unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

**ANDERSON BAPTISTA DOS SANTOS**

# REÚSO DE EFLUENTES NO PROCESSO INDUSTRIAL DE SIDERURGIA

Guaratinguetá
2014

**ANDERSON BAPTISTA DOS SANTOS**

# REÚSO DE EFLUENTES NO PROCESSO INDUSTRIAL DE SIDERURGIA

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho
Co-orientadora: Profa. Dra. Isabel Cristina de Barros Trannin

Guaratinguetá
2014

Santos, Anderson Baptista dos
S237r Reuso de efluentes no processo de siderurgia / Anderson Baptista dos Santos – Guaratinguetá : [s.n], 2014.
89 f : il.
Bibliografia: f. 81-85

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.
Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho
Coorientadora: Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin

1. Água – Purificação 2. Aço 3. Laminação (Metalurgia) I. Título

CDU 628.16(043)

unesp

*UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA*
*CAMPUS DE GUARATINGUETÁ*

*ANDERSON BAPTISTA DOS SANTOS*

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
**"MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"**

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

**Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho**
Coordenador

*BANCA EXAMINADORA:*

**Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO**
**Orientador / Unesp-Feg**

**Profª. Drª. ELIANA VIEIRA CANETTIERI**
**Unesp-Feg**

**Prof. Dr. MÁRCIO EVARISTO DA SILVA**
**FATEA**

*Janeiro de 2014*

**DADOS CURRICULARES**

**ANDERSON BAPTISTA DOS SANTOS**

| | |
|---|---|
| NASCIMENTO: | 20.04.1984 – SOROCABA/SP |
| FILIAÇÃO: | Ariston Ribeiro dos Santos<br>Izilda de Fátima Baptista dos Santos |
| 2004/2008 | Curso de Graduação<br>Engenharia de Controle e Automoção - Universidade Paulista. |

dedico este trabalho aos meus pais, pela excelente formação proporcionada,
e a minha esposa e filha por todo amor, compreensão e dedicação.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, pela minha vida e pelo conhecimento e sabedoria proporcionado,

a minha esposa Patrícia, pelo cuidado e apoio incondicional,

a minha filha Luana, por renovar meu dia com seu sorriso e despreocupação,

aos meus pais Ariston e Izilda, pelo continuo incentivo e ajuda,

ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho, pelos conselhos e por compartilhar seu conhecimento,

a minha co-orientadora Profª. Dra. Isabel Cristina de Barros Trannin, pela ajuda durante este trabalho,

aos meus colegas de trabalho e técnicos que de alguma forma me auxiliaram, na elaboração deste trabalho,

aos Departamentos de Pós Graduação, energia e biblioteca do campus de Guaratinguetá pelo apoio e atendimento respeitoso.

Se clamares por entendimento, e por
inteligência alcançares a tua voz ...
... acharás o conhecimento de Deus.

Provérbios 2:3 e 5b

SANTOS, A. B. **Reúso de efluentes no processo industrial de siderurgia.** 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

## RESUMO

O uso da água e consequentemente seu reúso são temas que tem ganhado destaque no mundo. Este trabalho analisou algumas possibilidades de reúso do efluente gerado em uma planta siderúrgica, especificamente em uma estação de tratamento de água de uma laminação que capta água do rio Paraíba do Sul e descarta os efluentes no ribeirão dos Surdos.

Neste estudo analisou-se ainda a necessidade de adequação do efluente gerado para atender ao CONAMA 357/2005, CONAMA 430/2011 e Decreto 8.468/1976 visto que o ribeirão que recebe o efluente possui baixa vazão. Este fato exige o tratamento do efluente para atender aos parâmetros de qualidade de lançamento e faz com que eles sejam menores que os previstos nas resoluções e decretos. Ao tratar o efluente identificou-se que é possível aplicá-lo como reúso em vez de simplesmente descartá-lo.

O trabalho apresentou os desafios para a aplicação do reúso em indústrias que produzem a própria água potável. Ao comparar as tarifas cobradas pela SABESP, na região do Vale do Paraíba, e o custo de produção interno da água. Nota-se que a água produzida na própria indústria pode ter um custo 8 vezes menor que a fornecida por terceiros. Então somente os trabalhos com pequenos investimentos conseguem tornar-se viáveis. Como é o caso do reúso em lavagem de pisos, resfriamento de escória, reúso em vasos sanitários e mictórios, que apresentaram retorno perto de cinco anos.

**PALAVRAS-CHAVE:** reúso de efluente, estação de tratamento de água, aço, laminação.

SANTOS, A. B. **Effluent reuse in the metallurgical industrial process.** 2014. 89 f. Dissertation (Master's Degree in Mechanical Engeneering) Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014

## ABSTRACT

The use of water and consequently its reuse are receiving a lot of attention around the World. This report has analyzed some possibilities for reusing the flowing out of a metallurgical company, specifically in a water treatment station from a rolling mill which receives the water from the Paraiba do Sul river and the effluents is discharged in the Surdos river.

This report has also analyzed the need of adjustment to attend CONAMA 357/2005, CONAMA 430/2011 and Decree 8.468/1976 once the stream which receives this effluent has a low flow. Because of this, the treatment for this effluent has to obey strict parameter of quality, and the disposal has to be lower than the values fixed in the resolutions and decrees. While treating the effluent we have identified the possibility for reuse instead of just dismiss.

The task has presented some challenges to the reuse application in industries that produce its own potable water. To compare the tax charged by SABESP, in Vale do Paraíba region, and the cost of internal water production has a 8 times difference in cost. Then only small work with low investment can became viable. As in the case of reusing water to wash the floor, scrap cooling, reuse in toilets and urinal, showing return only after five years.

**KEYWORDS:** effluent reuse, water treatment plant, steel, rolling mill.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 01 - Distribuição de água no planeta.....21
Figura 02 - Distribuição do uso da água.....21
Figura 03 - Fluxograma de uma usina siderúrgica.....29
Figura 04 - Sistema de tratamento de água em uma siderúrgica.....29
Figura 05 - Clarificador convencional.....30
Figura 06 - Torre de resfriamento de termoelétrica.....31
Figura 07 - Torre de resfriamento selada à ar.....32
Figura 08 - Torre de resfriamento selada à água.....32
Figura 09 - Torre de resfriamento aberta.....33
Figura 10 - Corrosão em tubulação.....34
Figura 11 - Incrustação em tubulação.....35
Figura 12 - Fluxograma de resfriamento sem contato aberto.....36
Figura 13 - Índice de recirculação da água na siderurgia do Brasil.....37
Figura 14 - Fluxograma do sistema de contato direto.....38
Figura 15 - Floculação.....40
Figura 16 - Decantador horizontal.....41
Figura 17 - Decantador ascendente compacto.....41
Figura 18 - Filtro de areia.....42
Figura 19 - Filtro de disco.....43
Figura 20 - Espessador.....44
Figura 21 - Formas de redução de volume de lodo..... .....45
Figura 22 - Centrífuga.....45
Figura 23 - Filtro prensa.....46
Figura 24 - Carvão ativado.....47
Figura 25 - Osmose reversa.....47
Figura 26 - Membrana de osmose reversa.....48
Figura 27 - Planta do laminador e ETA.....50
Figura 28 - Fluxograma das reposições e descarte de água.....52

Figura 29 - Circuito de água indireta.....54
Figura 30 - Fluxograma de água direta.....56
Figura 31 - Raspador de óleo com cinta.....57
Figura 32 - Fluxograma do tratamento de lodo.....60
Figura 33 - Fluxograma do tratamento de efluentes.....62

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 - Sistema de resfriamento sem contato aberto.....33
Tabela 02 - Tempo de decantação por tamanho da partícula.....39
Tabela 03 - Características da ETA.....51
Tabela 04 - Comparação efluente tratado com a resolução 357.....61
Tabela 05 - Comparação efluente tratado com a resolução 430.....61
Tabela 06 - Pontos potenciais de reúso.....63
Tabela 07 - Tabela com pontos de reúso e investimento.....64
Tabela 08 - Custo de bombeamento água bruta.....67
Tabela 09 - Cálculo do custo clarificador.....67
Tabela 10 - Cálculo do custo da desinfecção.....68
Tabela 11 - Tabela dos custos das águas tratadas.....68
Tabela 12 - Cálculo do efluente tratado.....69
Tabela 13 - *Payback* descontado alternativa 01.....71
Tabela 14 - *Payback* descontado custo SABESP alternativa 01.....72
Tabela 15 - *Payback* descontado alternativa 02.....73
Tabela 16 - *Payback* descontado custo SABESP alternativa 02.....74
Tabela 17 - *Payback* descontado alternativa 03.....74
Tabela 18 - *Payback* descontado custo SABESP alternativa 03.....75
Tabela 19 - *Payback* descontado alternativa 04.....76
Tabela 20 - *Payback* descontado custo SABESP alternativa 04.....77
Tabela 21 - Resumo dos retornos dos investimentos.....77
Tabela 22 - Resumo dos retornos dos investimentos custo SABESP.....79

**LISTA DE EQUAÇÕES**

EQUAÇÃO 1 - Índice de recirculação da ETA.....51
EQUAÇÃO 2 - Cálculo da velocidade dos fluídos.....57
EQUAÇÃO 3 - Custo específico da água bruta.....65
EQUAÇÃO 4 - Custo mensal de captação.....65
EQUAÇÃO 5 - Custo específico da água bruta.....66
EQUAÇÃO 6 - Custo específico da água clarificada.....67
EQUAÇÃO 7 - Custo específico da água potável.....68
EQUAÇÃO 8 - Custo específico do efluente tratado.....68
EQUAÇÃO 9 - Custo da energia em cada equipamento.....68
EQUAÇÃO 10 - Cálculo do *payback* descontado.....70
EQUAÇÃO 11- Cálculo do valor presente líquido.....70
EQUAÇÃO 12 - Cálculo da taxa interna de retorno.....71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| CEIVAP | Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| DAEE | Departamento de Água e Energia Elétrica |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| EQ | Equação |
| ETA | Estação de Tratamento de Água |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgoto e Efluentes |
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| PEAD | Polietileno de Alta Densidade |
| SABESP | Serviço de Águas e Esgotos de São Paulo |
| SDT | Sólidos Dissolvidos Totais |
| SST | Sólidos Suspensos Totais |
| ST | Sólidos Totais |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| UNESCO | Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e Cultura |
| VPL | Valor Presente Líquido |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---|---|
| A | área |
| $cm^2$ | centímetro quadrado |
| h | hora |
| kgf | quilograma força |
| kW | quilowatt |
| L | litro |
| $m^3$ | metro cúbico |
| mg | miligrama |
| ºC | graus Celsius |
| P | potência |
| pH | potencial Hidrogeniônico |
| Q | vazão |
| t | tempo |
| V | velocidade |

**SUMÁRIO**

LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
LISTA DE EQUAÇÕES
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS
LISTA DE SÍMBOLOS

**1. INTRODUÇÃO.....17**

**2. OBJETIVO.....19**

2.1 Objetivo geral.....19

2.2 Objetivos específicos.....19

**3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....20**

3.1 Tratamento de água.....21

3.2 Tratamento de efluentes.....22

3.3 Reúso de água.....24

3.4 Aplicação da água na siderurgia.....28

3.4.1 Clarificação da água.....30

3.4.2 Água de resfriamento sem contato.....31

3.4.3 Água para transporte e assimilação de contaminantes.....36

3.4.4 Tratamento primário.....38

3.4.5 Tratamento secundário.....39

3.4.6 Tratamento terciário.....46

**4. ESTUDO DE CASO.....49**

4.1 Aspectos Gerais.....49

4.2 Sistema de tratamento de água .....51

4.3 Circuito de refrigeração de água indireta.....52

4.4 Circuito de água direta.....55

4.5 Tratamento de lodo.....59

4.6 Tratamento de efluente.....60

**5. REÚSO DE EFLUENTE.....63**
5.1 Aspectos gerais.....63
5.2 Análise das atividades com potencial para reúso.....64
5.3 Cálculo de custo da água bruta, clarificada e potável.....65
5.4 Cálculo de custo do efluente tratado.....68

**6. ANÁLISE ECONÔMICA DAS OPÇÕES DE REÚSO.....70**
6.1 Reúso para lavagem de pisos.....71
6.2 Reúso para vasos sanitários e mictórios.....72
6.3 Reúso para resfriamento de escória.....74
6.4 Reúso para recarga do sistema.....75
6.5 Análise dos resultados.....77

**7. CONCLUSÃO.....80**

**REFERÊNCIAS.....81**
**ANEXO A - Estimativa de custo alternativa 01.....86**
**ANEXO B - Estimativa de custo alternativa 02.....87**
**ANEXO C - Estimativa de custo alternativa 03.....88**
**ANEXO D - Estimativa de custo alternativa 04.....89**

# 1. INTRODUÇÃO

A água nas próximas décadas terá importância cada vez maior para as suas diversas aplicações, principalmente na geração de alimentos. As alterações nos recursos hídricos e no clima vêm afetando a produção agrícola, ora pelo excesso, ora pela falta de chuvas nas regiões de plantio. Neste sentido, prevê-se que a demanda por água atingirá, em médio prazo, a mesma importância que o petróleo obteve no século XX (UNESCO, 2003). A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que, cerca de vinte e cinco milhões de pessoas morrem anualmente no mundo, devido a doenças transmitidas pela água. Isso ocorre principalmente pelo fato da água ser um solvente universal, capaz de dissolver diversos tipos de substâncias orgânicas e inorgânicas (BRAGA et al, 2002).

A indústria utiliza água em seus processos seja para resfriamento, aquecimento, solubilização, limpeza, geração de energia (elétrica, térmica, química). Para cada aplicação a qualidade da água deve apresentar padrões de qualidade que atendam ao processo, na qual será aplicada. Todos esses processos geram resíduos que, quando dispostos de forma inadequada, podem causar impactos na qualidade dos solos, aquíferos e rios. Para evitar a poluição dos corpos d'água receptores, as indústrias possuem sistemas de tratamento, capazes de controlar a concentração de alguns poluentes e atender as exigências estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Resolução CONAMA nº 430/2011. Estes tratamentos são implantados para que o descarte dos efluentes não altere a qualidade da água (meio receptor). Neste aspecto, têm sido feito grande esforço para que haja maior aproveitamento dos efluentes gerados dos tratamentos das águas residuárias dos processos industriais para fins não potáveis e, consequentemente, redução do despejo destes efluentes nas águas dos rios e aquíferos, reduzindo com isso, os impactos ambientais (SOARES, 2008).

Na siderurgia a água é aplicada em grandes volumes, principalmente em duas etapas do processamento industrial. Na primeira etapa é utilizada nos trocadores de calor, chamada de água sem contato ou simplesmente indireta e na segunda, como água de contato ou direta usada para resfriar material e carregar resíduos sólidos. Também existe a necessidade de água potável para consumo humano que pode ser produzida no sistema interno ou comprada da rede pública. Ainda dentro do processo siderúrgico há a necessidade de água para diluição de ácidos concentrados, que exigem tratamentos específicos, porém estes usos não serão abordados neste estudo.

No capítulo 2 os objetivos específicos e gerais são destacados com relação a proposta do trabalho.

No capítulo 3 é realizado um reconhecimento sobre o tratamento da água e efluentes disponíveis, e considerados como estado da arte. Ainda neste capítulo são apresentados vários trabalhos de reúso de água já implantados em indústrias. Também mostra a aplicação da água na siderurgia e o tratamento padrão usado neste seguimento da indústria.

No capítulo 4 o estudo de caso é apresentado baseado na revisão bibliográfica como também foram consideradas as características do processo estudado.

No capítulo 5 o reúso de efluentes é apresentado buscando analisar as possibilidades de aplicação desta solução na siderúrgica estudada.

No capítulo 6 é realizada uma análise de viabilidade econômica considerando o *payback*, o valor presente líquido (VPL) e a Taxa interna de retorno (TIR), ainda neste capítulo são feitas as análises dos resultados e discussões. E, finalmente a conclusão é apresentada no capítulo 7.

# 2. OBJETIVO

## 2.1. Objetivo geral

Este estudo teve como objetivo geral avaliar a qualidade dos efluentes gerados durante o tratamento de água aplicada em uma indústria siderúrgica e seu potencial de reúso no processamento industrial, visando a redução da captação de água do rio Paraíba do Sul e descarte do efluente no ribeirão dos Surdos.

## 2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade do efluente gerado pelo tratamento aplicado, com base nos padrões estabelecidos pelo Decreto 8.468/1976, pela resolução CONAMA nº 357/2005 e pela resolução CONAMA nº 430/2011;
- Propor a instalação de um sistema de tratamento químico e filtração, caso o tratamento aplicado até o momento não gere efluente com padrões de qualidade que atenda aos estabelecidos para reúso no processamento industrial;
- Avaliar a viabilidade econômica do reúso do efluente no processamento da indústria siderúrgica através da metodologia de análise de investimentos como valor presente líquido (VPL), payback e taxa interna de retorno (TIR).

# 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 3.1. Tratamento de água

Para a obtenção da qualidade ideal da água é preciso aplicar determinadas técnicas de tratamento, que devido a limitações devem ser combinadas para atingir o resultado adequado. O processo de tratamento adotado pelas empresas de saneamento públicas, geralmente é o primeiro procedimento adotado para as indústrias. Como a qualidade da água bruta captada tende a ter particularidades locais e variações durante a sazonalidade regional, o procedimento adotado deve ser projetado para atender a todas estas variações previamente estudada (MIERZWA, HESPANHOL, 2005).

A necessidade de distribuição de água e disposição adequada de resíduos e efluentes aumentou proporcionalmente ao crescimento populacional. Até a Idade média, não existiam sistemas de tratamento de esgoto, coleta de lixo entre outros serviços de saneamento básico. Na Grécia e na Roma antiga foram encontrados sistemas de distribuição de água com elevado padrão de engenharia civil e hidráulica. A Inglaterra, berço da revolução industrial, iniciou em 1847 a primeira rede de efluentes domésticos que destinavam toda a carga aos rios. O efeito desta ação foi a elevação da demanda bioquímica de oxigênio nos mananciais, sem contar nas inúmeras doenças que se concentraram na água, razão pela qual muitas epidemias ocorreram naquela época. A Alemanha, em 1887, foi o primeiro país a por em operação um sistema de tratamento de água mecânico. O processo consistia em filtrar a água em filtros de areia. Com o avanço da tecnologia no século XIX foi possível identificar que esse processo retirava mais de 99% das bactérias e vírus da água. Somente em 1902 o cloro foi introduzido como forma de desinfecção, esta técnica é usada ainda hoje nos EUA, alguns países da Europa e em países em desenvolvimento como o Brasil (ROCHA, 2009).

Conforme mostra a figura 01 pode-se observar que de toda água disponível no planeta somente 2,5% é de água doce. Nota-se, porém a maior parte deste reservatório está nas geleiras, ou seja, em locais sem possibilidade para consumo imediato.

