÃO DE PROJETO	(%) COM RELAÇÃO AO TOTAL	TRATADO	VAZÃO DE PROJETO	(%) COM RELAÇÃO AO TOTAL	TRATADO	VAZÃO DE PROJETO	(%) COM RELAÇÃO AO TOTAL		
21/12/2016 a 20/01/2017	13.650,00	69450,00	34,51%	11160,00	58000,00	28,22%	7200,00	13201,00	18,20%	223,00	8102,00	0,56%	1165,00	15001,00	2,95%	6152,00	7777,00	15,55%	0,00	0,00	0,00%	12,00	39.550,00
21/01/2017 a 20/02/2017	13.440,00	69450,00	50,91%	2160,00	58000,00	8,18%	6720,00	13201,00	25,46%	202,00	8102,00	0,77%	1236,00	15001,00	4,68%	2640,00	7777,00	10,00%	0,00	0,00	0,00%	84,00	26.398,00
21/02/2017 a 20/03/2017	17.430,00	69450,00	55,61%	6840,00	58000,00	21,82%	4200,00	13201,00	13,40%	128,00	8102,00	0,41%	1027,40	15001,00	3,28%	1720,00	7777,00	5,49%	0,00	0,00	0,00%	34,00	31.345,40
21/03/2017 a 20/04/2017	14.490,00	69450,00	41,11%	9000,00	58000,00	25,53%	7200,00	13201,00	20,43%	259,00	8102,00	0,73%	1664,00	15001,00	4,72%	2637,00	7777,00	7,48%	0,00	0,00	0,00%	83,00	35.250,00
21/04/2017 a 20/05/2017	18.060,00	69450,00	50,47%	8280,00	58000,00	23,14%	6840,00	13201,00	19,11%	471,00	8102,00	1,32%	1064,00	15001,00	2,97%	1070,00	7777,00	2,99%	0,00	0,00	0,00%	79,00	35.785,00
21/05/2017 a 20/06/2017	30.450,00	69450,00	61,20%	10690,00	58000,00	21,49%	4086,00	13201,00	8,21%	455,00	8102,00	0,91%	2024,38	15001,00	4,07%	2050,00	7777,00	4,12%	0,00	0,00	0,00%	129,00	49.755,38
21/06/2017 a 20/07/2017	26.460,00	69450,00	50,19%	12400,00	58000,00	23,52%	3913,00	13201,00	7,42%	474,00	8102,00	0,90%	4927,22	15001,00	9,35%	4541,00	7777,00	8,61%	0,00	0,00	0,00%	263,60	52.715,22
21/07/2017 a 20/08/2017	20.580,00	69450,00	50,32%	11470,00	58000,00	28,05%	2795,00	13201,00	6,83%	433,00	8102,00	1,06%	1865,23	15001,00	4,56%	3751,00	7777,00	9,17%	0,00	0,00	0,00%	52,60	40.894,23
21/08/2017 a 20/09/2017	17.430,00	69450,00	55,74%	8370,00	58000,00	26,77%	1548,00	13201,00	4,95%	534,00	8102,00	1,71%	1496,00	15001,00	4,78%	1892,00	7777,00	6,05%	0,00	0,00	0,00%	79,60	31.270,00
21/09/2017 a 20/10/2017	23.100,00	69450,00	64,68%	7130,00	58000,00	19,96%	2279,00	13201,00	6,38%	503,00	8102,00	1,41%	1672,66	15001,00	4,68%	1030,00	7777,00	2,88%	0,00	0,00	0,00%	50,90	35.714,66
21/10/2017 a 20/11/2017	18.480,00	69450,00	47,20%	13950,00	58000,00	35,63%	3053,00	13201,00	7,80%	410,00	8102,00	1,05%	1903,15	15001,00	4,86%	1354,00	7777,00	3,46%	0,00	0,00	0,00%	119,40	39.150,15
21/11/2017 a 20/12/2017	27.930,00	69450,00	45,40%	19840,00	58000,00	32,25%	5203,00	13201,00	8,46%	535,00	8102,00	0,87%	3611,27	15001,00	5,87%	4403,54	7777,00	7,16%	0,00	0,00	0,00%	265,00	61.522,81
	241.500,00			121.290,00			55.037,00			4.627,00			23.656,31			33.240,54						479.350,85	