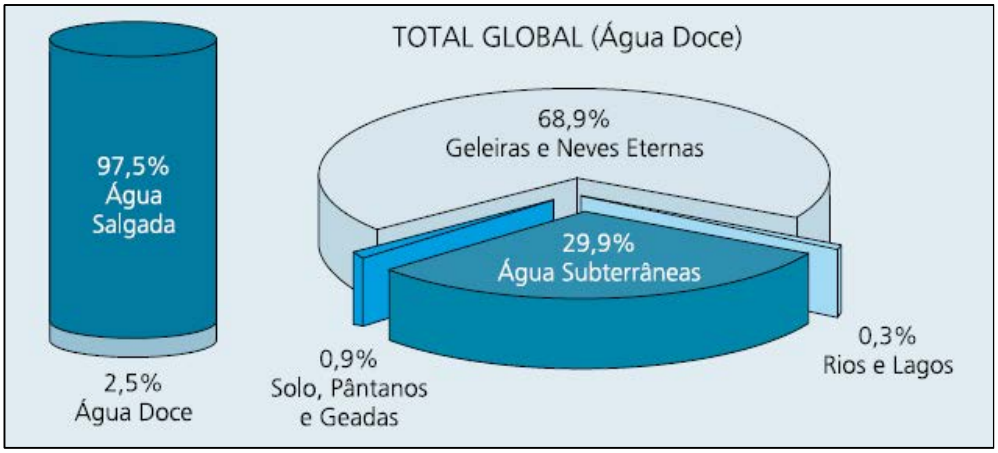


Figura 01- Distribuição de água no planeta, (BRITO, 2013).

A Figura 02 apresenta a distribuição do uso da água média no planeta, onde a irrigação, basicamente aplicada na produção de alimentos, é responsável por 70% do total e o consumo industrial é responsável por 23% do consumo de água no mundo. Analisando essa informação e avaliando o crescimento populacional que trará maior necessidade de alimentos, maior demanda para bens de consumo pode-se entender que a indústria deve buscar o desenvolvimento sustentável de maneira que ela possa crescer sem consumir mais água.

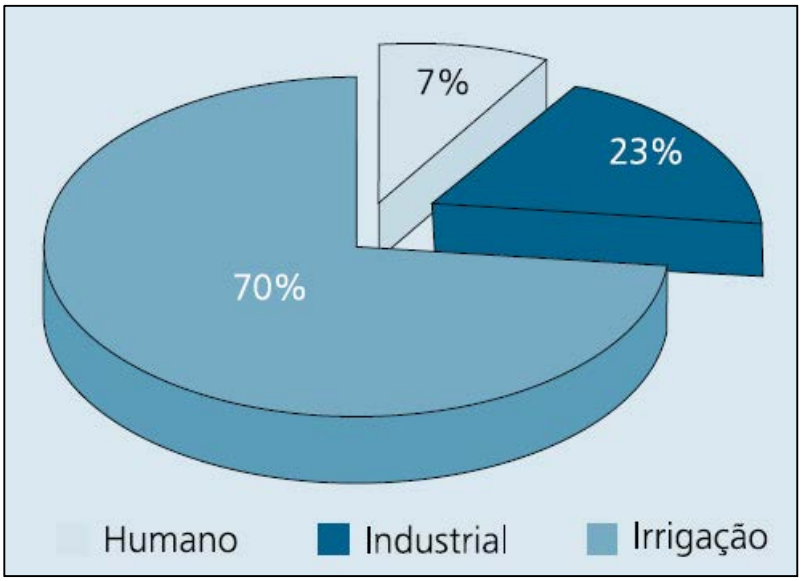


Figura 02- Distribuição do uso da água (BRITO, 2013).

O Brasil é considerado um país abastado com relação a disponibilidade de água, pois possui 13% de toda água doce do planeta. Historicamente se desenvolveu às margens de rios,

pode-se citar a época dos bandeirantes como exemplo. Porém, o fato que deve ser levado em conta sãs as regiões áridas existentes e a distância entre as grandes bacias e os grandes centros urbanos que demandam mais água do que há disponível (MIERZWA, HESPANHOL, 2005). Entende-se então que o conceito de abundância no qual o Brasil é sempre colocado deve ser revisto e principalmente os processos de reúso devem ser fomentados em todo país.

Segundo Giordano (2005), a água recebe várias contaminações nos processos industriais como resíduos e energia térmica. A poluição térmica da água na indústria ocorre devido aos processos de resfriamento ou reações exotérmicas e o controle ocorre medindo a temperatura do efluente. As características sensoriais dos efluentes como odor e cor pode alertar para desvios dos parâmetros da água. O odor pode ser causado por reações de fermentação de matérias orgânicas ou inorgânicas. Já a cor dos efluentes pode ser alterada devido a presença de substância dissolvidas (natural ou artificial) ou coloidais (turbidez).

As características físico-químicas são definidas por parâmetros sanitários de forma que os componentes com pontos de ebulição maior que o da água é considerado sólido. O sólido é dividido em dois itens, como segue. Sólido dissolvido, estes ficam em suspensão na água devido sua massa e tamanho de partícula. Os sólidos suspensos são os que possuem a característica de separar-se por diferença de densidade. Ambos possuem mais duas divisões conhecidas como voláteis (material orgânico) ou fixos (material inorgânico e sais inorgânicos).

A matéria orgânica indiretamente é medida pelas demanda bioquímicas de oxigênio ($DBO_{5,20}$) e demanda química de oxigênio (DQO). A $DBO_{5,20}$ mede a quantidade de oxigênio necessária para que ocorra a biodegradação da matéria orgânica. A DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica. Esse processo causa a redução do oxigênio dissolvido na água deteriorando ou acabando com a vida aquática.

A matéria inorgânica é toda substância composta por átomos que não sejam carbono (exceto o ácido carbônico e os seus sais ), são eles sais, óxidos, hidróxidos e os ácidos.

### 3.2. Tratamento de efluentes

Os tratamentos de efluentes domésticos e indústrias são determinados de acordo com a contaminação absorvida durante o processo. Os tratamentos podem ser primário, secundário ou terciário, dependendo da qualidade do efluente de entrada, do custo financeiro e da qualidade de saída. O processo primário consiste em remover os sólidos maiores para evitar a abrasão em bombas e tubulações, ou até mesmo, obstruções. Nesta etapa a redução do $DBO_{5,20}$ pode chegar a 30%. No processo secundário ocorre a oxidação da matéria orgânica dissolvida e em

suspensão reduzindo a $DBO_{5,20}$ para cerca de 10%. Esta fase é responsável pela redução dos sólidos suspensos totais, incrustações e corrosões O material decantado nessa fase é denominado lodo e pode ser enviado para aterro sanitário ou incinerador. O processo terciário é a remoção de contaminantes não atingidos pelos processos anteriores, como metais potencialmente tóxico, compostos orgânicos dissolvidos, fosfato entre outros. As tecnologias que podem ser aplicadas no tratamento terciário podem ser por filtros de carvão ativado, carvão vegetal, osmose reversa, filtração por membranas. processos químicos entre outras (ROCHA, 2009).

A resolução do CONAMA nº 357/2005 e a resolução CONAMA 430/2011 regulamentam os procedimentos e parâmetros de lançamento de efluentes nos corpos receptores. Os tratamentos de efluentes são desenvolvidos para atender a estas características e qualidades. Porém para ajudar a melhorar o mecanismo de gestão dos recursos hídricos a Agência Nacional de Águas (ANA) foi criada em 2000 através da Lei 9.984/2000.

A ANA tem, em nível federal, a competência para conceder a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Porém além da ANA, no estado de São Paulo, o Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) também faz controles neste sentido, visto que o curso de muitos rios do estado abastecem algumas centrais hidráulicas geradoras de energia elétrica. Ainda no nível estadual existe a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) que regulamenta, normaliza, licencia, fiscaliza, monitora e controla as poluições no solo, água e ar, ocasionadas por entidades públicas ou privadas, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo.

Conforme está previsto nas resoluções do CONAMA, em São Paulo, a CETESB determina procedimentos e análises para confirmar os parâmetros de qualidade dos efluentes descarregados nos corpos receptores, levando em conta a gestão da bacia.

As análises solicitadas pela CETESB são pagas pelo empreendedor interessado e os critérios para liberação do descarte do efluente, levam em conta principalmente, a manutenção da qualidade da água no receptor após a mistura.

A indisponibilidade de água em determinadas regiões, aliada ao aumento da demanda, tem despertado a necessidade de aplicação de melhores gestões sobre os recursos hídricos. Uma das ferramentas que auxilia o desenvolvimento sustentável é o reúso de água. Outra ferramenta valiosa para a gestão dos recursos hídricos é a cobrança pelo seu uso (MIERZWA, HESPANHOL, 2005).

A cobrança do uso da água é competência da ANA, porém ainda não está devidamente implantada em todo o país, e a agência federal pode delegar esse poder a Agência de Água da

Bacia. Por esse fato, em 2002, o Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul (CEIVAP) foi a primeira bacia a cobrar pelo uso do recurso hídrico.

O cálculo é baseado no volume captado, no volume de efluente gerado e na eficiência do tratamento, baseado somente na $DBO_{5,20}$. A regra vale claramente para empresas do setores industriais e de saneamento.

Os demais setores são aprovados de acordo com a solicitação da licença. Nota-se que apesar de ser uma atitude pioneira no Brasil, ainda assim o modelo de cobrança não atende ao todo o previsto no artigo 21, inciso II da Lei 9.433, a qual determina que a cobrança seja feita de acordo com os tipos de contaminantes (físicos, químicos ou orgânicos) do afluente e não somente na eficiência da redução da carga orgânica. Uma indústria pode ter baixa carga orgânica e alta carga de poluentes tóxicos devido as características do seu processo (MIERZW, HESPANHOL, 2005).

### 3.3. Reúso de água

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) o reúso pode ser classificado como indireto e ocorre quando o efluente doméstico ou industrial é lançado em águas superficiais e é usada novamente de forma diluída.

O reúso direto é usado quando é feito de forma planejada sendo o efluente tratado usado para fins de irrigação, reposição em torres de resfriamento, recarga de aquíferos, produção de água potável, entre outros A reciclagem é o reúso da água internamente em uma indústria por exemplo, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição (FILHO, MANCUSO, 2003).

Segundo Oenning e Pawlowsky, 2007, o reúso pode ser classificado em duas grandes categorias, potável e não potável. O reúso potável pode ser direto ou indireto, o segundo consiste em recargas de aquíferos ou aumento de fontes superficiais. O não potável é considerado para reúso urbano, agrícola ou industrial.

Segundo Vitoratto e Paludetto (2013), o uso de efluentes tratados ou brutos vem sendo estudado e aplicada em diferentes lugares no mundo. A técnica conhecida como reúso de águas é aplicada principalmente em regiões áridas (regiões desérticas dos EUA e Oriente Médio) ou regiões com gerenciamento dos recursos hídricos (Austrália, Japão, Itália, entre outros.).

A técnica é aplicada geralmente em lugares com demanda crescente na agricultura e indústria. No Brasil, apesar de uma aparente abundância, o reúso de água vem ganhando

destaque principalmente no caso de centros urbanos onde o custo de transporte ou até mesmo a disponibilidade da água tem se tornado um transtorno.

Como a regra para o uso de água prevê que a prioridade é o consumo humano, (incluindo produção de alimentos), e a dessedentação de animais. Os demais consumidores precisam desenvolver outras maneiras de abastecimento.

A aplicação da água de reúso vai desde simples rega de áreas verdes, até a aplicações industriais como reposição em torres de resfriamento ou caldeiras. Para cada caso é preciso desenvolver tratamentos para atender aos parâmetro de qualidade de água.

Deve-se dar uma atenção especial ao reúso na indústria quanto a saúde dos colaboradores e aos problemas causados por água de baixa qualidade como corrosão, incrustações ou até mesmo alterações no produto produzido.

Oenning Jr e Pawlowsky (2007) analisaram cinco processos de tratamento com o objetivo de praticar o reúso em uma indústria metal-mecânica que produz desde componentes para cadeia automotiva (assentos) até serviços de pintura. O objetivo foi identificar o melhor processo para aplicação de reúso. O efluente gerado por duas fontes, uma é o esgoto sanitário, (vestiários, banheiros e refeitórios). O segundo é o esgoto industrial que é gerado pelos banhos e enxagues das peças durante o processo de produção. Estes dois efluentes são tratados de acordo com suas características e no final vão para duas lagoas aeradas em serie com uma lagoa de polimento e em sequência descartado para o rio.

Primeiramente foram levantados os potenciais de reúso e os possíveis ganhos. O próximo passo foi identificar a qualidade de água necessária em cada ponto. Após todas características levantadas foram propostos os processos de tratamento (OENNING JR E PAWLOWSKY, 2007).

O processo com carvão ativado apresentou bom resultado na adsorção após 5min podendo ser aplicado em todos os pontos de reuso de água industrial, principalmente com relação ao DQO e $DBO_{5,20}$, porém o pH não sofreu alteração durante o tratamento permanecendo adequado a todos os pontos de reúso proposto (OENNING JR E PAWLOWSKY, 2007).

No sistema com ozônio os parâmetros necessários para reúso nos quatro pontos não foram atendidos mostrando que essa tecnologia não é adequada para reúso, se aplicada sozinha, porém é adequado se usado para desinfecção (OENNING JR E PAWLOWSKY, 2007).

Nos testes de oxidação com dióxido de cloro observou-se que o processo por si só não consegue atender aos parâmetros de qualidade de água para reúso (OENNING JR E PAWLOWSKY, 2007).

O processo testado com osmose reversa apresentou qualidade superior para todas as pontos de reúso, porém foi o maior custo (OENNING JR E PAWLOWSKY, 2007).

No processo de coagulação e floculação os parâmetros de sais totais (ST) e sais dissolvidos totais (SDT) estão acima do permitido, ou seja, em uma análise geral este processo não atenderia aos pontos escolhidos apesar de apresentarem excelentes resultados no pH, Turbidez, sólidos suspensos totais (SST). Recomenda-se que esse processo seja usado como tratamento prévio em outras tecnologias (OENNING JR E PAWLOWSKY, 2007).

Bordonalli e Mendes (2009) estudaram um processo de tratamento de efluentes, gerados em uma indústria de reciclagem do PEAD, com o objetivo de adequa-lo para o reúso. Visto que a água no caso é usada para retirar detritos das matrizes que são materiais proveniente de lixões, casas e indústrias. Elas chegam contaminadas com terra, óleo, entre outros tipos de produtos químicos.

Para as necessidades desta indústria de reciclagem de plástico foi proposto o processo físico-químico. Iniciando com um tanque de coagulação, onde ocorre a deposição dos sólidos mais pesados. A água superficial é bombeada para um floculador. O lodo gerado neste processo, que está no fundo do tanque, é direcionado para os leitos de secagem. A água após floculada é direcionada para um tanque de clarificação onde o processo de tratamento é concluído com filtragem em mantas geotêxteis (BORDONALLI E MENDES, 2009).

Após três meses de operação sem reposição de água proveniente do rio apenas as contribuições de chuvas e o próprio reúso, observou-se que a quantidade de sais presente na água começaram a aumentar até o limite máximo da solubilidade de cada elemento na água que no geral é alta para os parâmetros de qualidade aceitável (BORDONALLI E MENDES, 2009).

Este fato se deve pelos resíduos presente nas embalagens e a adição de produtos químicos durante o tratamento do efluente. Os demais parâmetros como $DBO_{5,20}$, DQO, SST não apresentaram aumento apesar do constante reúso devido a boa eficiência do tratamento proposto. Concluí-se então que o processo atende as necessidades do processo, porém recomenda-se que toda água seja trocada a cada seis meses devido ao aumento dos sais (BORDONALLI E MENDES, 2009).

Segundo Soares (2008), que estudou racionalização de água potável e reúso de efluentes em uma siderúrgica de ferros liga situada na cidade de Simões Filho, a qual capta água da bacia de Aratu, no estado da Bahia. Está bacia possui disponibilidade hídrica muito limitada. Para atender a demanda de água para o processo da usina foi criado uma represa que acumula água nos períodos de chuva e regula o seu abastecimento. A água potável para os refeitórios,sanitários, vestiários e restaurante é fornecida pela concessionária local, que

apresenta um custo considerável. Na análise do consumo de água potável em cada prédio do complexo industrial notou-se elevados valores de consumo em todos os prédio. Adotaram-se medidas de conscientização, eliminação de vazamentos e comparação individual de cada prédio com a norma ABNT até chegar a um consumo adequado.

Outra ação tomada para melhorar o índice de aplicação da água potável foi usar água de chuva ou bruta (direto da represa) para abastecer regas de jardim, sanitários, resfriamento de escória e lavagem de pátios. O efluente da sinterização (material lixiviado) foi tratado por um processo físico-químico através de coagulação, sedimentação e filtração. Notou-se que nos teste executados todos os parâmetros atenderam ao CONAMA 357/2005. o que permite o descarte do efluente ou a aplicação deste no programa de reúso (SOARES, 2008).

Conforme o estudo de Bello (2006), que apresentou como objetivo principal a avaliação da reutilização do esgoto doméstico em uma indústria metalúrgica pelo processo microbiológico e físico químico com processo de desinfecção, coagulação, decantação e filtração. Durante as diferentes fases do tratamento do esgoto foram coletadas amostras para avaliar a eficiência do sistema proposto. O esgoto foi tratado por duas ETE's através de aeração, com posterior decantação. Como produto final destes processos resultaram lodo e efluente clarificado.

O efluente clarificado é enviado para um tanque de equalização aonde recebe uma pré cloração. A turbidez do efluente da saída da ETE ficou entre 2,3 e 13,5 NTU, resultado adequado pois para esse processo espera-se valores menores que 20 NTU (BELLO, 2006).

Devido aos valores altos de SDT, alcalinidade, dureza, sulfatos, cloretos e outros sais o valor da condutividade elétrica ficou em 1030 e 1360 $\mu S\ cm^{-1}$, Com base nestes parâmetros o efluente apresenta características incrustantes ou corrosivas dependendo da temperatura ou pH. Na saída da ETA a água apresentou bons resultados, porém segundo Bello (2006) a dificuldade no ajuste do cloro livre, se deu devido a variação da carga orgânica no efluente de entrada. O teor dos sulfatos e cloretos não mudaram com relação a água bruta. A água de reúso foi colocada em um reservatório de $300m^3$ para reposição das torres de resfriamento, hidrantes e cortinas de água na célula de pintura (fins não potáveis).

Em seu estudo Weber et al, (2010) aborda a questão da melhoria de uma ETE com a aplicação da água de reúso, em um processo de produção de embalagens de papelão ondulado (PO), aonde o efluente não atendia aos parâmetros de qualidade definido pelo órgão ambiental. O estudo foi divido em diagnóstico inicial, reúso da água e diagnóstico final. O diagnóstico inicial baseou-se no histórico da planta, considerando os pontos de maior geração de efluente como por exemplo a geração da ondulação, etapa de impressão e limpeza dos equipamentos.

O efluente gerado no processo é tratado por coagulação, floculação e sedimentação. Após este tratamento é misturado ao efluente sanitário e a resultante da mistura é enviada para um sistema de aeração e tratamento do lodo ativado, a água tratada segue então até um conjunto de filtros de areia e carvão ativado (WEBER et al, 2010).

Ainda no diagnóstico inicial de Weber et al (2010) observa-se que a tendência da $DBO_{5,20}$ fica instável, não atendendo mais aos parâmetros exigidos para o descarte do efluente tratado. Ficou constatado que a razão da instabilidade foi a alteração no processo de limpeza das impressoras que aumentaram a carga orgânica da ETE.

Na fase de aplicação do reúso da água diversos pontos foram identificados como possíveis consumidores dos efluentes de maneira que essa água menos nobre fosse aderida ao produto ao invés de retornar para o tratamento (WEBER et al, 2010).

Baseado nessa premissa um modelo matemático foi proposto para determinar o balanço ideal da aplicação do reúso, observando por perspectivas de vários cenários. e com alguns deles retornando para a condição anterior a instabilidade no processo (WEBER et al, 2010).

No diagnóstico final após as implantações finalizadas foi possível observar que o reúso reduziu o descarte de efluentes para o corpo receptor em 56%, reduziu a captação e melhorou os parâmetros de qualidade do efluente a ser descartado, com exceção do P (fósforo) elemento presente nos efluentes sanitários.

### 3.4. Aplicação da água na siderurgia

A siderurgia possui duas grandes rotas tecnológicas para obtenção do aço, elas são conhecidas como usinas integradas ou semi-integradas (Figura 03). As usinas integras são as que fazem uso de minério de ferro reduzido através do coque para produção do gusa e por consequência, barras laminadas, bobinas entre outros produtos. Na usina semi-integrada a produção do aço se inicia com sucata e gusa sólido. Essa alternativa é viável devido a infinita capacidade de reciclagem do aço. A sucata de ferro e aço se juntam à sucata gerada internamente nas usinas e se transformam em um novo produto de aço (barra ou bobina laminada), reduzindo o consumo de matérias-primas como o minério de ferro e o carvão (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2012).

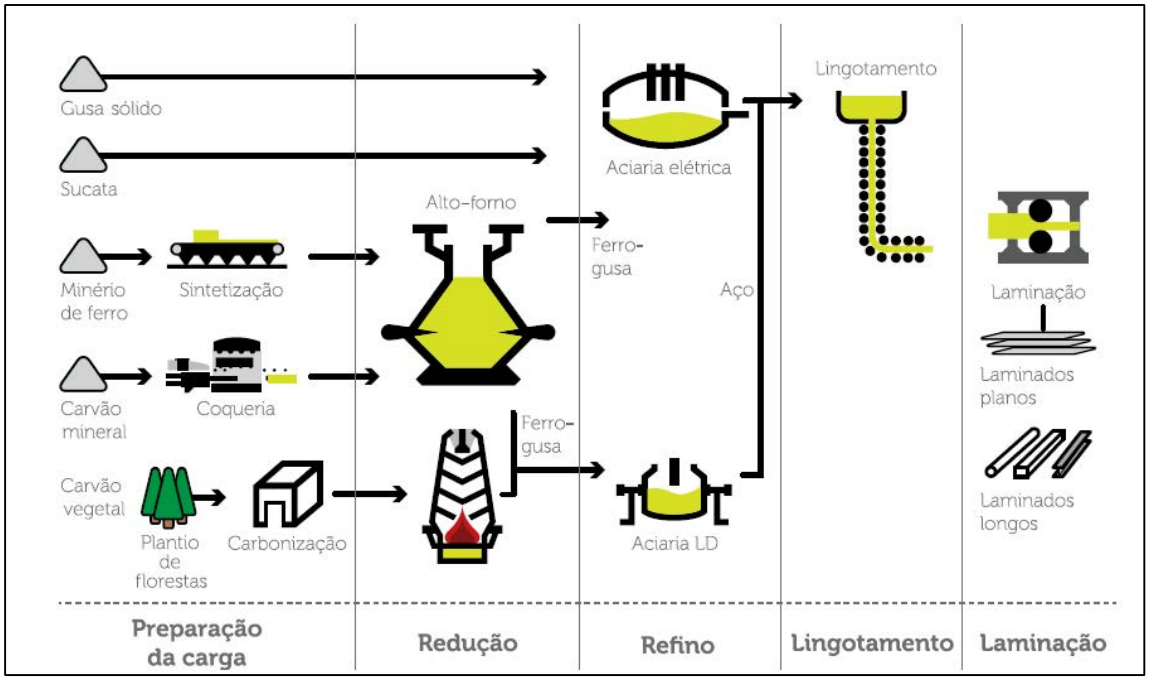


Figura 03- Fluxograma de uma usina siderúrgica (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2012).

A água pode ser aplicada em uma siderúrgica para diversos fins, dentre eles: restaurantes, vestiários, sanitários, limpezas diversas, banhos ácidos e principalmente para o resfriamento direto, ou indireto conforme pode ser visto na figura 04.

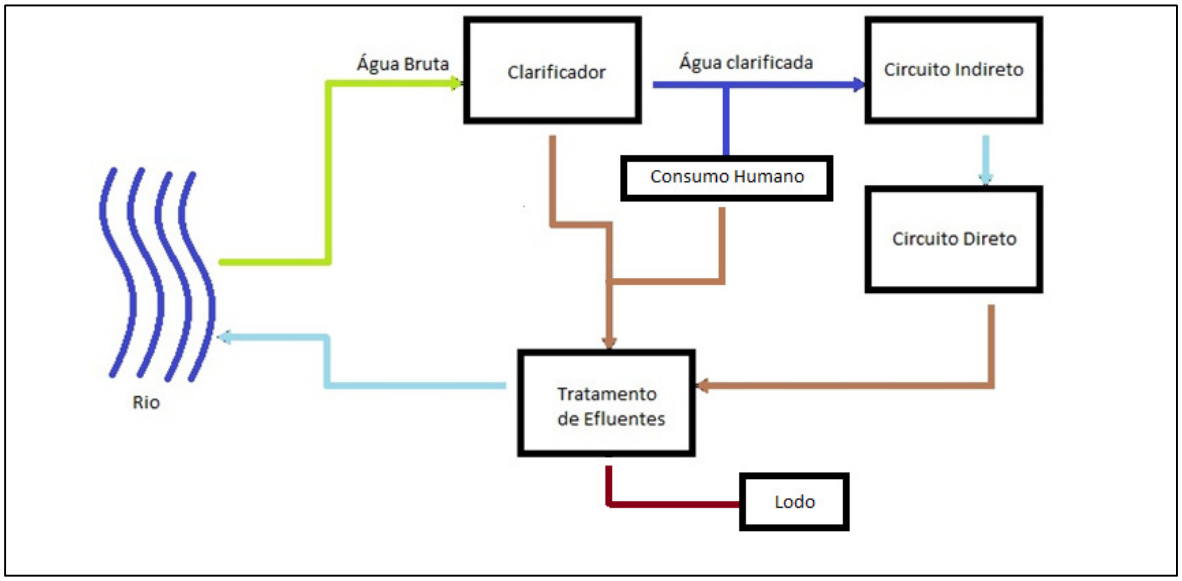


Figura 04- Sistema de tratamento de água em uma siderúrgica (SANTOS, 2014).

### 3.4.1. Clarificação da água

A água bruta pode ser captada dos diversos tipos de fontes possíveis, como por exemplo aquíferos, rios e mares. Tudo depende da qualidade de água disponível no local em que a usina está instalada. Nota-se também que essa disponibilidade é variável no tempo e no espaço em razão das condições climáticas de cada região e período do ano (MIERZWA, HESPANHOL, 2005).

A água bruta é tratada em um sistema clarificador que reduz basicamente os sólidos suspensos sedimentáveis, com a adição de coagulante de sulfato de alumínio aonde os flocos são decantados.

Os clarificadores podem ser convencionais ou compactos, ambos tem sua aplicação, porém o que traz uma qualidade de água superior é o convencional (Figura 05) devido o maior tempo de permanência da água no sistema (PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA, 2013)

As águas superficiais, contêm sólidos suspensos sedimentáveis e coloidais, oriundos da erosão do solo, decaimento da vegetação, micro-organismos e compostos produtores de cor.

Os materiais maiores, considerados os sólidos suspensos sedimentáveis, podem ser eliminados a um grau considerável pela decantação simples, mas as partículas mais finas devem ser quimicamente coaguladas para produzirem flocos, os quais são removidos na decantação e filtração subsequentes. Esse processo denomina-se de clarificação (SANTOS, 2011).

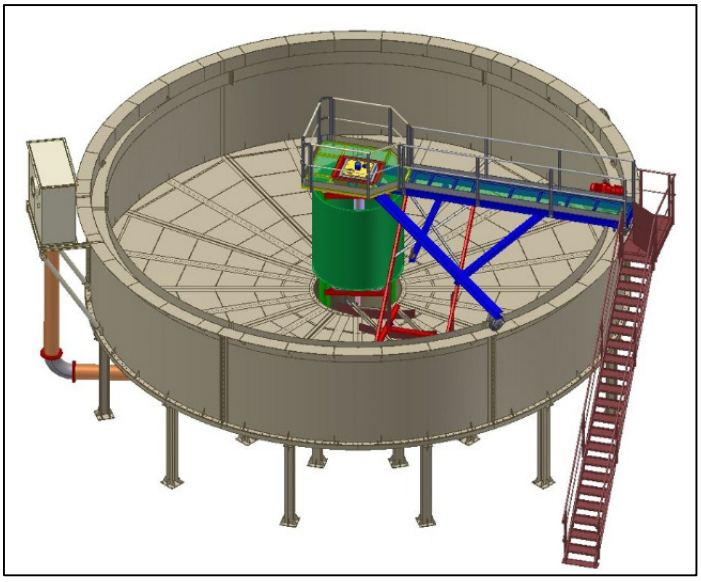

Figura 05- Clarificador convencional (METALOMARÃO, 2013).

A água clarificada passa por um tratamento de desinfecção através de cloro quando é usada para consumo humano, a água clarificada também é aplicada como reposição nos circuitos indústrias (direto, indireto, reposição de banhos ácidos).

A desinfecção se faz necessária devido a preocupação com as pessoas que irão ingerir, ou mesmo com os processos que irão usar esta água para reposição. Este processo pode ser feito com cloro, radiação ultravioleta ou ozônio, dentre eles há vantagens e desvantagens, porém o cloro é o mais indicado visto que seu resíduo inibe a proliferação de micro-organismo.

Por isso os compostos de cloro são amplamente usados para a produção de água potável.

### 3.4.2. Água de resfriamento sem contato

Os circuitos indiretos ou também conhecidos como resfriamento sem contato possui um tratamento simples e não sofre grandes contaminações, porém deve-se ter conhecimento da qualidade de água local para a devida proteção dos equipamentos que entram em contato com essa água.

Os sistemas de resfriamento sem contato podem ser de três tipos, uma passagem, aberto ou fechado. O sistema de resfriamento de uma passagem são aplicados em indústrias construídas próximo a rios e consistem em bombear a água do rio, passar pelos trocadores e descarregar a água aquecida a jusante do ponto de capitação.

Este modelo era comum em sistemas de resfriamento de termoelétricas (Figura 06), porém devido as novas legislações este tipo de aplicação está tornando-se obsoleto.

Figura 06- Torre de resfriamento de termoelétrica (WIKIPÉDIA,2013).

Os sistemas de resfriamento fechado consistem de uma torre selada, na qual o fluxo de ar dos ventiladores abaixa a temperatura da água (Figura 07).

Figura 07- Torre de resfriamento selada a ar (KORPER, 2013).

Nestes sistemas a reposição de água é pequena, pois não há evaporação na torre de resfriamento, por esse motivo, geralmente, a reposição de água é realizada com água abrandada ou desmineralizada. Existem sistemas selados com resfriamento à água conforme visto na figura 08.

Figura 08- Torre de resfriamento selada a água (KORPER, 2013).

O sistema de resfriamento aberto é caracterizado pela torre de resfriamento aberta, onde cerca de 1,5% do volume é evaporado. A figura 09 mostra um exemplo de torre de resfriamento aberta.

Figura 09- Torre de resfriamento aberta (KORPER, 2013).

Este sistema é o mais aplicado nas indústrias, pois tem um bom rendimento na troca de calor, pode-se analisar as vantagens e desvantagens deste sistema na Tabela 01 (BETZDEARBORN, 1999).

O processo de tratamento circuitos de resfriamento indireto aberto basicamente é constituído por adição de produtos químicos para corrigir pH, inibidor de corrosão para evitá-la, dispersante para evitar a deposição de material na tubulação.

Tabela 01- Sistema de resfriamento sem contato aberto (BETZDEARBORN, 1999).

| Vantagens | Desvantagens |
|---|---|
| Taxa de reposição baixa. | Alto custo de invetimento inicial. |
| Baixos índices de descarte. | Alto custo de operação. |
| Bom controle químico. | Alta tendência de cresciemnto microbiológico. |
| Eficiente na maioria dos climas. | Sujeito a contaminação pelo ar. |

A figura 10 representa uma tubulação oxidada. A corrosão pode ser classificada como química, eletrolítica ou eletroquímica.

A corrosão química é também conhecida como corrosão seca, por não necessitar de água, ou seja, um agente químico age diretamente sobre o material sem transferência de elétrons de uma área para a outra (MERÇON, et al, 2004).

A corrosão eletrolítica se caracteriza por ser um processo eletroquímico que se dá com a aplicação de corrente elétrica externa, ou seja, não é um fenômeno espontâneo (MERÇON et al, 2004).

A corrosão eletroquímica é um processo espontâneo no qual ocorrem reações anódicas e catódicas e elas ocorrem necessariamente na presença de água.(MERÇON et al, 2004):

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2\ e^{-} \text{ (ânodo)}$$

$$2H_2O + 2\ e^{-} \longrightarrow H_2 + 2OH^{-} \text{ (cátodo)}$$

$$Fe^{2+} + 2HO^{-} \longrightarrow Fe(OH)_2 \text{ (reação intermediária)}$$

Reação com baixo teor de oxigênio:

$$3Fe(OH)_{20} \longrightarrow Fe_3O_4 + 2H_2O + H_2$$

Reação com alto teor de oxigênio:

$$2Fe(OH)_2 + H_2O + 1/2O_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3$$

$$2Fe(OH)_3 \longrightarrow Fe_2O_3H_2O + 2H_2O$$

Figura 10- Corrosão em tubulação (ACQUAAMBIENTE, 2004).

Para evitar a corrosão uma das reações são anuladas e a reação obtida através dos fosfatos ocorrem conforme mostrado abaixo. O hidrogeno fosfato de cálcio e ferro [$CaFe(HPO_4)_2$] deposita-se nas paredes das tubulações e evita o início da corrosão.

$$2\ Fe^{2+} + 2H_2O + O^2 \longrightarrow 2Fe(OH)_2$$

$$2\ NaHPO_4 + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow Ca(H_2PO_4)_2 + 2\ NaHCO_3$$

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2\ Fe(OH)_2 \longrightarrow CaFe(HPO_4)_2 + 4\ H_2O$$

As incrustações são depósitos de sólidos insolúveis na tubulação, formados basicamente por íons de Cálcio ($Ca^{2+}$), Magnésio ($Mg^{2+}$), Silicatos ($SiO_3^{2-}$), Carbonatos ($CO_3^{2-}$).

Os elementos incrustantes ocorrem geralmente em lugares com elevadas temperaturas e pode ser visto na figura 11.

Uma das reações que representa este fenômeno pode ser vista abaixo. No combate contra os causadores da incrustação são usados polímeros que evitam a ocorrência das reações através do seu efeito dispersante.

$$Ca^{2+} + CO_3^{-2} \longrightarrow CaCO_3$$

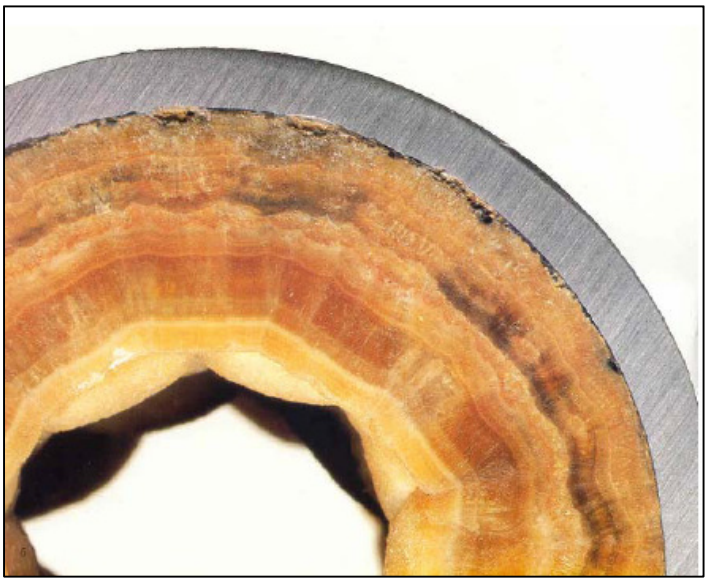

Figura 11- Incrustação em tubulação (ACQUAAMBIENTE, 2004).

A filtração *off line* de parte da água em filtros de areia para eliminar os sólidos é uma prática adotada nas torres de resfriamento de circuito aberto, para reduzir os sólidos suspensos

absorvidos pelas entradas de ar na torre. Devido as condições da água na bacia da torre de resfriamento a contaminação microbiológica causada por bactérias, algas e fungos é controlada com o uso de biocidas, como por exemplo o hipoclorito de sódio.

A reposição é devido principalmente a evaporação nas torres de resfriamento e pequenas perdas no processo o que faz principalmente os sais se concentrarem. O descarte é feito exatamente para reduzir as concentrações dos sais.

O seu fluxo parte de uma torre de resfriamento para o processo e retorna para a torre, sendo um percentual do volume total filtrado em filtros de areia ou filtros de disco. como pode ser visto na figura 12.

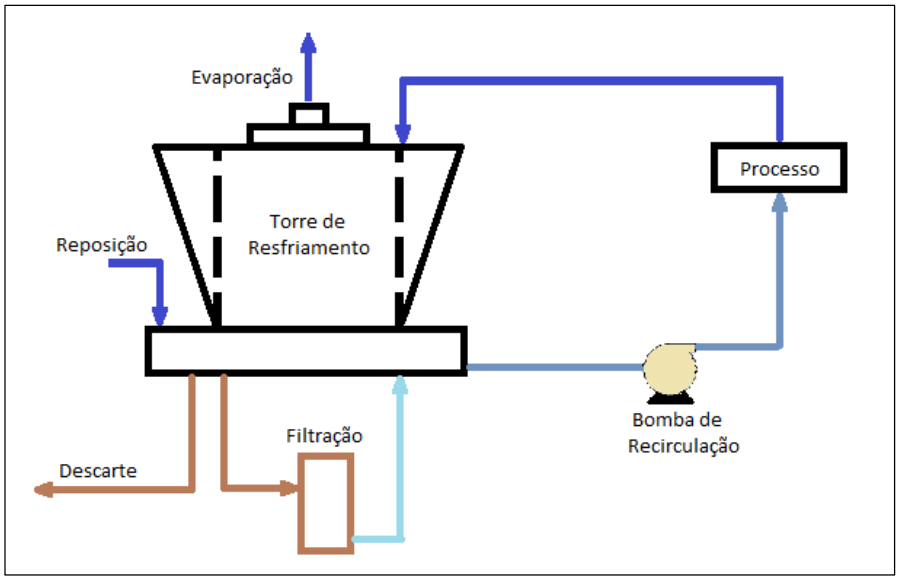


Figura 12- Fluxograma básico resfriamento sem contato aberto (SANTOS, 2014).

### 3.4.3. Água para transporte e assimilação de contaminantes

Nos circuitos diretos ou, simplesmente, água de contato direto, as contaminações fazem parte do processo, como exemplo, carepa, óleos, graxas, entre outros

Apesar desta aplicação não ser a mais nobre, em muitas indústrias é comum esta prática. Em algumas aplicações esta água deve ser ultrapura, como no caso de empresas farmacêuticas, porém na siderurgia a água não tem grandes restrições.

Ela deve apresentar características físico químicas controladas para que possa obter o melhor resultado no processo, sem afetar o produto produzido (MIERZWA, HESPANHOL, 2005).

O efluente contaminado no processo siderúrgico é reciclado inúmera vezes, dependendo da concentrações dos sais, pois os sistemas trabalham com recirculação. Nota-se que o índice de recirculação da água no setor siderúrgico ultrapassa 96%, como mostra a figura 13. Conforme citado no relatório de Sustentabilidade 2012 do Instituo Aço Brasil, muitas empresas tem o programa "efluente zero", que estimula o reúso consciente do efluente gerado durante os processos produtivos.