7.2 ANEXO II

Boletim Informativo de Recursos Hídricos



7.3 ANEXO III

Demandas específicas das Usinas de Pelotização 1 a 8

Demanda Específica de Água - Usina III (considera 50% do consumo de água das Usinas I e II)						Consumo Específico*** (m³/ton)
Mês/Ano	Consumo de água (m³)				Produção de pelotas (ton)	
	Torres, Incêndio e TR302	Make up*	Água Recirculada	Total		
jan/17	7.222	53.287	97.960	158.469	398.281	0,1519
fev/17	6.146	44.316	117.225	167.688	364.269	0,1385
mar/17	6.198	56.844	102.561	165.603	367.865	0,1714
abr/17	5.479	67.785	107.569	180.832	383.096	0,1912
mai/17	5.296	47.098	118.159	170.554	397.370	0,1319
jun/17	4.335	56.545	165.970	226.850	388.996	0,1565
jul/17	3.015	14.428	196.770	214.213	321.206	0,0543
ago/17	8.427	51.344	128.836	188.607	397.739	0,1503
set/17	26.774	37.185	107.033	170.992	375.729	0,1702
out/17	30.279	55.707	115.976	201.962	386.152	0,2227
nov/17	12.042	57.510	129.321	198.874	380.542	0,1828
dez/17	12.135	47.577	177.150	236.861	390.292	0,1530
Acum. 2017	127.349	589.625	1.564.530	2.281.505	4.551.537	0,1575

Demanda Específica de Água - Usina IV (considera 50% do consumo de água das Usinas I e II)						Consumo Específico*** (m³/ton)
Mês/Ano	Consumo de água (m³)				Produção de pelotas (ton)	
	Torres, Incêndio e TR302	Make up*	Água Recirculada	Total		
jan/17	8.167	52.326	96.195	156.688	391.102	0,1547
fev/17	6.727	42.280	111.840	160.846	347.533	0,1410
mar/17	7.132	60.155	108.535	175.822	389.291	0,1728
abr/17	5.779	68.953	109.423	184.155	389.699	0,1918
mai/17	6.125	48.310	121.200	175.636	407.596	0,1336
jun/17	4.892	47.769	140.212	192.874	328.625	0,1602
jul/17	4.242	17.957	244.912	267.111	399.792	0,0555
ago/17	8.933	52.176	130.923	192.032	404.183	0,1512
set/17	27.093	38.413	110.566	176.072	388.134	0,1688
out/17	30.559	57.341	119.379	207.279	397.482	0,2211
nov/17	12.179	57.318	128.890	198.387	379.272	0,1832
dez/17	6.509	46.777	174.172	227.459	383.732	0,1389
Acum. 2017	128.338	589.776	1.596.246	2.314.360	4.606.441	0,1559

Demanda Específica de Água - Usinas V e VI						
Mês/Ano	Consumo de água (m³)				Produção de pelotas (ton)	Consumo Específico*** (m³/ton)
	Torres, Incêndio e TR302	Make up*	Água Recirculada	Total		
jan/17	24.683	86.595	159.194	270.472	822.109	0,1354
fev/17	23.989	54.584	144.387	222.961	716.710	0,1096
mar/17	24.032	75.265	135.796	235.093	862.424	0,1151
abr/17	23.316	67.124	106.520	196.959	799.228	0,1132
mai/17	32.343	57.636	144.597	234.576	788.827	0,1141
jun/17	24.175	49.177	144.344	217.697	790.153	0,0928
jul/17	25.636	13.632	185.915	225.183	797.935	0,0492
ago/17	25.869	63.687	159.806	249.362	854.327	0,1048
set/17	29.956	59.227	170.479	259.662	812.211	0,1098
out/17	29.855	68.511	142.635	241.001	753.224	0,1306
nov/17	26.407	60.804	136.729	223.940	805.399	0,1083
dez/17	26.786	38.802	144.476	210.064	812.935	0,0807
Acum. 2017	317.047	695.045	1.774.878	2.786.969	9.615.482	0,1053

Demanda Específica de Água - Usina VII						
Mês/Ano	Consumo de água (m³)				Produção de pelotas (ton)	Consumo Específico*** (m³/ton)
	Torres, Incêndio e TR302	Make up*	Água Recirculada	Total		
jan/17	5.192	44.362	81.553	131.107	421.158	0,1177
fev/17	4.405	28.945	76.567	109.917	380.063	0,0877
mar/17	8.663	32.285	58.249	99.197	369.934	0,1107
abr/17	5.266	34.716	55.092	95.074	413.360	0,0967
mai/17	5.496	26.878	67.432	99.806	367.866	0,0880
jun/17	5.854	26.153	76.764	108.772	420.215	0,0762
jul/17	5.148	6.806	92.822	104.775	398.385	0,0300
ago/17	5.153	28.575	71.701	105.429	383.316	0,0880
set/17	13.424	25.670	73.888	112.982	352.024	0,1111
out/17	5.302	39.697	82.645	127.644	436.433	0,1031
nov/17	5.459	32.164	72.326	109.948	426.034	0,0883
dez/17	5.742	21.397	79.672	106.812	448.297	0,0605
Acum. 2017	75.103	347.648	888.712	1.311.464	4.817.085	0,0878

Demanda Específica de Água - Usina VIII						Consumo Específico*** (m³/ton)
Mês/Ano	Consumo de água (m³)			Produção de pelotas (ton)		
	Torres, Incêndio e TR302	Make up*	Água Recirculada			Total
jan/17	74.079	6.167	11.338	91.584	502.187	0,1598
fev/17	49.478	8.265	21.863	79.605	571.988	0,1010
mar/17	56.371	7.879	14.216	78.467	608.901	0,1055
abr/17	40.059	7.641	12.125	59.826	617.680	0,0772
mai/17	16.963	4.072	10.216	31.251	640.372	0,0328
jun/17	10.111	3.732	10.956	24.799	614.856	0,0225
jul/17	9.646	2.077	28.322	40.045	624.403	0,0188
ago/17	21.025	5.034	12.632	38.692	563.059	0,0463
set/17	11.631	4.792	13.793	30.215	605.968	0,0271
out/17	15.861	7.737	16.107	39.705	659.386	0,0358
nov/17	18.310	7.868	17.693	43.872	624.133	0,0419
dez/17	53.907	8.629	32.131	94.668	606.316	0,1031
Acum. 2017	377.440	73.894	201.393	652.727	7.239.249	0,062

7.5 APÊNDICE I

Primeira tentativa utilizando o Método da Simulação

Meses	P _{med} mensal	Demanda Cte	Área de Captação	Produção Mensal de Chuva	Volume do Reservatório	Nível do Reservatório		Descarte (Overflow)	Reposição de Água
	(mm)	(m ³)	(m ²)	(m ³)	(m ³)	Antes	Depois		
	Pt	Dt	A	Voft	Volume Inicial	St-1	St		
Jan	135,8	43.940,2	460.900,0	47.566,2	49.126,0	-	3.626,0	0	-
fev	75,8	43.940,2	460.900,0	26.535,2	49.126,0	3.626,0	13.779,0	0	13.779,0
Mar	153,1	43.940,2	460.900,0	53.614,5	49.126,0	-	9.674,3	0	-
Abr	116,6	43.940,2	460.900,0	40.854,8	49.126,0	9.674,3	6.588,8	0	-
Mai	97,8	43.940,2	460.900,0	34.274,1	49.126,0	6.588,8	3.077,2	0	3.077,2
Jun	65,4	43.940,2	460.900,0	22.899,2	49.126,0	-	21.041,0	0	21.041,0
Jul	59,0	43.940,2	460.900,0	20.669,1	49.126,0	-	23.271,1	0	23.271,1
Ago	65,5	43.940,2	460.900,0	22.941,3	49.126,0	-	20.998,9	0	20.998,9
Set	50,8	43.940,2	460.900,0	17.803,8	49.126,0	-	26.136,4	0	26.136,4
Out	102,7	43.940,2	460.900,0	35.957,8	49.126,0	-	7.982,4	0	7.982,4
Nov	205,0	43.940,2	460.900,0	71.810,6	49.126,0	-	27.870,3	0	-
Dez	186,1	43.940,2	460.900,0	65.197,2	49.126,0	27.870,3	49.126,0	1	-
Total An	1.313,6	527.282,5		460.123,7			19.400,6	1	116.286,1