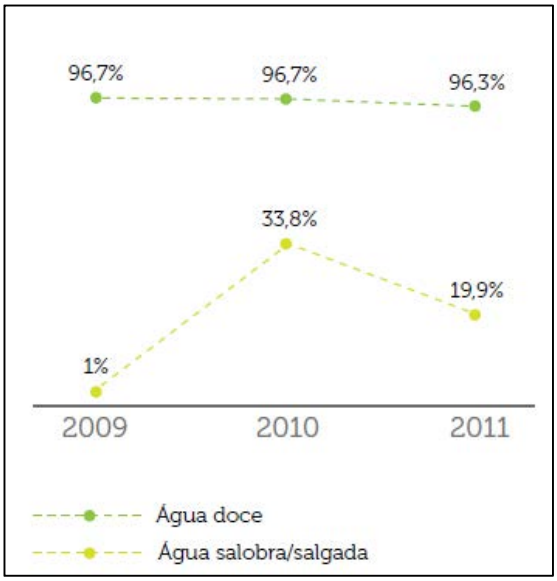


Figura 13 - Índice de recirculação da água na siderurgia do Brasil (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2012).

O tratamento para esse tipo de efluente é bem mais complexo se comparado ao circuito de água indireta como pode ser visto na figura 14. O processo consiste em direcionar o efluente contaminado para um poço profundo chamado de poço de carepa onde ocorre decantação dos sólidos maiores (carepa), que pode ser denominada como pré decantação ou tratamento primário.

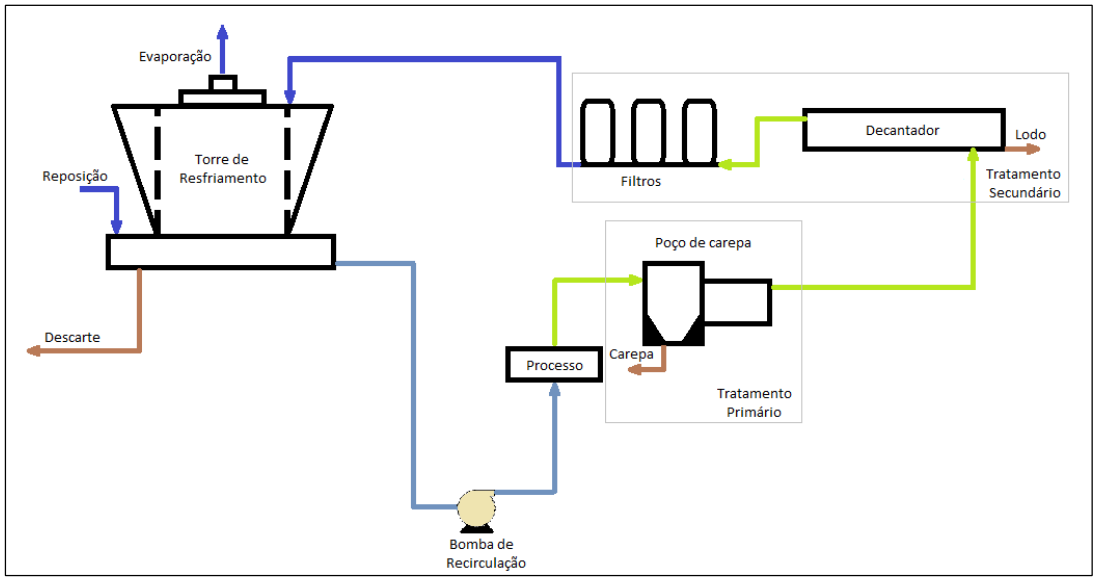


Figura 14- Fluxograma do sistema de contato direto (SANTOS, 2014).

Em seguida o efluente é enviado ao decantador onde são adicionados componentes químicos para coagular e flocular os sólidos mais finos fazendo-os decantar. Os decantadores podem ser horizontais ou circulares.

A parte decantada é raspada em direção a um ponto de sucção que envia a lodo úmido para um adensador e uma centrífuga que retira toda umidade do lodo.

A água mais limpa segue para um sistema de filtros de areia. Todo o processo, decantador, filtro de areia e tratamento de lama é considerado como tratamento secundário.

### 3.4.4. Tratamento primário

A água contaminada durante os processos siderúrgicos é tratada para ser aplicada novamente no processo. O poço de carepa é onde ocorre a decantação das partículas maiores. A tabela 02 mostra o tempo estimado necessário para a decantação ocorrer. A carepa pode ser considerada como uma areia grossa devido ao seu peso específico que é em torno de 70% do peso específico do aço.

Tabela 02- Tempo de decantação por tamanho da partícula (BETZDEARBORN, 1999).

| Diâmetro da partícula (mm) | Ordem de tamanho | Tempo necessário para decantar 30cm |
|---|---|---|
| 10 | Pedregulho | 0,3 segundos |
| 1 | Areia grossa | 3 segundos |
| 0,1 | Areia fina | 38 segundos |
| 0,01 | Limo | 33 minutos |
| 0,001 | Bactérias | 55 horas |
| 0,0001 | Partículas coloidais | 230 dias |
| 0,00001 | Partículas coloidais | 6,3 anos |
| 0,000001 | Partículas coloidais | 63 anos |

### 3.4.5. Tratamento secundário

Após o poço de carepa a água contaminada segue para um tanque onde são adicionados coagulantes e floculantes para auxiliar no processo de decantação. O processo de coagulação consiste em neutralizar as forças elétricas das partículas em suspensão através de sais de ferro, alumínio ou polímeros. As reações químicas envolvidas nessa etapa são rápidas e dependem de agitação mecânica e coagulante do pH (MIERZWA, HESPANHOL, 2005).

O processo de floculação tende a juntar as partículas coaguladas para formar um floco. Ela ocorre com o uso de moléculas com alto peso molecular que formam os flocos mais pesados conforme apresentado na figura 15.

No inverso do que ocorre com o coagulante a floculação precisa de tempo para converter os pequenos flocos em flocos maiores que irão decantar (BETZDEARBORN, 1999).

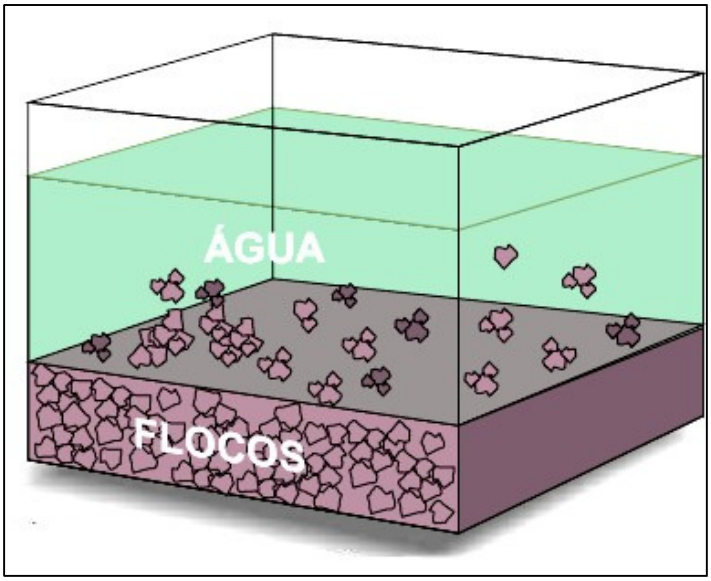


Figura 15- Floculação (SANTOS, 2014).

Na prática, a condição ótima de dosagem do coagulante, é muito importante, visto que as demais fases dependem desta etapa inicial bem controlada (MIERZWA, HESPANHOL, 2005).

A fase da decantação se refere a remoção químicas das partículas que foram floculadas e coaguladas. Os decantadores podem ser horizontais conforme a figura 16 ou ascendentes compactos, conforme a figura 17.

Os decantadores ascendentes compactos, geralmente, acomodam a coagulação, floculação e decantação em um mesmo tanque e ocupam menos espaço e custam menos durante a implantação.

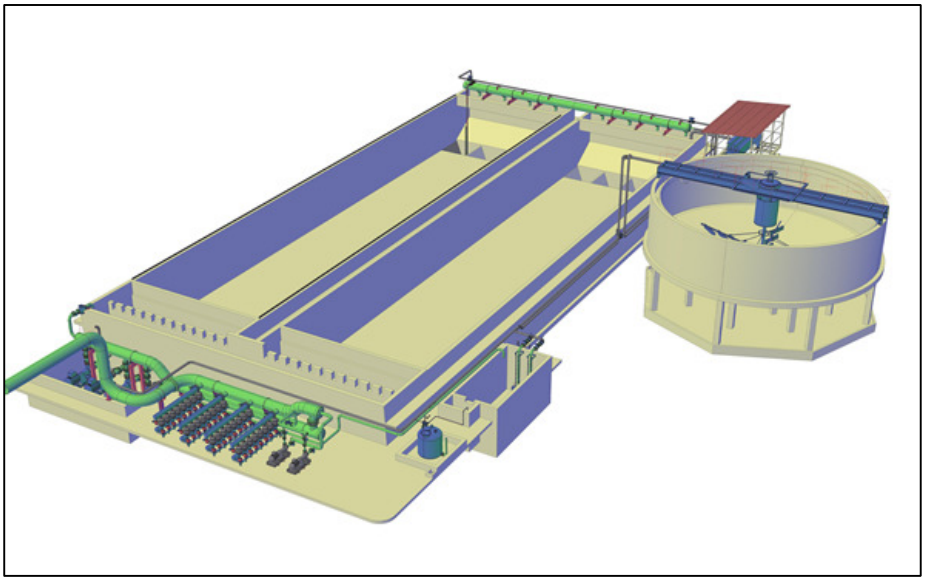

Figura 16- Decantador horizontal (SANTOS, 2014).

Os decantadores horizontais possuem um tempo de residência da água maior e a possibilidade de correções bruscas da água tratada, conseguindo garantir sempre a qualidade da saída.

Este tipo de equipamento tem a desvantagem do elevado custo de investimento inicial. Na indústria siderúrgica o decantador horizontal ainda é o mais aplicado.

Figura 17- Decantador ascendente compacto (SANTOS, 2014).

No fim do processo de decantação a água apresenta ainda algumas partículas e o processo seguinte são filtros de areia para finalmente tornar a água adequada para retornar ao processo.

O processo de filtragem na industria pode ser realizado com areia, antracito, que pode ser visto na figura 18 ou filtros de disco, que são apresentados na figura 19. O processo com filtro de disco garante apenas 100µm, enquanto o filtro de areia retém partículas dez vezes menores.

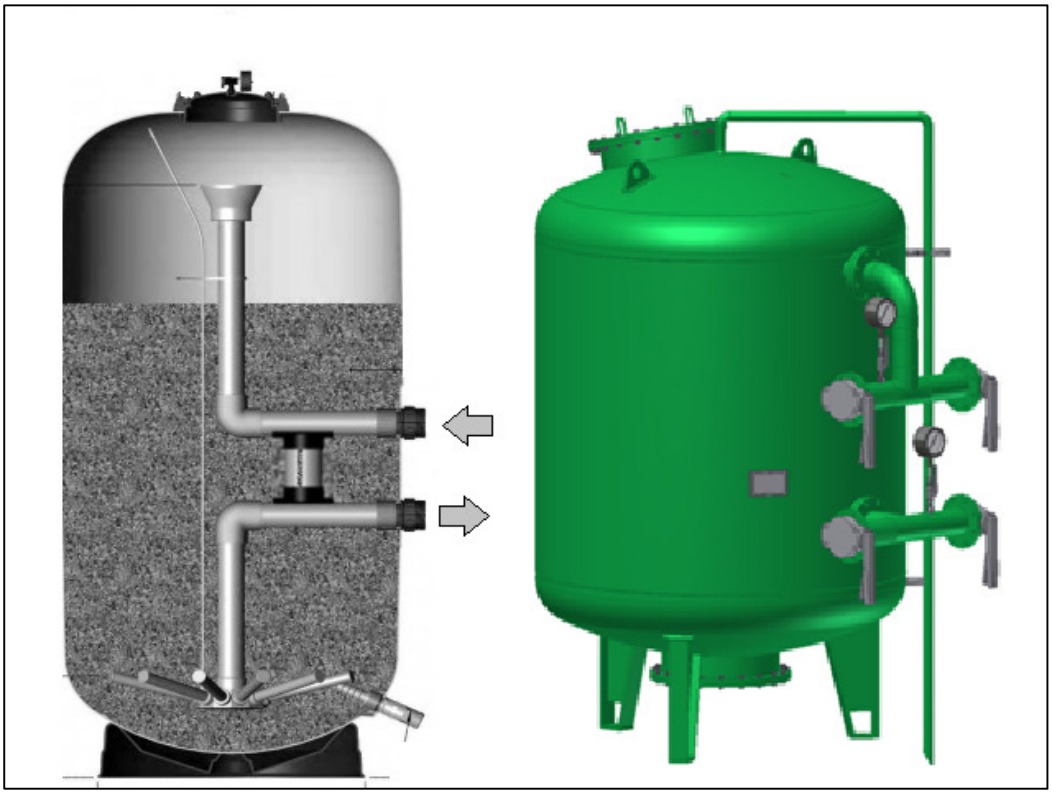

Figura 18- Filtro de areia (SANTOS, 2014).

Os filtros de areia podem ser classificados como lentos (Q/A=0,07 a 0,40 $m^3/h^{-1}.m^{-2}$) e rápidos (Q/A=5 a 25 $m^3/h^{-1}.m^{-2}$). Os filtros após algumas horas em operação começam a elevar a perda de carga entre a entrada e saída, isso ocorre devido deposição das partículas nos espaços vazios.

Para regenerar o leito filtrante ocorre a retrolavagem, que pode ser feita somente com água ou com ar e água no sentido contrário ao processo de filtração.

Figura 19- Filtros de disco (PARQUES SUSTENTÁVEIS, 2013).

A retrolavagem de ar e água é mais eficiente, pois auxilia na turbulência do leito filtrante. O efluente gerado neste processo deve ser direcionado para o tanque de coagulação para retornar ao processo.(MIERZWA, HESPANHOL, 2005).

A qualidade dos lodos gerados pelo sistema de tratamento de água depende muito da água de entrada, de como o programa de tratamento químico está projetado e da forma de limpeza dos decantadores.

Os lodos provenientes dos decantadores possuem partículas de tamanho pequeno e essa característica restringe a eficiência da redução de volume pela remoção de água (REALI, 1999).

Uma técnica empregada na retirada de água do lodo é o uso de espessadores, equipamentos que têm por finalidade reduzir a presença da água do material sólido.

A tecnologia mais amplamente aplicada para o tratamento de águas, esgotos e águas industriais é o espessador por gravidade circular, apresentado na figura 20.

O equipamento possui um vertedouro, por onde a água limpa é enviada para o sistema e um ponto em que o raspador descarta os contaminantes sobrenadantes.

No fundo do tanque existe um raspador, que direciona o lodo para o centro de onde é bombeado para um equipamento para desidratação (REALI, 1999).

Para a desidratação do lodo existem várias tecnologias disponíveis, que dependem de diversos fatores como: custo da área, distância entre estação de tratamento e depósito final do

resíduo sólido, operação, custo de equipamentos e condições climáticas. A figura 21 apresenta as formas disponíveis de desidratação de lodo (REALI, 1999).

Figura 20- Espessador por gravidade circular (SANTOS, 2014).

Os leitos de secagem e as lagoas de lodo também podem ser utilizados quando o lodo gerado e as condições climáticas são adequadas. Estes métodos são demorados, principalmente em regiões de clima temperado.

As lagoas são grandes reservatórios paralelos, que são alimentados até a sua capacidade máxima para posterior evaporação da água. Os leitos de secagem são similares às lagoas, associadas a um leito inferior de areia que propicia que a água do lodo permeie como um filtro, acelerando o processo de desidratação (REALI, 1999).

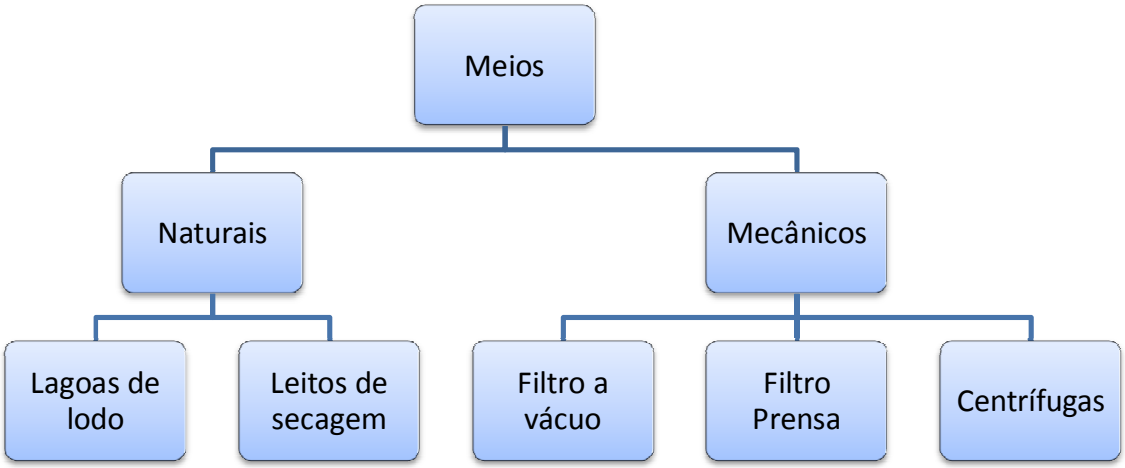


Figura 21- Formas de redução de volume de lodo (REALI, 1999).

As tecnologias mecânicas para secagem do lodo são amplamente aplicadas na indústria. Porém, para a melhor especificação do tipo a ser adotado deve ser levado em conta as características do lodo a ser tratado.

Na siderurgia, por exemplo, as centrífugas devem possuir seus componentes internos com revestimento de carbeto de tungstênio, pois sem esta proteção, se deteriorariam em um curto espaço de tempo, considerando que a centrifugação pode elevar a força gravitacional em até 6.000 vezes (REALI, 1999). A figura 22 representa o funcionamento de uma centrífuga.

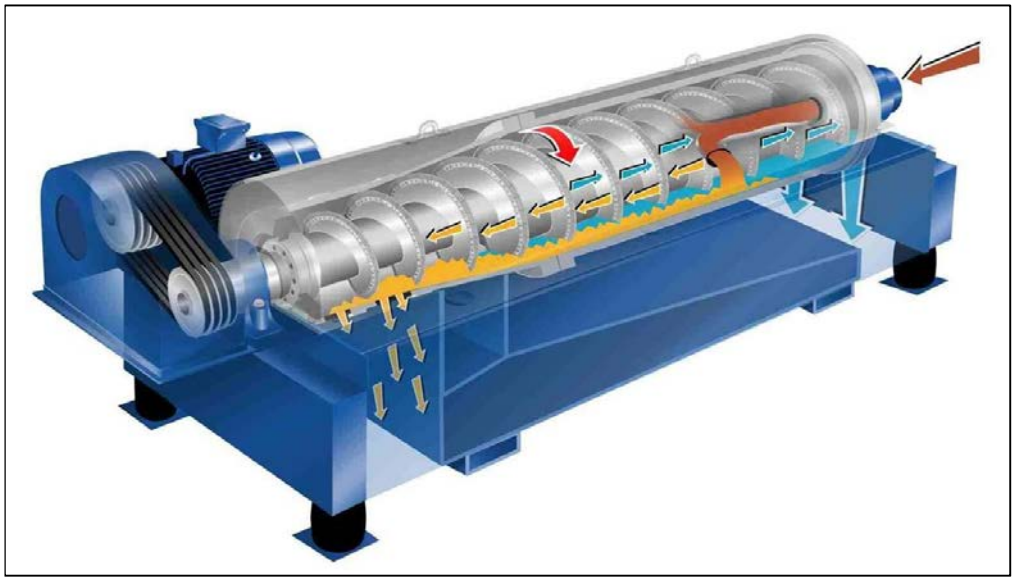

Figura 22- Centrífuga (WERJEN, 2013).

Os filtros prensa e as centrífugas são as tecnologias mais empregadas na siderúrgicas, porém não existe um consenso de qual é a melhor opção para esse ramo, visto que ambos trazem vantagens. A figura 23 apresenta um filtro prensa.

Figura 23- Filtro prensa (CETEL,2013).

### 3.4.6. Tratamento terciário

O tratamento terciário busca a remoção de substâncias solúveis remanescentes ou tratamento direcionado para determinado tipo de substância ou íons da água ou efluente tratado (CETREL, 2007).

Os processos de oxidação com hipoclorito de sódio, carvão ativado, filtração por membrana como, a osmose reversa, são algumas das várias tecnologias empregadas para tratar a água. Estes processos podem ser aplicados isolados ou em conjunto, dependendo dos contaminantes que serão eliminados.

A oxidação com hipoclorito de sódio tem as vantagem de remover cor, sabor, carga orgânica e alguns sais e o investimento nele é de baixo custo. Como desvantagem o resíduo de cloro deve ser monitorado constantemente (CETREL, 2007).

O carvão ativado (figura 24) possui a característica de remover cor, sabor, odor e carga orgânica, e o carvão ainda pode ser reativado para reúso. As desvantagens são incapacidade de remover carga orgânica em baixas concentrações e tempo de vida curto, além do alto custo (MACHADO, 2005).

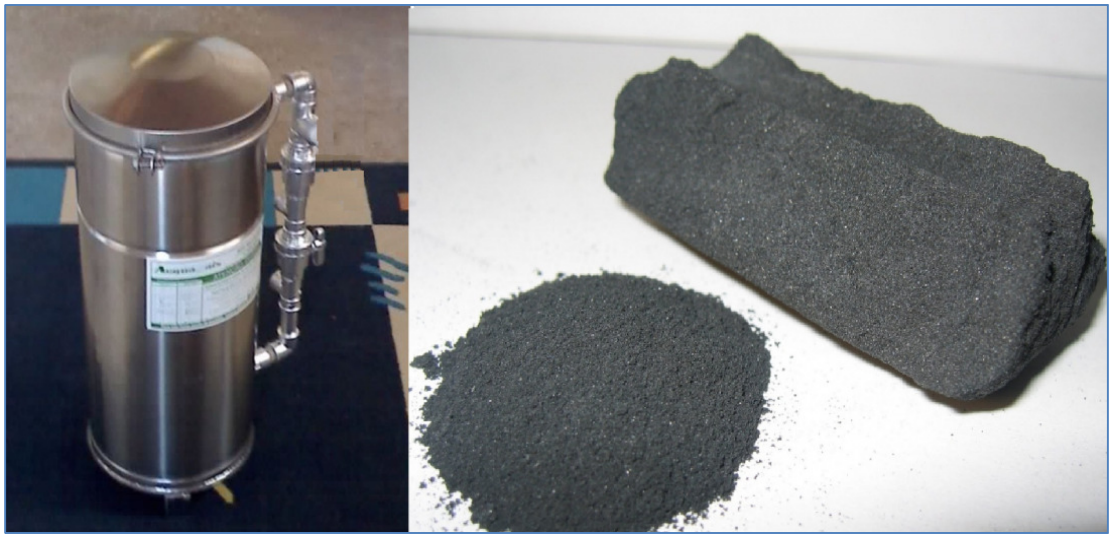

Figura 24- Carvão ativado (SANTOS, 2014).

A filtração por membranas é uma técnica usada para eliminar todos os compostos maiores que seu peso molecular de corte (RIBEIRO, DE LUCA, 1998).

Os tipos de filtração são determinados de acordo com o seus pontos de corte que são quatro categorias. Estas categorias são: microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR) (RIBEIRO, DE LUCA, 1998). A figura 25 representa uma unidade osmose reversa.

Figura 25- Osmose reversa (YETE, 2013).

Os dois primeiros processos precisa de baixa pressão de trabalho e são indicados para separação de sólidos/líquidos. A UF ainda retém partículas minerais, orgânicas e partícula biológicas compatíveis com algas, vírus e bactérias.

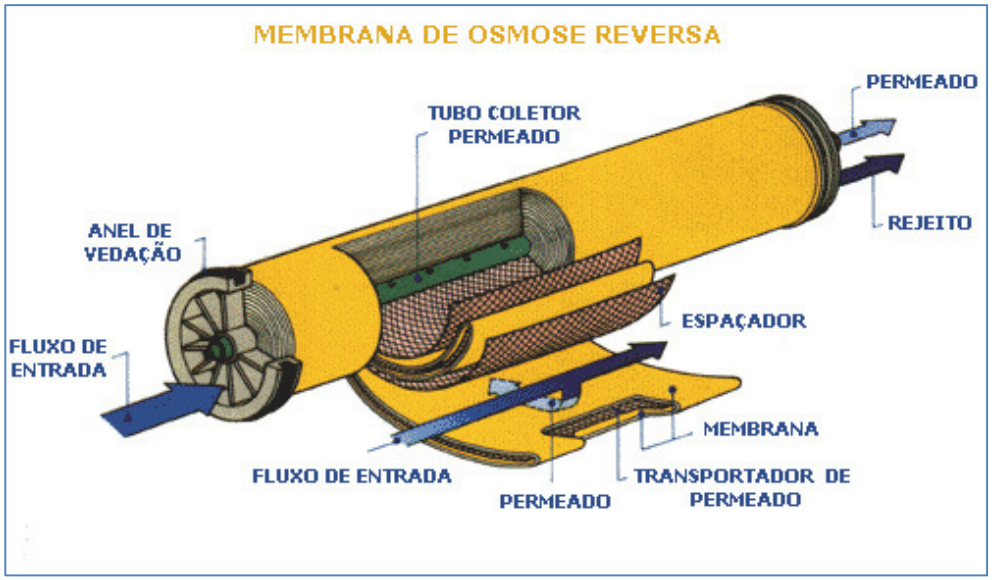


Figura 26- Membrana de osmose reversa (WATERWORKS, 2013).

A nanofiltração e a osmose reversa são aplicadas para deter partículas do tamanho de um íon. A NF é geralmente usada para abrandamentos e a OR é usada para águas salobras ou salinas (figura 26) (RIBEIRO, DE LUCA, 1998).

A osmose reversa é um fenômeno natural que ocorre quando duas soluções, de concentrações diferentes (exemplo: água pura e água salobra) são separadas por uma membrana semipermeável, ou seja, permeável para solventes e impermeável para solutos. Haverá, naturalmente, o fluxo de água pura para a água contaminada, até que o equilíbrio osmótico seja atingido. A osmose reversa nada mais é do que a inversão desse sentido de fluxo, mediante aplicação de uma pressão maior do que a pressão osmótica natural. Neste caso, a membrana permitirá apenas a passagem de solvente (água pura), retendo os solutos (sais dissolvidos e contaminantes). A água obtida pelo processo de Osmose Reversa resulta em uma água ultrapura por um processo de comprovada confiabilidade (HS OSMOSE REVERSA, 2013).

# 4. ESTUDO DE CASO

## 4.1. Aspectos gerais

Este estudo tomou como referência uma siderúrgica situada na cidade de Pindamonhangaba/SP que possui uma laminação de barras de aço redondas com dimensões entre 25 e 70mm e capacidade anual em torno de 500mil toneladas.

A laminação possui um forno de reaquecimento, 14 cadeiras de laminação, um bloco acabador, leito de resfriamento, e uma linha de acabamento.

Para este processo uma Estação de Tratamento de Águas (ETA) dedicada foi construída. A planta básica do laminador e ETA estão representados na figura 27.

O fornecimento da água para a ETA é proveniente do rio Paraíba do Sul, de onde toda a água é bombeada. O efluente gerado neste complexo é descartado no ribeirão dos Surdos.

O tratamento de água na siderurgia é uma prática consolidada encontrando-se os mais diversos tipos de tecnologias empregadas, conforme estudado no capítulo 3.

Existem plantas siderúrgicas com sistemas de tratamento de água centralizados que atendem a todo o complexo industrial e existem sistemas dedicados que são construídos para atender cada parte do processamento do aço.

O estudo concentrou-se na estação de tratamento dedicada a laminação que traz uma boa representatividade de todas as contaminações de uma siderurgia. O método de tratamento adotado nesta ETA é um método convencional, conforme apresentado nos itens 3.4.2 e 3.4.3.

O ribeirão dos Surdos é classificado como classe 2 (água doce), pois é usado para dessedentação de animais, irrigações de plantações, recreação de contato primário, pesca e consumo humano após tratamento convencional (MIERZWA, HESPANHOL, 2005).

Devido a classe do ribeirão dos Surdos, o efluente gerado deve ser descartado com $DBO_{5,20} \leq 5mg\ L^{-1}$., além de atender a resolução do CONAMA 357/2005 e 430/2011. Este valor foi determinado através de um cálculo da vazão do ribeirão conforme determinado pela CETESB ($Q_{7/10}$).

O cálculo do $Q_{7/10}$ baseia-se na média das médias de vazões, em sete dias dentro do período de dez anos.

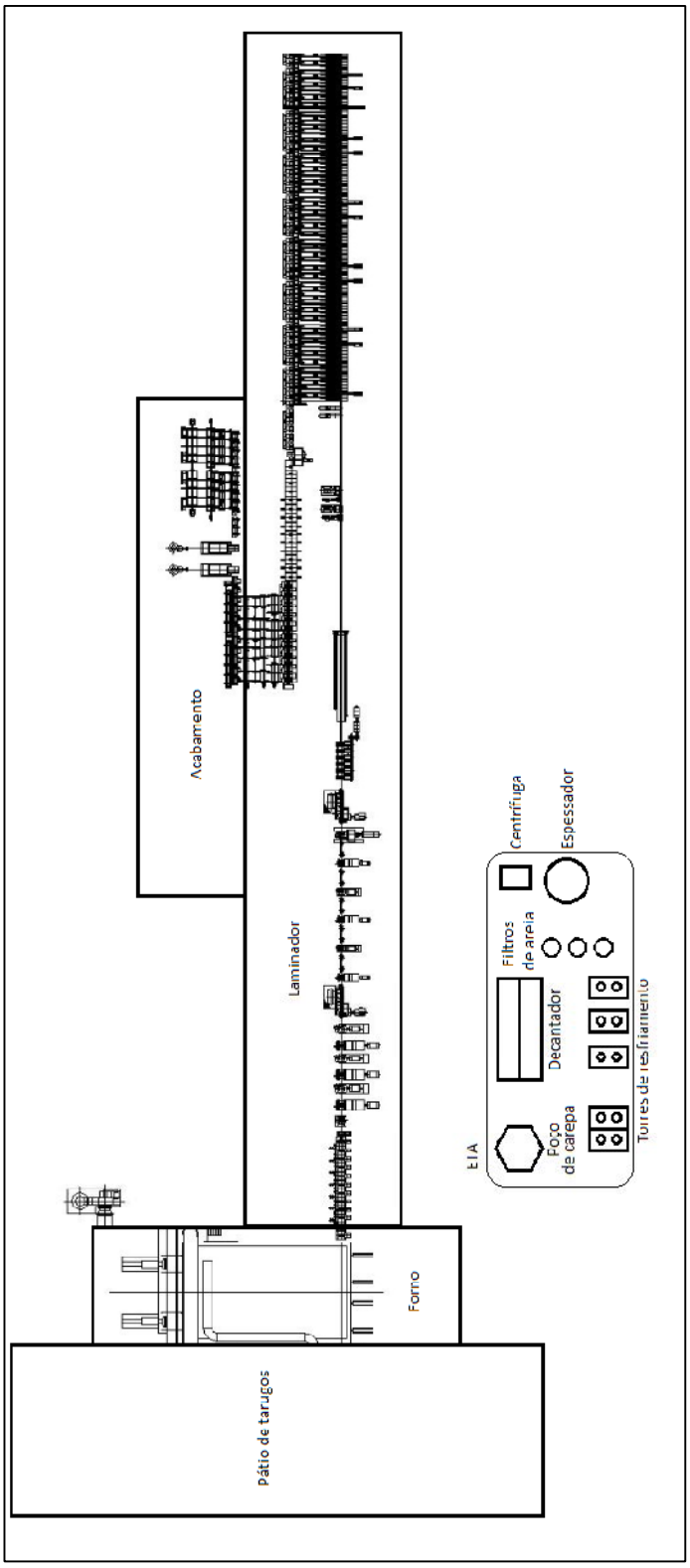


Figura 27- Planta do laminador e ETA.

## 4.2. **Sistema de tratamento de água**

As características gerais da estação de tratamento de águas da laminação foco deste estudo são apresentadas na tabela 03.

Tabela 03- Características da ETA.

| **ETA** | | |
|---|---|---|
| Vazão total | 1610 | $m^3h^{-1}$ |
| Vazão do circuito de refrigeração indireto | 660 | $m^3h^{-1}$ |
| Vazão do circuito de refrigeração direto | 950 | $m^3h^{-1}$ |
| Hidrociclone circular (Poço de carepa) | 9 x 11 | m |
| Clarificador duplo | 5 x 22 | m |
| Filtros de areia | 950 | $m^3h^{-1}$ |
| Espessador circular | 11 x 4 | m |
| Reposição de água | 21 | $m^3h^{-1}$ |
| Descarte de água | 7,6 | $m^3h^{-1}$ |

A figura 28 representa as vazões de reposição e descarte de água da ETA. O circuito de água indireta que possui pouca contaminação, descarta água para o sistema de maior contaminação. O motivador responsável por aumentar as reposições são as evaporações nas torres de resfriamento e evaporações no processo. Esses eventos elevam as concentrações dos sais como, por exemplo, cloretos.

O índice de recirculação desta ETA pode ser obtido através da equação 1, onde $Q_r$ é vazão de recirculação total e $Q_{mw}$ é a vazão de reposição e $I_{RC}$ é o índice de recirculação.

Neste caso, o valor de 98,71% mostra que a ETA trabalha acima da média (96,3 - 96,7%) apresentada na figura 13.

$$I_{RC} = \frac{Q_r}{Q_r + Q_{mw}} \times 100 \rightarrow \frac{1610}{1610+21} \times 100 \rightarrow 98{,}71\% \qquad \text{Eq.(1)}$$

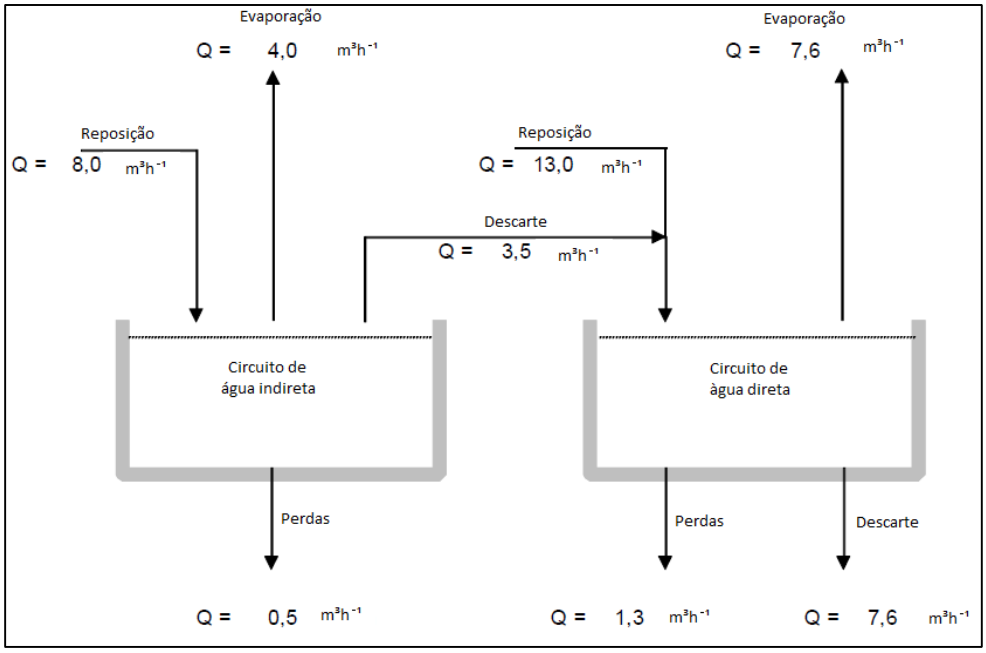


Figura 28- Fluxograma das reposições e descartes de água.

No tratamento de água de resfriamento em torres abertas são geralmente aplicados fosfatos para evitar a corrosão das tubulações de aço carbono que representam mais de oitenta por cento das estrutura de uma ETA

### 4.3. Circuito de refrigeração de água indireta

O circuito de refrigeração de água indireto é aplicado nos trocadores de calor do laminador, como por exemplo os trocadores de calor dos sistemas hidráulicos, lubrificação, sistema de ar condicionado, resfriamento de rolos do forno de reaquecimento.

Todo o calor recebido na água é trocado no sistema de torres de resfriamento. A água é então depositada em um tanque e é bombeada através de um sistema de filtro de disco e segue novamente para o processo.

A figura 29 representa o fluxo descrito no texto. Para a economia de energia elétrica um sensor de temperatura é mantido on-line com o PLC que controla a quantidade de ventiladores da torre de resfriamento que estarão ligadas. Esse sistema garante a economia de energia.

Devido as torres de resfriamento serem abertas ocorre a evaporação da água que gera o aumento das concentrações de sais. Por esse motivo uma descarga ocorre periodicamente e água nova regula o nível do tanque.

A troca de calor nas torres de resfriamento estão calculadas para um delta de 10ºC, para os picos de temperatura. O normal esperado para este sistema é a diferença de temperatura por volta de 7ºC.

Neste sistema são adicionados produtos químicos como inibidor de corrosão, anti incrustante, dispersante e biocida. Estes produtos são adicionados para garantir que a tubulação não seja corroída ou que a dureza da água não incruste até obstruir a passagem do fluxo. O biocida é adicionado para evitar principalmente a propagação de algas nas torres de resfriamento. O biocida usado é o hipoclorito de sódio que é aplicado periodicamente para reduzir a propagação de algas e outras formas de vida nesta água.

A reação básica do hipoclorito de sódio na água está mostrado a seguir.

$$NaClO + H_2O \longrightarrow HClO^-_{(aq)} + NaOH_{(aq)}$$

Dependendo do pH o ácido hipocloroso se dissocia:

$$HClO \longrightarrow ClO^- + H^+$$

O processo de cloração deve ser efetuado numa mesma faixa de pH onde predomine o ácido hipocloro (HClO), ou seja, pH entre 6,5 e 7,5. A medida que o valor aumenta, o poder do cloro de oxidar e desinfetar diminui.

Algumas reações apresentadas abaixo representam a oxidação com o uso do hipoclorito de sódio. O cloro reage com compostos orgânicos e inorgânicos em decorrência de sua ação oxidante, oxidando ferro, manganês, nitrito e sulfeto, oxida também os produtos orgânicos entrando na molécula quebrando-a, o composto gerado destas reações devem ser monitoradas pois compostos tóxicos podem ser gerados (MORAES, 2013).