% Falhas **58,33**
Volume aproveitável durante o ano (m³) **410.996**

Chute Volume Cisterna = 49.126,0

Tentativa utilizando o Método da Simulação para encontrar a demanda constante

Meses	P _{med} mensal	Demanda Cte	Área de Captação	Produção Mensal de Chuva	Volume do Reservatório	Nível do Reservatório		Descarte (Overflow)	Reposição de Água
	(mm)	(m ³)	(m ²)	(m ³)	(m ³)	Antes	Depois		
	Pt	Dt	A	Voft	Volume Inicial	St-1	St		
Jan	135,8	31.907,0	460.900,0	47.566,2	77.244,0	-	15.659,2	0	0
fev	75,8	31.907,0	460.900,0	26.535,2	77.244,0	15.659,2	10.287,4	0	0
Mar	153,1	31.907,0	460.900,0	53.614,5	77.244,0	10.287,4	31.994,9	0	0
Abr	116,6	31.907,0	460.900,0	40.854,8	77.244,0	31.994,9	40.942,7	0	0
Mai	97,8	31.907,0	460.900,0	34.274,1	77.244,0	40.942,7	43.309,8	0	0
Jun	65,4	31.907,0	460.900,0	22.899,2	77.244,0	43.309,8	34.302,0	0	0
Jul	59,0	31.907,0	460.900,0	20.669,1	77.244,0	34.302,0	23.064,1	0	0
Ago	65,5	31.907,0	460.900,0	22.941,3	77.244,0	23.064,1	14.098,4	0	0
Set	50,8	31.907,0	460.900,0	17.803,8	77.244,0	14.098,4	4,8	0	5
Out	102,7	31.907,0	460.900,0	35.957,8	77.244,0	-	4.050,8	0	0
Nov	205,0	31.907,0	460.900,0	71.810,6	77.244,0	4.050,8	43.954,4	0	0
Dez	186,1	31.907,0	460.900,0	65.197,2	77.244,0	43.954,4	77.244,0	1	0
Total An	1.313,6	382.884,0		460.123,7			338.902,9	1	4,8

% Falhas **8,33**
Volume aproveitável durante o ano (m³) **382.879**

Estimativa Inicial do Volume Cisterna = **77.244,0**

7.6 APÊNDICE II

Série histórica do consumo de Água Nova (2015 a 2018)

Ano	CONSUMO DE ÁGUA NOVA (CESAN + POÇOS + BARREIRAS HIDRÁULICAS) (m ³)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2015	608.812	394.737	321.505	433.638	281.662	420.949	324.307	389.803	314.814	416.413	338.513	420.693
2016	371.495	470.447	399.699	481.887	459.398	397.458	369.771	412.784	505.721	414.696	235.624	81.308
2017	546.984	427.907	489.099	491.217	371.592	379.290	291.640	354.094	420.447	405.460	435.100	292.476
2018	487.500	416.082	559.810	482.141	353.459	443.272	570.568	529.272	553.104	603.781	319.438	274.826
Média	503.698	427.293	442.528	472.221	366.528	410.242	389.071	421.488	448.521	460.088	332.169	267.326

7.7 APÊNDICE III

Vazão de Demanda de água de cada um dos consumidores dos Blocos da Unidade de Tubarão Blocos

DEMANDA DE ÁGUA (m ³)																				
BLOCO DIRETORIA DA PELOTIZAÇÃO (DIPE)																				
mês / ano	Usinas de 1 a 4					Usinas de 5 a 7					Usinas 8					Utilidades				
	[I] Torres de Resfriamento Rede Incêndio (Água Nova) (m ³)	[II] Make Up (Água Nova) (m ³)	[III] Água Recirculada (m ³)	[IV] Outros (m ³)	[V] Demanda Total de água [I + II + III + IV]	[I] Torres de Resfriamento Rede Incêndio (Água Nova) (m ³)	[II] Make Up (Água Nova) (m ³)	[III] Água Recirculada (m ³)	[IV] Outros (m ³)	[V] Demanda Total de água [I + II + III + IV]	[I] Torres de Resfriamento Rede Incêndio (Água Nova) (m ³)	[II] Make Up (Água Nova) (m ³)	[III] Água Recirculada (m ³)	[IV] Outros (m ³)	[V] Demanda Total de água [I + II + III + IV]	[I] Torres de Resfriamento (Água Nova) (m ³)	[II] Make Up (Água Nova) (m ³)	[III] Água Recirculada (m ³)	[IV] Outros (m ³)	[V] Demanda Total de água [I + II + III + IV]
jan/17	15.389	105.613	194.155	26.623	341.780	29.875	130.957	240.747	30.342	431.922	31.146	6.167	11.338	2.052	50.703	3.326	16.176	29.738	3.799	53.038
fev/17	12.873	86.596	229.065	15.270	343.804	28.394	83.530	220.954	30.705	363.583	22.242	8.265	21.863	2.053	54.422	2.867	17.127	45.305	2.708	68.008
mar/17	13.330	117.000	211.096	13.099	354.525	32.695	107.549	194.045	10.805	345.095	23.051	7.879	14.216	2.053	47.200	2.004	21.072	38.018	4.678	65.771
abr/17	11.258	136.738	216.991	9.971	374.958	28.581	101.840	161.612	11.693	303.726	13.137	7.641	12.125	2.052	34.956	3.408	23.678	37.574	4.228	68.888
mai/17	11.422	95.408	239.360	7.915	354.104	37.839	78.514	212.029	2.053	330.435	14.166	4.072	10.216	2.052	30.507	1.675	16.155	40.529	3.123	61.482
jun/17	9.227	104.314	306.181	3.330	423.053	30.029	75.331	221.109	14.088	340.556	8.214	3.732	10.956	2.053	24.955	1.546	14.930	43.821	6.648	66.945
jul/17	7.257	32.385	441.682	20.398	501.723	30.784	20.438	278.737	31.561	361.520	9.646	2.077	28.322	7.445	47.490	1.415	1.415	83.996	22.314	106.311
ago/17	17.359	76.692	259.759	2.052	355.862	31.023	73.092	231.507	2.053	337.675	14.413	5.034	12.632	2.053	34.132	2.668	16.785	49.737	2.052	71.242
set/17	53.867	75.597	217.599	28.828	375.892	43.380	68.733	244.367	2.052	358.532	11.631	4.792	13.793	3.516	33.732	3.690	14.632	42.116	3.260	63.698
out/17	60.839	96.283	235.355	2.052	394.529	35.156	79.126	225.280	2.053	341.616	11.014	7.737	16.107	2.052	36.910	3.948	16.697	47.082	2.052	69.778
nov/17	24.221	114.828	258.211	12.396	409.656	31.865	92.404	209.054	2.052	335.376	10.856	7.868	17.693	2.052	38.470	3.899	28.011	74.141	2.052	108.104
dez/17	18.644	71.163	351.322	2.053	443.182	32.528	40.737	224.148	2.052	299.466	29.351	8.629	32.131	2.052	72.164	4.055	20.690	105.639	2.052	132.437
Total	255.687	1.112.619	3.160.776	143.987	4.673.069	392.150	952.252	2.663.591	141.509	4.149.501	198.866	73.894	201.393	31.486	505.640	34.502	204.537	637.698	58.966	935.702
%	81%																			
Total	10.263.912																			

Vazão de Demanda de água de cada um dos consumidores dos Blocos da Unidade de Tubarão Blocos