Fenol:

$$C_6H_5OH + 14NaOCl \longrightarrow 6CO_2 + 3H_2O + 14NaCl$$

Sulfeto:

$$S^{2-} + 4NaOCl \longrightarrow SO^{4-} + 4NaCl$$

Arsênio:

$$H_3AsO_3 + NaOCl \longrightarrow H_3AsO_4 + NaCl$$

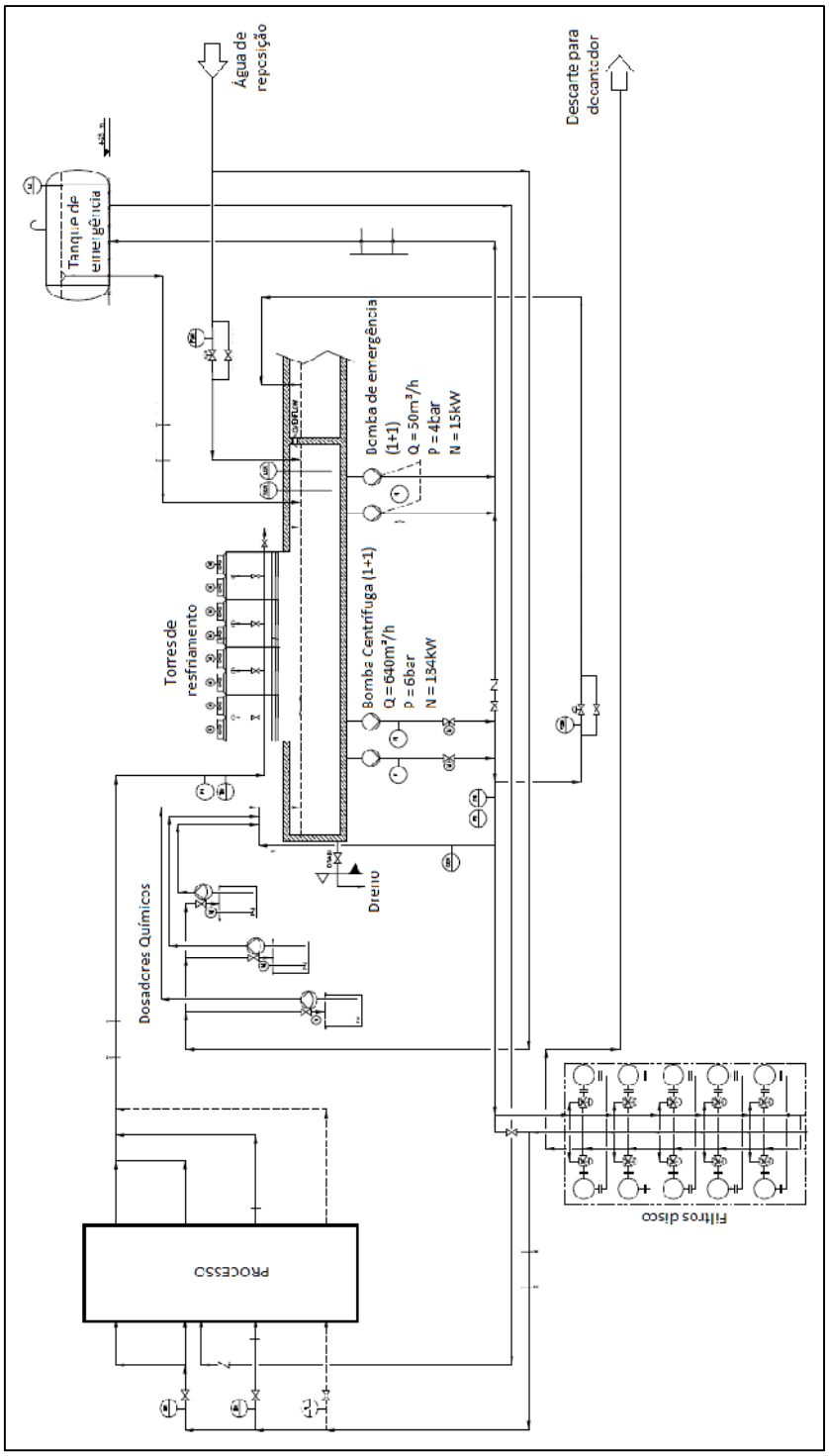


Figura 29- - Circuito de água indireta (SANTOS, 2014).

### 4.4. Circuito de água direta

O circuito de resfriamento de água direta é toda água destinada para resfriar barras, bobinas, chapas, tarugos, carregar carepa, óleos entre outros, durante o processo de beneficiamento do aço.

Este processo faz com que a água ganhe contaminações térmica e físico químicas, que devem ser tratadas na estação de tratamento de água (ETA). Parte desta água em contato com o produto laminado a quente é perdida na forma de vapor.

Toda água de contato em uma laminação é direcionada para um canal denominado canal de carepa. O canal direciona a água contaminada para um poço de carepa, este tanque funciona como um tratamento primário, pois as contaminações mais pesadas ficarão no fundo. O poço de carepa possui uma ponte provida de uma concha (*clamp shell*), que retira automaticamente a carepa, depositando-a em uma caçamba usada para transportar até o depósito interno.

Este processo mantém a continuidade do sistema, pois esta atividade mal feita afeta o bom andamento do tratamento e finalmente a qualidade da água que retorna para o processo. Uma parte da água direta deste laminador é direcionada para uma caixa que faz o resfriamento controlado do produto laminado conferindo a ele propriedades específicas.

O retorno desta água é direcionado diretamente para o filtro de areia, pois as contaminações neste processo é menor que no primeiro processo. O fluxograma do tratamento da água direta está representado na figura 30.

Os sólidos suspensos na entrada do tanque de carepa estão próximos de $1300 mgL^{-1}$. Os óleos e graxas estão em torno de $8 mgL^{-1}$. A água vertida do tanque de carepa em um tanque lateral está com os sólidos suspensos em torno de $350 mgL^{-1}$. e óleos e graxas com $5 mgL^{-1}$. Esse valor só é alcançado se a velocidade de projeto, calculada na equação 2, de $11,65 mh^{-1}$ for mantida.

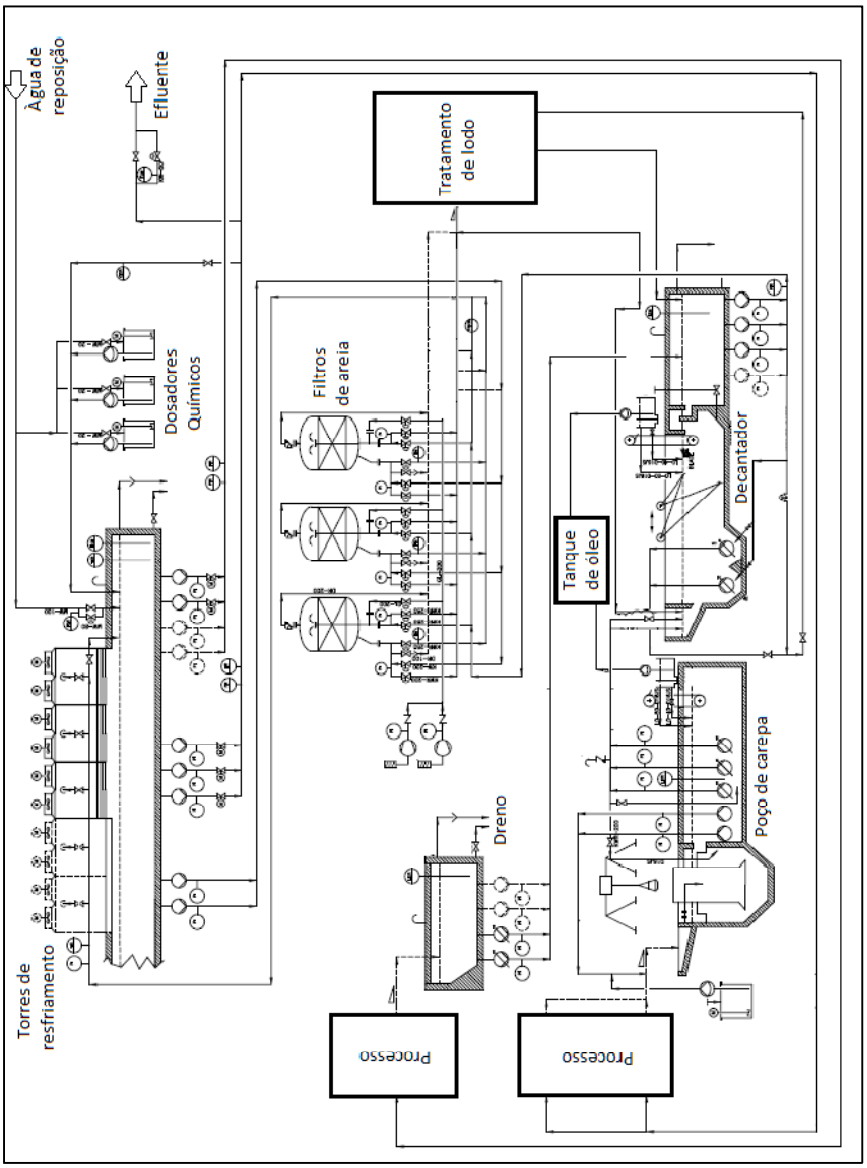


Figura 30- Fluxograma de água direta (SANTOS, 2014).

No início do tratamento secundário são adicionados produtos químicos (polímeros aniônicos e catiônicos) que auxiliam na coagulação dos sólidos. e para o óleo flotado existe um sistema raspador (*oil skimmer*) que auxilia em sua remoção. A figura 31 apresenta um raspador com cinta, equipamento usado para retirar o óleo da água.

$$V_{poço\ carepa} = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{740}{\pi \times 4{,}5^2} \rightarrow 11{,}65\ \frac{m}{h} \qquad \text{Eq. (2)}$$

Figura 31- Raspador de óleo com cinta (SANTOS, 2014).

A reação que ocorre no processo de coagulação por sulfato de alumínio, pode ser entendida através das reações abaixo, primeiro adiciona-se carbonato de sódio ($Na_2CO_3$) para colocar o pH na condição ideal para as reações (QUÍMICA AMBIENTAL USP, 2013).

Base:

$$NaOH_{(s)} \longrightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

Sal básico:

$$Na_2CO_3(s) \longrightarrow 2\ Na^+_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)}$$

$$CO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow HCO_3^-{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

Logo após o ajuste do pH adiciona-se o sulfato de alumínio [$Al_2(SO_4)_3$] que dissolverá na água e formará o hidróxido de alumínio [$Al(OH)_3$] que precipitará no fundo do decantador carregando partículas suspensas na água (QUÍMICA AMBIENTAL USP, 2013).

Dissolução:

$$Al_2(SO_4)_{3(s)} \longrightarrow 2\ Al^{3+}_{(aq)} + 2\ SO_4^{3-}{}_{(aq)}$$

Precipitação:

$$Al^{3+}_{(aq)} + 3\ OH^-_{(aq)} \longrightarrow Al(OH)_{3(s)}$$

Além do sulfato de alumínio é adicionado polímero aniônico que neutraliza a polarização dos sólidos permitindo que eles formem os flóculos.

A próxima etapa do tratamento é o decantador, onde, quanto menor a velocidade, melhor a qualidade da água na saída. A razão entre a vazão e a área do decantador pode ser visto na equação 02.

$$V_{decantador} = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{740}{5 \times 22 \times 2} \rightarrow 3{,}36\ \frac{m}{h}$$

O processo de decantação consiste na remoção da carepa fina. Onde o material coagulado será floculado e depositará no fundo da piscina. Então uma ponte raspadora direcionará os material para a sucção de uma bomba que fará a transferência para o sistema de tratamento de lodo.

Os sólidos suspensos na saída do decantador será próximo de $70mgL^{-1}$ e os óleos e graxas com $3mgL^{-1}$. O óleo flotado neste processo também é raspado pela ponte e direcionado para um sistema raspador (*oil skimmer*) que o retira e envia para um tanque para destinação final.

Após o processo de decantação a água clarificada é enviada para uma bateria de filtros de areia, com três filtros.

A configuração projetada para este sistema são dois filtros em operação e um em contra lavagem ou disponível (*stand by*). O sistema opera de forma que cada filtro deve entrar em contra lavagem uma vez por dia, porém se o diferencial de pressão entre a entrada e saída do sistema apresentar mais que $1Kgf\ cm^{2-1}$ uma nova limpeza é necessária.

O CLP controla o diferencial de pressão e aciona o sistema quando o valor máximo é atingido.

A velocidade de filtração do sistema pode ser vista no cálculo da equação 02.

$$V_{Filtros} = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{950}{\pi \times 1{,}9^2 \times 2} \rightarrow 41{,}88\ \frac{m}{h}$$

O sistema de filtros de areia garantem os sólidos suspensos com no máximo 10mgL$^{-1}$, porém o parâmetro de óleo é continuamente monitorado, pois o seu aumento no filtro pode reduzir a eficiência, criando caminhos preferenciais no leito e os sólidos passarão direto pelo processo de filtragem.

Na sequência dos filtros a água é resfriada em uma torre de resfriamento aberta, onde ocorre perdas através da evaporação. As bombas centrífugas enviam novamente a água para o processo.

### 4.5. Tratamento de lodo

O lodo gerado no decantador e na contra lavagem dos filtros de areia, são direcionados para um espessador circular que possui a função de reduzir a água presente no lodo. A umidade do lodo existente no fundo, permanece em torno de 88%.

A velocidade de 1,47mh$^{-1}$ , calculado com base na equação 2, no espessador foi projetado para garantir que os sólidos presente na água de saída seja em torno de 70mgL$^{-1}$. A adição de floculante e polímeros catiônicos garantem a eficiência durante o espessamento.

$$V_{espessador} = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{140}{\pi \times 5{,}5^2} \rightarrow 1{,}47\ \frac{m}{h}$$

A finalização do tratamento do lodo ocorre na centrífuga que garante a unidade do lodo em torno de 35%. O lodo tratado é colocado em caçambas e transportado para o aterro sanitário interno. A água retirada durante o espessamento e centrífuga são direcionadas para o decantador e o ciclo é novamente iniciado.

A figura 32 representa o fluxograma do tratamento de lodo usado na ETA.

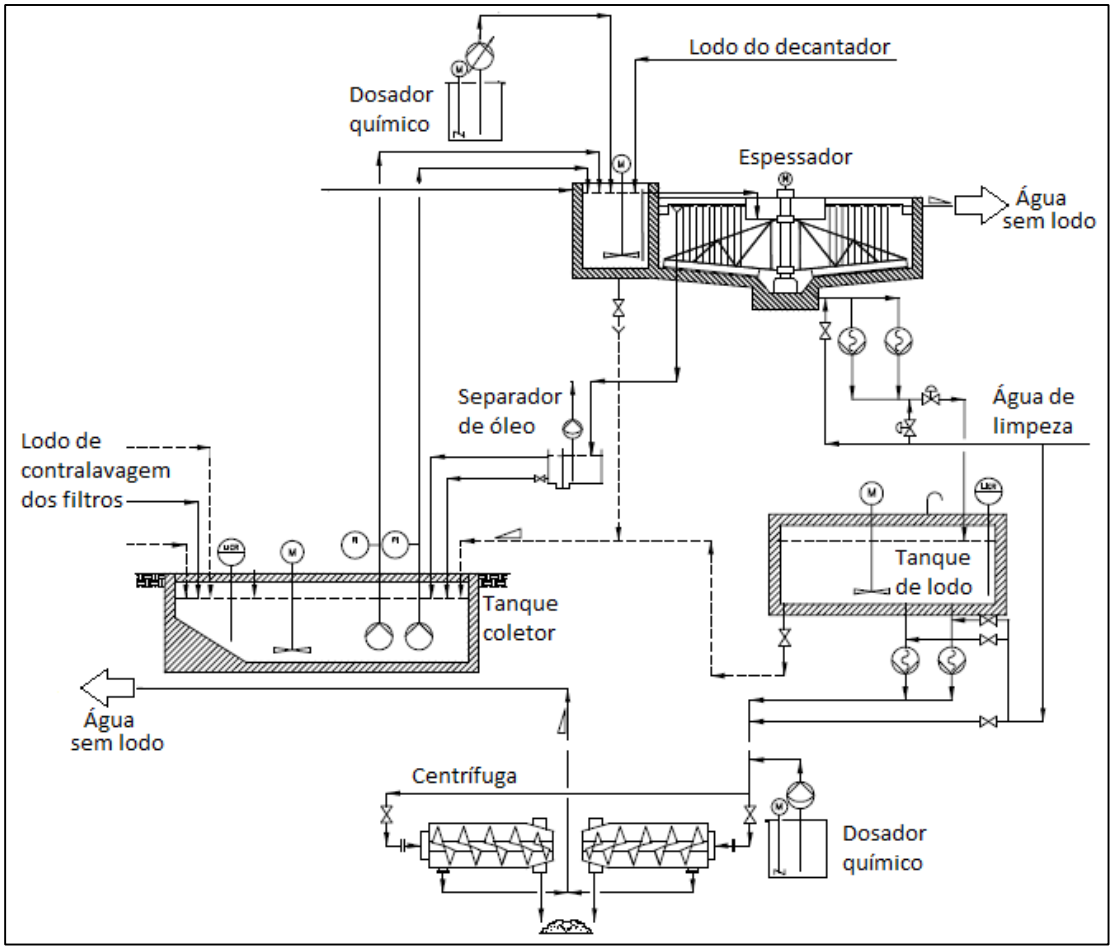


Figura 32- Fluxograma do tratamento de lodo (SANTOS, 2014).

### 4.6. Tratamento de efluente

O tratamento do efluente gerado na ETA estudada foi adequado para atender as exigências da CETESB no parâmetro $DBO_{5,20}$, que deve estar menor que $5mgL^{-1}$.

As demais variáveis do processo estão dentro do especificado pelas resoluções do CONAMA 357/2005 e 430/2011, para o ribeirão dos Surdos que receberá o descarte conforme pode ser visto na tabela 04 e tabela 05.

Tabela 04- Comparação do efluente tratado com a resolução 357.

| PARÂMETRO | CONAMA 357/2005 | EFLUENTE TRATADO |
|---|---|---|
| Temperatura [ºC] | Revogado pela Resolução 430 | 26 |
| pH | 6 - 9 | 7,5 - 9,0 |
| Sólidos dissolvidos [mg $L^{-1}$] | < 500 | < 450 |
| $DBO_{5,20}$ [mg $L^{-1}$] | < 5 | < 3 |
| Cloretos [mg $L^{-1}$] | < 250 | < 140 |
| Sulfatos [mg $L^{-1}$] | < 250 | < 140 |
| Óleos e graxas [mg $L^{-1}$] | Virtualmente ausentes | < 5 |

O processo consiste em tratar o efluente gerado em bateladas, através de uma forte oxidação em um tanque de 30m³, com a adição de hipoclorito de sódio e ar soprado para auxiliar na reação e agitação do efluente.

Tabela 05- Comparação do efluente tratado com a resolução 430.

| PARÂMETRO | CONAMA 430/2011 | EFLUENTE TRATADO |
|---|---|---|
| Temperatura [ºC] | < 40 | 26 |
| pH | 5 - 9 | 7,5 - 9,0 |
| Sólidos dissolvidos [mg $L^{-1}$] | Não declarado | < 450 |
| $DBO_{5,20}$ [mg $L^{-1}$] | De acordo com o receptor redução mínima de 60% | < 3 |
| Cloretos [mg $L^{-1}$] | Não declarado | < 140 |
| Sulfatos [mg $L^{-1}$] | Não declarado | < 140 |
| Óleos e graxas [mg $L^{-1}$] | <20 | < 5 |

Após a oxidação uma bomba centrífuga direciona o efluente para um filtro de areia e antracito que removem os resíduos sólidos. O filtro seguinte de carvão ativado tem a função de adsorver o cloro livre e algum resíduo orgânico que ainda possam existir. A velocidade de filtração nos filtros pode ser conferida na equação 02.

$$V_{Filtros} = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{10}{\pi \times 0{,}6^2} \rightarrow 8{,}84\ \frac{m}{h}$$

O efluente tratado é colocado em um tanque metálico para análise final, somente então, ele é liberado para o ribeirão. A figura 33 mostra o fluxograma do tratamento do efluente.