DEMANDA DE ÁGUA (m ³)											
BLOCO PORTO				BLOCO FERROVIA				INFRAESTRUTURA			
Praia Mole / T. Minério				DIVM				Prédios Adm/Restaurantes/Outros			
[I] Torres de Resfriamento (Água Nova) (m ³)	[II] Demanda (ÁGUA REÚSO) (m ³)	[IV] Outros (m ³)	[III] Demanda Total de água [I + II]	[I] Torres de Resfriamento (Água Nova) (m ³)	[II] Demanda (ÁGUA REÚSO) (m ³)	[IV] Outros (m ³)	[III] Demanda Total de água [I + II]	[I] Torres de Resfriamento (Água Nova) (m ³)	[II] Demanda (ÁGUA REÚSO) (m ³)	[IV] Outros (m ³)	[III] Demanda Total de água [I + II]
31.148	106.398	83.796	221.342	1.931	485	2.052	4.469	20.169	14.118	2.052	36.339
24.443	80.122	63.229	167.794	1.262	289	2.053	3.604	31.371	21.960	2.053	55.384
24.172	83.716	84.568	192.456	1.197	639	2.053	3.889	18.985	13.289	2.052	34.326
28.953	69.621	72.398	170.972	1.458	676	2.052	4.186	25.999	18.199	2.053	46.251
25.371	72.691	52.007	150.069	1.620	979	2.053	4.651	14.097	9.868	2.052	26.018
14.878	77.492	68.772	161.142	1.721	748	2.053	4.522	15.435	10.804	2.053	28.292
18.606	75.780	62.705	157.091	1.590	702	2.154	4.447	28.117	19.682	9.191	38.607
5.151	83.684	73.819	162.654	1.645	548	2.071	4.263	18.311	12.818	2.052	33.182
7.549	85.007	78.770	171.326	1.390	558	2.183	4.132	14.018	9.813	2.052	25.883
7.308	100.961	68.425	176.694	1.435	643	2.053	4.131	9.148	6.403	2.053	17.604
17.750	79.091	73.884	170.725	1.551	845	2.161	4.558	8.751	6.125	2.052	16.928
17.745	91.645	28.068	137.458	1.591	663	2.052	4.306	10.173	7.121	2.052	19.347
223.074	1.006.208	810.436	2.039.718	18.391	7.776	24.991	51.158	214.573	150.201	13.386	378.161
16%				0,40%				3,0%			
2.039.718				51.158				378.161			

7.8 APÊNDICE IV

Vazão da Oferta de Água Nova mensalmente para os Blocos Consumidores

SETORIZAÇÃO DA OFERTA DE ÁGUA NOVA (m ³)										
mês / ano	BLOCO DIRETORIA DA PELOTIZAÇÃO (DIPE)									
	Usinas de 1 a 4		Usinas de 5 a 7		Usinas 8		Utilidades		Outros	
	CESAN	POÇOS + BARREIRAS HIDRÁULICAS	CESAN	POÇOS + BARREIRAS HIDRÁULICAS	CESAN	POÇOS + BARREIRAS HIDRÁULICAS	CESAN	POÇOS + BARREIRAS HIDRÁULICAS	CESAN	POÇOS + BARREIRAS HIDRÁULICAS
jan/17	45.130	100.442	61.355	127.767	12.105	25.208	21.248	-	15.290	-
fev/17	34.070	78.617	44.339	96.237	9.622	20.885	20.650	-	1.710	-
mar/17	58.910	82.467	64.706	84.291	13.432	17.498	25.701	-	11.846	-
abr/17	56.833	99.081	52.966	87.096	7.857	12.920	29.261	-	15.277	-
mai/17	33.268	79.424	35.506	80.847	5.565	12.672	18.900	-	11.439	-
jun/17	20.177	94.642	21.170	96.225	2.154	9.792	21.071	-	12.199	-
jul/17	19.981	38.007	21.665	59.065	3.147	13.968	20.262	-	13.607	-
ago/17	19.785	74.266	22.159	81.956	4.139	15.308	19.453	-	15.014	-
set/17	32.092	124.148	28.104	84.009	4.484	13.403	19.529	-	11.597	-
out/17	49.196	107.926	43.250	71.033	7.096	11.654	20.644	-	7.284	-
nov/17	47.058	102.335	42.519	81.750	6.407	12.318	31.910	-	7.237	-
dez/17	21.811	67.996	18.542	54.723	9.612	28.368	24.745	-	7.793	-
NÍVEL 1	75%									
NÍVEL 2	30%		30%		6%		6%		3%	
	438.311	1.049.351	456.281	1.004.999	85.621	193.995	273.374	-	130.294	-
Total por Usina	1.487.662		1.461.280		279.616		273.374		130.294	
Total	3.632.225,67									