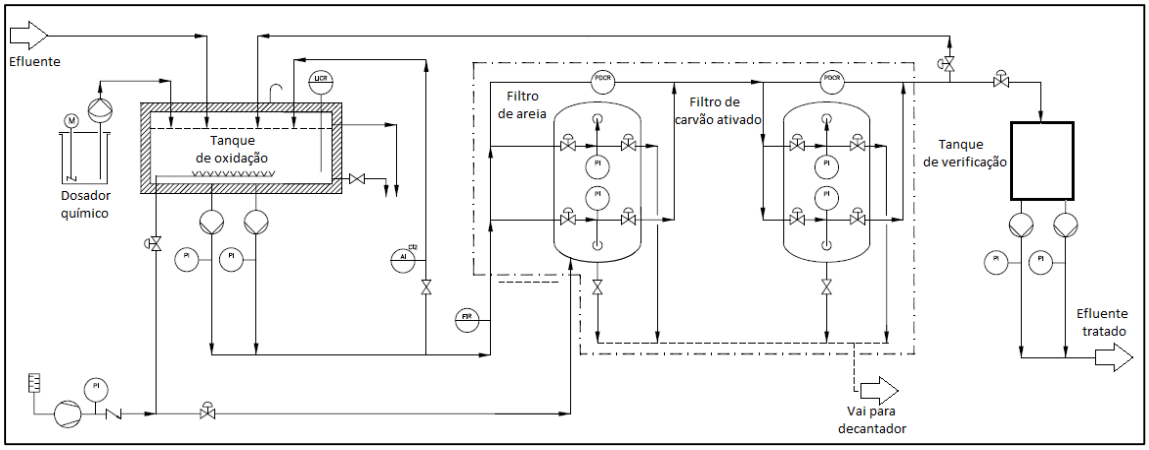


Figura 33- Fluxograma do tratamento de efluentes (SANTOS, 2014).

# 5. REÚSO DO EFLUENTE

Neste estudo, o efluente foi avaliado quanto ao potencial de reúso para fins não potáveis. Na tabela 06 são apresentadas algumas atividades com potencial de reúso do efluente industrial, os quais serão utilizados para avaliar a viabilidade técnica e econômica do efluente industrial.

Tabela 06- Pontos potenciais de reúso.

| Alternativas de reúso | Vazão ($m^3h^{-1}$) | Aplicação Atual | Aplicação Proposta | Tratamento Adicional |
|---|---|---|---|---|
| 1 - Lavagem de piso | 2,50 | água potável | água de reúso | Não |
| 2 - Sanitários e mictórios | 4,00 | água potável | água de reúso | Não |
| 3 -Resfriamento de escória | 10,00 | água bruta | água de reúso | Não |
| 4 - Recarga da ETA | 21,00 | água clarificada | água de reúso | Sim |

## 5.1. Aspectos gerais

Nos dois circuitos citados nos itens 4.3 e 4.4 , de acordo com a evaporação e com as contaminações que são inseridas durante os processos, o descarte se faz necessário. Devido também aos grandes volumes recirculados nos sistemas de águas, esses descartes também são significativos se levado em conta a planta siderúrgica inteira.

Na ETA da laminação estudada que produz cerca de 40 mil t $mês^{-1}$ é necessário um volume de $1610 m^3h^{-1}$ de água para os sistemas (direto e indireto), isto significa que normalmente 7.600 l $h^{-1}$ de efluente deverão ser descartados e cerca de 21.000 l $h^{-1}$ serão adicionados ao sistema, portanto o reúso desta água pode tornar-se interessante devido as restrições impostas, através de leis ou decretos ambientais.

A reposição de água nos sistemas ocorrem da água mais limpa para a mais contaminada, ou seja, a reposição é feita no circuito indireto que descarta sua água para o circuito direto, este por sua vez recebe a reposição do circuito indireto mais a reposição adicional (figura 28).

O circuito direto descarta o efluente para o rio, após um tratamento de enquadramento dos parâmetros de qualidade para não afetar o corpo receptor.

De acordo com o rio ou ribeirão que recebe o efluente tratado, alguns dos parâmetros podem ser menores que o considerado para a água potável. Este fato força as indústrias a pensar cada dia mais em reúso.

### 5.2. Análise das atividades com potencial para reúso

A tabela 07 resume as necessidades de escopo e investimentos para cada alternativa de reúso na siderúrgica estudada.

Tabela 07- Tabela com alternativas de reúso e investimento.

| Alternativas de reúso | Vazão ($m^3h^{-1}$) | Descrição do investimento | Investimento [R$] |
|---|---|---|---|
| 1 - Lavagem de piso | 2,50 | 300 m de tubulação 2" sch 40;<br>Instalação de tubulações para reúso. | 20.000,00 |
| 2 - Sanitários e mictórios | 4,00 | 250 m de tubulação 2" sch 40;<br>Instalação de tubulações no prédio;<br>Modificações em 05 banheiros. | 35.000,00 |
| 3 - Resfriamento de escória | 10,00 | 250 m de tubulação 2" sch 40;<br>Instalação de tubulações para reúso. | 15.000,00 |
| 4 - Recarga da ETA | 21,00 | 250 m de tubulação 2" sch 40;<br>50 m de tubulação 3" sch 40;<br>Sistema de Osmose Reversa;<br>Instalação de tubulações 2" para reúso;<br>Instalação de tubulações 3" para reúso;<br>Instalação da Osmose Reversa. | 380.000,00 |

A possibilidade de uso do efluente para limpeza de piso é fato, pois para essa alternativa necessita-se de água com qualidade inferior as encontradas na água potável. A estimativa de custo desta alternativa pode ser visto no Anexo A.

O uso do efluente nos vasos sanitários e mictórios é uma solução inicialmente interessante, visto que todo esgoto doméstico já possui um tratamento biológico adequado em lagoas e os parâmetros físico químicos estão dentro da legislação para descarte. A estimativa de custo desta alternativa pode ser visto no Anexo B.

O resfriamento de escória com água de reúso é uma alternativa que não demanda grandes investimentos e a qualidade da água também não importa, visto que a grande parte

desta água aplicada no processo será evaporada. A estimativa de custo desta alternativa pode ser visto no Anexo C.

O retorno do efluente tratado para a bacia das torres devem atender uma qualidade maior que o tratamento já proposto para o sistema de descarte, devido a concentrações de sais. Inicialmente pode-se considerar está uma alternativa viável. A estimativa de custo desta alternativa pode ser visto no Anexo D.

### 5.3. Cálculo de custo da água bruta, clarificada e potável

Para determinar a viabilidade econômica do reúso no processo, deve-se calcular o custo da água bruta, água clarificada e água potável. Para esses cálculos foram consideradas as operações do laminador em dois turnos de oito horas, vinte quatro dias e doze meses no ano (16h, 24d e 12meses).

As equações 3, 4 e 5 forma usadas para determinar o custo da água em cada etapa do processo de tratamento.

O custo da água bruta é determinado pela equação 3, o custo de bombeamento ($C_B$) são valores informados pelo setor responsável com base no histórico de consumo elétrico da usina siderúrgica.

$$C_{AB} = C_{ABcap} + C_B \qquad \text{Eq. (3)}$$

Para o obter o custo de captação da água bruta temos a equação 4 usada na bacia do Rio Paraíba do Sul (MIERZWA, HESPANHOL, 2005):

$$CM = Q_{cap} \times k_0 \times PPU + Q_{cap} \times k_1 \times PPU + Q_{cap} \times (1 - k_1) \times (1 - k_2 \times k_3) \times PPU$$

Eq.(4)

Dado que:

CM = Custo mensal em R$;

$Q_{cap}$ = Volume de água mensal captado em m³;

$k_0$ = Fator referente a captação de água, inferior a 1, tendo sido definido o valor de 0,4;

$k_1$ = Coeficiente de consumo para a atividade, ou seja, a relação entre o volume de água que não retorna para o corpo d'água e o volume de água capitado;

$k_2$ = Relação entre o efluente tratado e o volume do efluente produzido;

$k_3$ = Nível de eficiência de redução do $DBO_{5,20}$ na estação de tratamento de efluentes;

PPU = Preço público unitário atribuído ao m³ de água (R$ 0,02);

$C_{AB}$ = Custo água bruta.

$C_{ABcap}$: Custo da água bruta na captação;

$C_B$ = Custo do bombeamento.

Considerando somente esta ETA, calcula-se:

$Q_{cap}$ = 8.064m³ $mês^{-1}$;

$K_0$ = 1;

$K_1$ = 2.918,4/8.064 = 0,362

$K_2$ = 2.918,4/2.918,4 = 1;

$K_3$ = $DBO_{5,20\ (saída)}$/ $DBO_{5,20(entrada)}$ = 3/15 = 0,2;

PPU = R$ 0,02.

$$CM = 8.064 \times 1 \times PPU + 8.064 \times 0{,}362 \times PPU + 8.064 \times (1 - 0{,}362) \times (1 - (1 \times 0{,}2) \times PPU$$

$$CM = \frac{R\$301{,}98}{mês}$$

Então se considerado o custo mensal sobre o volume mensal obtemos o valor pago por m³.

$$C_{ABcap} = \frac{CM}{Qcap} \rightarrow \frac{301{,}98}{8.064} \rightarrow R\$0{,}037/m^3 \quad \text{Eq. (5)}$$

Conforme a equação 3 e o custo de bombeamento calculado na tabela 08, baseado na equação 9, o valor final da água bruta é:

$$C_{AB} = 0{,}037 + 0{,}39 \rightarrow R\$0{,}417$$

Tabela 08 - Custo de bombeamento água bruta

| Equipamento | P [kW] | t [h] | R$ |
|---|---|---|---|
| $C_{B1}$ | 165 | 576 | 11404,8 |
| $C_{B2}$ | 150 | 576 | 10368 |
| | | Total | **21772,80** |

| | |
|---|---|
| $C_{ee}$ [R$ kWh$^{-1}$] | 0,12 (Grupo A2 - 138kV). |
| Vazão bombeada [r | 56448 |
| $C_B$ [R$ m$^{3-1}$] | 0,39 |

Com base nesta informação encontramos o valor para a água clarificada que deve ser obtida incluindo o valor tratamento do clarificador, conforme calculado na tabela 09 e baseado na equação 9.

Tabela 09 - Cálculo do custo clarificador.

| Equipamento | P [kW] | t [h] | R$ |
|---|---|---|---|
| $C_{B1}$ | 55 | 576 | 3801,6 |
| $C_{B2}$ | 80 | 576 | 5529,6 |
| **Produto Químico** | **Kg** | **R$/Kg** | **R$** |
| $C_{PQ}$ | 4200 | 0,20 | 840 |
| | | Total | **10171,20** |

| | |
|---|---|
| $C_{ee}$ [R$ kWh$^{-1}$] | 0,12 (Grupo A2 - 138kV). |
| Vazão bombeada [m³/mes] | 56448 |
| $C_{Clarificador}$ [R$ m$^{3-1}$] | 0,18 |

$$C_{AC} = C_{AB} + C_{Clarificador} \rightarrow 0{,}417 + 0{,}18 \rightarrow R\$0{,}597 \quad \text{Eq. (6)}$$

Adicionando o custo do tratamento de desinfecção, calculado na tabela 10, obtém-se o custo da água potável.

Tabela 10- Cálculo do custo da desinfecção.

| **Equipamento** | **P [kW]** | **t [h]** | **R$** |
|---|---|---|---|
| $C_{B1}$ | 50 | 576 | 3456 |
| **Produto Químico** | **Kg** | **R$/Kg** | **R$** |
| $C_{PQ}$ | 1650 | 1,55 | 2557,5 |
| | | Total | **6013,50** |

| | |
|---|---|
| $C_{ee}$ [R$ kWh$^{-1}$] | 0,12 (Grupo A2 - 138kV). |
| Vazão bombeada [m³/mes] | 40320 |
| $C_{Desinfecção}$ [R$ m³$^{-1}$] | 0,15 |

$$C_{AP} = C_{AC} + C_{Desinfecção} \rightarrow 0{,}597 + 0{,}15 \rightarrow R\$0{,}747 \quad \text{Eq. (7)}$$

A tabela 11 resume os cálculos descritos nas fórmulas desenvolvidas neste item.

Tabela 11 - Tabela dos custos das águas tratadas

| **TIPO DE ÁGUA** | **CUSTO [R$ m³$^{-1}$]** |
|---|---|
| Água bruta | 0,42 |
| Água clarificada | 0,60 |
| Água potável | 0,75 |

## 5.4. Cálculo de custo do efluente tratado

Para calcular o custo do efluente tratado ($C_{ET}$) serão consideradas as equações 8 e 9.

$$C_{ET} = \frac{C_S + C_{B1} + C_{B2} + C_{PQ}}{Q_{ET}} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$C_{eqpto.} = P \times t \times C_{ee} \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

$C_s$ = Custo de operação do soprador;

$C_{B1}$ = Custo de operação da bomba 01;

$C_{B2}$ = Custo de operação da bomba 02;

$C_{PQ}$ = Custo do produto químico.

$Q_{ET}$ = Vazão do efluente tratado;

P = Potência do equipamento em kW;

t = Tempo de operação;

$C_{ee}$: Custo da energia elétrica

A tabela 12 apresenta os cálculos para obtenção do custo por m³ do efluente tratado conforme fluxograma apresentado na figura 16.

Tabela 12- Cálculo do efluente tratado.

| **Equipamento** | **P [kW]** | **t [h]** | **R$** |
|---|---|---|---|
| $C_S$ | 4 | 384 | 184,32 |
| $C_{B1}$ | 5,5 | 384 | 253,44 |
| $C_{B2}$ | 4 | 384 | 184,32 |
| **Produto Químico** | **Kg** | **R$/Kg** | **R$** |
| $C_{PQ}$ | 882 | 0,20 | 176,4 |
| | | Total | **798,48** |

| | |
|---|---|
| $C_{ee}$ [R$ $kWh^{-1}$] | 0,12 (Grupo A2 - 138kV). |
| Vazão bombeada [m³/mes] | 2918,4 |
| $C_{ET}$ [R$ $m^{3-1}$] | 0,27 |

# 6. ANÁLISE ECONÔMICA DAS OPÇÕES DE REÚSO.

Para determinar a melhor opção de aplicação do reúso de efluente tratado as alternativas serão avaliadas através de três métodos de análise de investimento (BERTOLO, 2013):

- *Payback* descontado;
- Valor presente líquido (VPL);
- Taxa interna de retorno (TIR)

O *payback* descontado é o tempo exato necessário para um investimento recuperar o capital investido inicialmente, considerando a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo (BERTOLO,2013).

$$FC_{(t)} = -A_0 + \sum_{j=1}^{t} \frac{A_j}{(1+i)^j} \quad \text{Eq. (10)}$$

(LAPPONI, 2007)

Onde:

FC(t) é o valor presente do capital, ou seja o fluxo de caixa descontado até o instante j;

$A_0$ é o investimento inicial;

Aj é a diferença entre custo e receita no período j;

i é a taxa de juros empregada;

j é o índice genérico que representa os períodos.

O valor presente líquido (VPL) é o método que analisa a atratividade dos investimentos em relação ao valor do investimento inicial trazendo o resultado para os dias atuais (UNEMAT, 2013).

$$VPL = \sum_{j=0}^{n} \frac{Aj}{(1+i)^j} \quad \text{Eq. (11)}$$

(LAPPONI, 2007)

Onde:

VPL é o valor presente líquido;

Aj é o fluxo de caixa no instante j;

i é a taxa de desconto;

j é o número de períodos considerados.

O cálculo da TIR está relacionada com o valor presente líquido. Consegue-se determinar o valor da TIR quando o VPL é zero, e o resultado retorna um valor em porcentagem que é a taxa máxima antes do VPL ficar negativo (UNEMAT, 2013).

$$VPL = 0 = \sum_{j=0}^{n} \frac{Aj}{(1+TIR)^j} \qquad \text{Eq. (12)}$$

(LAPPONI,2007)

### 6.1. Reúso para lavagem de pisos

A tabela 13 apresenta o *payback* descontado para as condições descritas neste item.

Tabela 13- *Payback* descontado alternativa 01.

| ANO | Custo AP | Custo ET | Fluxo de caixa | VPD | FCC |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | R$ 20.000,00 | | -R$ 20.000,00 | -R$ 20.000,00 | -R$ 20.000,00 |
| 1 | R$ 10.800,00 | R$ 3.888,00 | R$ 6.912,00 | R$ 6.283,64 | -R$ 13.716,36 |
| 2 | R$ 10.800,00 | R$ 3.888,00 | R$ 6.912,00 | R$ 5.712,40 | -R$ 8.003,97 |
| 3 | R$ 10.800,00 | R$ 3.888,00 | R$ 6.912,00 | R$ 5.193,09 | -R$ 2.810,88 |
| 4 | R$ 10.800,00 | R$ 3.888,00 | R$ 6.912,00 | R$ 4.720,99 | R$ 1.910,11 |
| 5 | R$ 10.800,00 | R$ 3.888,00 | R$ 6.912,00 | R$ 4.291,81 | R$ 6.201,92 |
| 6 | R$ 10.800,00 | R$ 3.888,00 | R$ 6.912,00 | R$ 3.901,64 | R$ 10.103,56 |
| 7 | R$ 10.800,00 | R$ 3.888,00 | R$ 6.912,00 | R$ 3.546,95 | R$ 13.650,51 |
| 8 | R$ 10.800,00 | R$ 3.888,00 | R$ 6.912,00 | R$ 3.224,50 | R$ 16.875,01 |
| 9 | R$ 10.800,00 | R$ 3.888,00 | R$ 6.912,00 | R$ 2.931,36 | R$ 19.806,37 |
| 10 | R$ 10.800,00 | R$ 3.888,00 | R$ 6.912,00 | R$ 2.664,88 | R$ 22.471,25 |

i = 10%

O objetivo desta alternativa é aplicar o efluente tratado na lavagem de pisos de todo o laminador. O investimento é baixo, pois com adequações pequenas de tubulações já existentes obtém-se a infra estrutura necessária.

O investimento estimado para essa alternativa é R$ 20.000,00. A alternativa será testada com relação a margem entre o custo da água potável, geralmente aplicada nas limpezas, e o custo do efluente tratado.

Para o tempo de uso foi considerado a vazão média de 2,5$m^3h^{-1}$ em dois turnos durante 24 dias por mês.

Com base na tabela 13 e interpolando os valores entre o ano 4 e 5, determina-se que o retorno será de 3,59 anos ou 3 anos e 7 meses.

O VPL encontrado no período de 10 anos para esse investimento foi de R$22.471,25, um bom resultado visto que o valor é superior a zero.

A TIR calculada para o mesmo período de 10 anos desta alternativa foi 10,6%, ou seja, superior que a taxa de desconto de 10% considerada.

Ao extrapolar esta mesma análise para uma siderúrgica que tenha o mesmo perfil de operação, e que compre água de empresas de saneamento como por exemplo, a SABESP que tem o custo médio de 6,00 R$ $m^{3-1}$. Obtém-se a tabela 14.