Vazão da Oferta de Água Nova mensalmente para os Blocos Consumidores

SETORIZAÇÃO DA OFERTA DE ÁGUA NOVA (m ³)									
mês / ano	BLOCO PORTO				BLOCO FERROVIA		BLOCO INFRAESTRUTURA		
	Praia Mole / T. Minério		DIPS/TPS/OUTROS		DIVM		Adm/Restaurantes/Outros		
	CESAN	POÇOS + BARREIRAS HIDRÁULICAS	CESAN	POÇOS + BARREIRAS HIDRÁULICAS	CESAN	POÇOS + BARREIRAS HIDRÁULICAS	CESAN	POÇOS + BARREIRAS HIDRÁULICAS	
jan/17	58.380	54.511	3.164	285	999	932	10.430	9.739	
fev/17	38.526	47.093	2.998	526	568	694	14.116	17.255	
mar/17	57.622	49.065	3.082	297	647	551	10.253	8.731	
abr/17	57.165	42.133	2.834	336	839	618	14.968	11.032	
mai/17	38.759	36.566	2.576	352	834	786	7.254	6.843	
jun/17	31.618	49.979	2.662	444	667	1.054	5.981	9.454	
jul/17	32.116	47.142	3.687	428	686	1.006	6.872	10.001	
ago/17	32.613	44.304	4.712	411	705	958	7.764	10.547	
set/17	32.808	51.458	2.836	440	592	929	5.458	8.560	
out/17	35.848	37.832	2.932	181	699	737	4.451	4.697	
nov/17	43.212	46.369	3.400	176	801	859	4.221	4.529	
dez/17	20.191	23.570	173	3.189	734	857	4.694	5.479	
NÍVEL 1	22%				0,4%		4%		
NÍVEL 2	21%		1%		0,4%		4%		
	478.858	530.022	35.056	7.065	8.769	9.982	96.461	106.868	
Total por Usina	1.008.880		42.121		18.751		203.329		
Total	1.051.001				18.751		203.329		
									4.905.306

7.9 APÊNDICE V

Média da precipitação da série história de 2002 a 2017

Ano	Data	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	2002					70,90	47,80	32,40	64,90	145,60	19,50	112,30	212,00
	2003	206,70	11,80	6,60	160,70	33,80	2,10	55,40	27,30	29,70	105,30	35,30	314,40
	2004	345,40	115,70	216,60	125,70	75,10	51,90	141,80	75,20	26,60	126,10	107,10	242,70
	2005	115,70	219,80	197,00	43,70	204,00	194,10	96,30	84,10	157,60	20,40	272,00	185,80
	2006	65,00	29,90	207,00	214,60	1,30	65,10	62,50	84,20	66,40	66,50	195,40	326,70
	2007	173,40	87,20	48,30	101,90	38,10	13,60	2,00	47,60	75,00	32,10	164,60	94,20
	2008	128,40	173,00	68,70	73,30	47,00	42,10	28,30	26,80	29,20	108,60	662,80	136,10
	2009	218,10	49,00	210,90	230,10	70,30	46,50	90,00	85,60	17,50	406,40	144,30	2,00
	2010	15,60	57,10	374,70	138,70	113,40	68,60	94,90	20,70	27,80	47,20	265,40	5,00
	2011	26,80	76,70	277,40	384,00	72,30	38,40	30,50	13,40	31,20	141,60	247,10	251,80
	2012	282,90	73,60	58,90	30,10	267,10	92,80	42,60	238,40	37,90	56,00	376,10	42,70
	2013	197,80	39,20	434,50	50,90	76,10	84,60	9,70	83,10	33,30	68,90	201,50	713,90
	2014	51,10	41,10	18,30	95,50	55,00	51,20	107,30	83,40	23,70	286,60	2,90	86,10
	2015	186,00	53,90	48,90	10,70	199,80	109,10	12,50	40,60	27,80	54,60	61,20	87,80
	2016		12,30	90,00	25,00	55,00	72,70	78,90	7,10	33,10	4,00	227,10	95,70
	2017	24,00	96,00	38,10	64,60	180,60							
Média		135,8	75,8	153,1	116,6	97,5	65,4	59,0	65,5	50,8	102,9	205,0	186,5