Tabela 14- *Payback* descontado custo SABESP alternativa 01.

| ANO | Custo AP | Custo ET | Fluxo de caixa | VPD | FCC |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | R$ 20.000,00 | | -R$ 20.000,00 | -R$ 20.000,00 | -R$ 20.000,00 |
| 1 | R$ 86.400,00 | R$ 3.888,00 | R$ 82.512,00 | R$ 75.010,91 | R$ 55.010,91 |
| 2 | R$ 86.400,00 | R$ 3.888,00 | R$ 82.512,00 | R$ 68.191,74 | R$ 123.202,64 |
| 3 | R$ 86.400,00 | R$ 3.888,00 | R$ 82.512,00 | R$ 61.992,49 | R$ 185.195,13 |
| 4 | R$ 86.400,00 | R$ 3.888,00 | R$ 82.512,00 | R$ 56.356,81 | R$ 241.551,94 |
| 5 | R$ 86.400,00 | R$ 3.888,00 | R$ 82.512,00 | R$ 51.233,46 | R$ 292.785,40 |
| 6 | R$ 86.400,00 | R$ 3.888,00 | R$ 82.512,00 | R$ 46.575,87 | R$ 339.361,27 |
| 7 | R$ 86.400,00 | R$ 3.888,00 | R$ 82.512,00 | R$ 42.341,70 | R$ 381.702,97 |
| 8 | R$ 86.400,00 | R$ 3.888,00 | R$ 82.512,00 | R$ 38.492,46 | R$ 420.195,43 |
| 9 | R$ 86.400,00 | R$ 3.888,00 | R$ 82.512,00 | R$ 34.993,14 | R$ 455.188,57 |
| 10 | R$ 86.400,00 | R$ 3.888,00 | R$ 82.512,00 | R$ 31.811,95 | R$ 487.000,52 |

i = 10%

Com a tabela 14 pode-se observar que o investimento nesta alternativa possui um *payback* de 3 meses, VPL positivo de R$487.000,52 e TIR de 366%.

### 6.2. Reúso para vasos sanitários e mictórios

O objetivo desta alternativa é aplicar o efluente tratado na descargas dos sanitários e mictórios de todo o laminador. O investimento é simples, porém necessita de algumas obras civis para adequar as tubulações dentro dos prédios.

O investimento estimado para essa alternativa é R$35.000,00. A alternativa será testada com relação a margem entre o custo da água potável, geralmente aplicada nas limpezas, e o custo do efluente tratado.

Para o tempo de uso foi considerado a vazão média de 4 $m^3h^{-1}$ em dois turnos durante 24 dias por mês.

A tabela 15 apresenta o *payback* descontado para as condições descritas acima.

Tabela 15- *Payback* descontado alternativa 02.

| ANO | Custo AP | Custo ET | Fluxo de caixa | VPD | FCC |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | R$ 35.000,00 | | -R$ 35.000,00 | -R$ 35.000,00 | -R$ 35.000,00 |
| 1 | R$ 17.280,00 | R$ 6.220,80 | R$ 11.059,20 | R$ 10.053,82 | -R$ 24.946,18 |
| 2 | R$ 17.280,00 | R$ 6.220,80 | R$ 11.059,20 | R$ 9.139,83 | -R$ 15.806,35 |
| 3 | R$ 17.280,00 | R$ 6.220,80 | R$ 11.059,20 | R$ 8.308,94 | -R$ 7.497,41 |
| 4 | R$ 17.280,00 | R$ 6.220,80 | R$ 11.059,20 | R$ 7.553,58 | R$ 56,18 |
| 5 | R$ 17.280,00 | R$ 6.220,80 | R$ 11.059,20 | R$ 6.866,89 | R$ 6.923,07 |
| 6 | R$ 17.280,00 | R$ 6.220,80 | R$ 11.059,20 | R$ 6.242,63 | R$ 13.165,70 |
| 7 | R$ 17.280,00 | R$ 6.220,80 | R$ 11.059,20 | R$ 5.675,12 | R$ 18.840,82 |
| 8 | R$ 17.280,00 | R$ 6.220,80 | R$ 11.059,20 | R$ 5.159,20 | R$ 24.000,02 |
| 9 | R$ 17.280,00 | R$ 6.220,80 | R$ 11.059,20 | R$ 4.690,18 | R$ 28.690,20 |
| 10 | R$ 17.280,00 | R$ 6.220,80 | R$ 11.059,20 | R$ 4.263,80 | R$ 32.954,00 |

i = 10%

Com base na tabela 15 determina-se que o retorno será de 3,99 anos ou 3 anos e 11 meses.

O VPL encontrado no período de 10 anos para esse investimento foi de R$32.954,00. Conclui-se que seja um bom investimento visto que o valor é superior a zero.

A TIR calculada para esse investimento foi de 5,73%, ou seja, menor que a taxa de desconto considerada de 10%.

Ao extrapolar esta mesma análise para uma siderúrgica que tenha o mesmo perfil de operação, e que compre água de empresas de saneamento como por exemplo, a SABESP que tem o custo médio de 6,00 R$ $m^{3-1}$. Obtém-se a tabela 16.

Com a tabela 16 pode-se observar que o investimento nesta alternativa possui um *payback* de 3,5 meses, VPL positivo de R$776.200,83 e TIR de 334%.

Tabela 16- *Payback* descontado custo SABESP alternativa 02.

| ANO | Custo AP | Custo ET | Fluxo de caixa | VPD | FCC |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | R$ 35.000,00 | | -R$ 35.000,00 | -R$ 35.000,00 | -R$ 35.000,00 |
| 1 | R$ 138.240,00 | R$ 6.220,80 | R$ 132.019,20 | R$ 120.017,45 | R$ 85.017,45 |
| 2 | R$ 138.240,00 | R$ 6.220,80 | R$ 132.019,20 | R$ 109.106,78 | R$ 194.124,23 |
| 3 | R$ 138.240,00 | R$ 6.220,80 | R$ 132.019,20 | R$ 99.187,98 | R$ 293.312,21 |
| 4 | R$ 138.240,00 | R$ 6.220,80 | R$ 132.019,20 | R$ 90.170,89 | R$ 383.483,10 |
| 5 | R$ 138.240,00 | R$ 6.220,80 | R$ 132.019,20 | R$ 81.973,54 | R$ 465.456,64 |
| 6 | R$ 138.240,00 | R$ 6.220,80 | R$ 132.019,20 | R$ 74.521,40 | R$ 539.978,03 |
| 7 | R$ 138.240,00 | R$ 6.220,80 | R$ 132.019,20 | R$ 67.746,72 | R$ 607.724,76 |
| 8 | R$ 138.240,00 | R$ 6.220,80 | R$ 132.019,20 | R$ 61.587,93 | R$ 669.312,69 |
| 9 | R$ 138.240,00 | R$ 6.220,80 | R$ 132.019,20 | R$ 55.989,03 | R$ 725.301,72 |
| 10 | R$ 138.240,00 | R$ 6.220,80 | R$ 132.019,20 | R$ 50.899,12 | R$ 776.200,83 |

i = 10%

### 6.3. Reúso para resfriamento de escória

A tabela 17 apresenta o *payback* descontado para as condições descritas neste item.

Tabela 17- *Payback* descontado alternativa 03.

| ANO | Custo AB | Custo ET | Fluxo de caixa | VPD | FCC |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | R$ 15.000,00 | | -R$ 15.000,00 | -R$ 15.000,00 | -R$ 15.000,00 |
| 1 | R$ 18.385,92 | R$ 14.561,28 | R$ 3.824,64 | R$ 3.476,95 | -R$ 11.523,05 |
| 2 | R$ 18.385,92 | R$ 14.561,28 | R$ 3.824,64 | R$ 3.160,86 | -R$ 8.362,20 |
| 3 | R$ 18.385,92 | R$ 14.561,28 | R$ 3.824,64 | R$ 2.873,51 | -R$ 5.488,69 |
| 4 | R$ 18.385,92 | R$ 14.561,28 | R$ 3.824,64 | R$ 2.612,28 | -R$ 2.876,41 |
| 5 | R$ 18.385,92 | R$ 14.561,28 | R$ 3.824,64 | R$ 2.374,80 | -R$ 501,61 |
| 6 | R$ 18.385,92 | R$ 14.561,28 | R$ 3.824,64 | R$ 2.158,91 | R$ 1.657,30 |
| 7 | R$ 18.385,92 | R$ 14.561,28 | R$ 3.824,64 | R$ 1.962,65 | R$ 3.619,95 |
| 8 | R$ 18.385,92 | R$ 14.561,28 | R$ 3.824,64 | R$ 1.784,22 | R$ 5.404,17 |
| 9 | R$ 18.385,92 | R$ 14.561,28 | R$ 3.824,64 | R$ 1.622,02 | R$ 7.026,19 |
| 10 | R$ 18.385,92 | R$ 14.561,28 | R$ 3.824,64 | R$ 1.474,56 | R$ 8.500,76 |

i = 10%

O objetivo desta alternativa é aplicar o efluente tratado no resfriamento de escória no pátio de tratamento de escória da industria estudada.

O investimento é simples, necessita apenas de uma tubulação que abastecerá o tanque principal de distribuição de água do pátio. O investimento estimado para essa alternativa é R$15.000,00. A alternativa será testada com relação a margem entre o custo da água bruta, geralmente aplicada no resfriamento, e o custo do efluente sem tratamento, ou seja, apenas custo do bombeamento.

Para o tempo de uso foi considerado a vazão média de 10 $m^3h^{-1}$ em dois turnos durante 24 dias por mês.

A tabela 17 apresenta o *payback* descontado para as condições descritas acima.

Com base na tabela 17, determina-se que o retorno será de 5,23 anos ou 5 anos e 2 meses.

O VPL encontrado no período de 10 anos para esse investimento foi de R$8.500,76. Conclui-se que seja um bom investimento visto que o valor é superior a zero.

A TIR calculada para esse investimento foi 6,78 % (negativo), como a TIR só aceita valores positivos e a ferramenta utilizada (excel) retornou este valor entende-se que não existe solução financeira para o fluxo de caixa apresentado na tabela 17.

Ao extrapolar esta mesma análise para uma siderúrgica que tenha o mesmo perfil de operação, e que compre água de empresas de saneamento como por exemplo, a SABESP que tem o custo médio de 6,00 R$ $m^{3-1}$. Obtém-se a tabela 18.

Tabela 18- *Payback* descontado custo SABESP alternativa 03.

| ANO | Custo AB | Custo ET | Fluxo de caixa | VPD | FCC |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | R$ 15.000,00 | | -R$ 15.000,00 | -R$ 15.000,00 | -R$ 15.000,00 |
| 1 | R$ 262.656,00 | R$ 94.763,52 | R$ 167.892,48 | R$ 152.629,53 | R$ 137.629,53 |
| 2 | R$ 262.656,00 | R$ 94.763,52 | R$ 167.892,48 | R$ 138.754,12 | R$ 276.383,64 |
| 3 | R$ 262.656,00 | R$ 94.763,52 | R$ 167.892,48 | R$ 126.140,11 | R$ 402.523,75 |
| 4 | R$ 262.656,00 | R$ 94.763,52 | R$ 167.892,48 | R$ 114.672,82 | R$ 517.196,57 |
| 5 | R$ 262.656,00 | R$ 94.763,52 | R$ 167.892,48 | R$ 104.248,02 | R$ 621.444,59 |
| 6 | R$ 262.656,00 | R$ 94.763,52 | R$ 167.892,48 | R$ 94.770,93 | R$ 716.215,52 |
| 7 | R$ 262.656,00 | R$ 94.763,52 | R$ 167.892,48 | R$ 86.155,39 | R$ 802.370,91 |
| 8 | R$ 262.656,00 | R$ 94.763,52 | R$ 167.892,48 | R$ 78.323,08 | R$ 880.693,99 |
| 9 | R$ 262.656,00 | R$ 94.763,52 | R$ 167.892,48 | R$ 71.202,80 | R$ 951.896,79 |
| 10 | R$ 262.656,00 | R$ 94.763,52 | R$ 167.892,48 | R$ 64.729,82 | R$ 1.016.626,61 |

i = 10%

Com a tabela 18 pode-se observar que o investimento nesta alternativa possui um *payback* de 1,2 meses, VPL positivo de R$1.016.626,61 e TIR de 1008%.

### 6.4. Reúso para recarga do sistema

O objetivo desta alternativa é aplicar o efluente tratado no resfriamento de escória no pátio de escória da planta. O investimento é simples, necessita apenas de uma tubulação que abastecerá o tanque principal de distribuição de água do pátio.

O investimento estimado para essa alternativa é R$380.000,00. A alternativa será testada com relação a margem entre o custo da água clarificada, e o custo do efluente tratado por osmose reversa.

Para o tempo de uso foi considerado a vazão média de 21 $m^3h^{-1}$ em dois turnos durante 24 dias por mês, sendo 5$m^3$ $m^3h^{-1}$ considerados como reúso e 16$m^3$ $m^3h^{-1}$ considerados como água clarificada.

A tabela 19 apresenta o *payback* descontado para as condições descritas acima.

Tabela 19- *Payback* descontado alternativa 04.

| ANO | Custo AP | Custo ET | Fluxo de caixa | VPD | FCC |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | R$ 380.000,00 | | -R$ 380.000,00 | -R$ 380.000,00 | -R$ 380.000,00 |
| 1 | R$ 72.576,00 | R$ 63.072,00 | R$ 9.504,00 | R$ 8.640,00 | -R$ 371.360,00 |
| 2 | R$ 72.576,00 | R$ 63.072,00 | R$ 9.504,00 | R$ 7.854,55 | -R$ 363.505,45 |
| 3 | R$ 72.576,00 | R$ 63.072,00 | R$ 9.504,00 | R$ 7.140,50 | -R$ 356.364,96 |
| 4 | R$ 72.576,00 | R$ 63.072,00 | R$ 9.504,00 | R$ 6.491,36 | -R$ 349.873,60 |
| 5 | R$ 72.576,00 | R$ 63.072,00 | R$ 9.504,00 | R$ 5.901,24 | -R$ 343.972,36 |
| 6 | R$ 72.576,00 | R$ 63.072,00 | R$ 9.504,00 | R$ 5.364,76 | -R$ 338.607,60 |
| 7 | R$ 72.576,00 | R$ 63.072,00 | R$ 9.504,00 | R$ 4.877,05 | -R$ 333.730,55 |
| 8 | R$ 72.576,00 | R$ 63.072,00 | R$ 9.504,00 | R$ 4.433,69 | -R$ 329.296,86 |
| 9 | R$ 72.576,00 | R$ 63.072,00 | R$ 9.504,00 | R$ 4.030,62 | -R$ 325.266,24 |
| 10 | R$ 72.576,00 | R$ 63.072,00 | R$ 9.504,00 | R$ 3.664,20 | -R$ 321.602,03 |

i = 10%

Com base na tabela 16 nota-se que o projeto não se paga.

O VPL encontrado no período de 10 anos para esse investimento foi de R$321.602,03 (negativo). Conclui-se que seja um investimento sem retorno, visto que o valor é inferior a zero.

Não foi possível calcular a TIR, por não existir valores positivos no fluxo de caixa.

Ao extrapolar esta mesma análise para uma siderúrgica que tenha o mesmo perfil de operação, e que compre água de empresas de saneamento como por exemplo, a SABESP que tem o custo médio de 6,00 R$ $m^{3-1}$. Obtém-se a tabela 20.

Com a tabela 20 pode-se observar que o investimento nesta alternativa possui um *payback* de 2,9 meses, VPL positivo de R$634.001,04 e TIR de 23%.

Tabela 20- *Payback* descontado custo SABESP alternativa 04.

| ANO | Custo AP | Custo ET | Fluxo de caixa | VPD | FCC |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | R$ 380.000,00 | | -R$ 380.000,00 | -R$ 380.000,00 | -R$ 380.000,00 |
| 1 | R$ 725.760,00 | R$ 560.736,00 | R$ 165.024,00 | R$ 150.021,82 | -R$ 229.978,18 |
| 2 | R$ 725.760,00 | R$ 560.736,00 | R$ 165.024,00 | R$ 136.383,47 | -R$ 93.594,71 |
| 3 | R$ 725.760,00 | R$ 560.736,00 | R$ 165.024,00 | R$ 123.984,97 | R$ 30.390,26 |
| 4 | R$ 725.760,00 | R$ 560.736,00 | R$ 165.024,00 | R$ 112.713,61 | R$ 143.103,88 |
| 5 | R$ 725.760,00 | R$ 560.736,00 | R$ 165.024,00 | R$ 102.466,92 | R$ 245.570,80 |
| 6 | R$ 725.760,00 | R$ 560.736,00 | R$ 165.024,00 | R$ 93.151,75 | R$ 338.722,54 |
| 7 | R$ 725.760,00 | R$ 560.736,00 | R$ 165.024,00 | R$ 84.683,41 | R$ 423.405,95 |
| 8 | R$ 725.760,00 | R$ 560.736,00 | R$ 165.024,00 | R$ 76.984,91 | R$ 500.390,86 |
| 9 | R$ 725.760,00 | R$ 560.736,00 | R$ 165.024,00 | R$ 69.986,29 | R$ 570.377,15 |
| 10 | R$ 725.760,00 | R$ 560.736,00 | R$ 165.024,00 | R$ 63.623,90 | R$ 634.001,04 |

i = 10%

### 6.5. Análise dos resultados

Baseando- se na tabela 21, pode-se dizer que os investimentos 1 e 2 são viáveis, simplesmente aproveitando o sistema de tratamento de efluentes da estação estudada. O tratamento é uma adequação dos parâmetros para o descarte no corpo receptor, ou seja, o sistema de tratamento existente necessita de poucas alterações para ser aplicado dentro do conceito de reúso.

Tabela 21- Resumo dos retornos dos investimentos.

| Alternativas de reúso | INVEST. [R$] | PAYBACK [ANOS] | VPL [R$] | TIR [%] |
|---|---|---|---|---|
| 1 - Lavagem de piso | 20.000,00 | 3a 7m | 22.471,25 | 10,60% |
| 2 - Sanitários e mictórios | 35.000,00 | 3a 11m | 32.954,00 | 5,73% |
| 3 - Resfriamento de escória | 15.000,00 | 5a 2m | 8.500,76 | N.A. |
| 4 - Recarga da ETA | 380.000,00 | N.A. | -321.602,03 | N.A. |

A opção 1 apresentou o melhor *payback*, segundo melhor VPL e a melhor TIR, dentro das três métodos de análise este investimento deve ser aceito.

A opção 02 apresentou o segundo melhor *payback*, o melhor VPL, porém a TIR não apresentou valor maior que a taxa de retorno adotada de 10%. Pode-se aceitar este investimento desconsiderando a TIR, pois este método não consegue selecioná-lo como opção viável.

O opção 3 que não precisa de tratamento e devido grande demanda de água para resfriamento de escória se mostrou uma opção aceitável, visto que foi o terceiro melhor *payback* e VPL. Ao calcular a TIR usando o excel como ferramenta nota-se que o valor informado é 6,78% (negativo) como o a TIR é um resultado financeiro que não aceita valores menores que zero, pode-se entender que esse método não pode selecionar a alternativa como viável.

Na alternativa 4 que demanda maior capital investido, ao ser avaliado nos três métodos propostos pode-se verificar que em nenhum deles se tornou viável. O VPL foi negativo, não existe *payback*, como também não há TIR.

Neste ponto para o investimento se tornar viável depende de alguma alteração no cenário, como por exemplo, o aumento substancial das tarifas cobradas pelo uso da água. Esse fato pode não demorar muito para ocorrer devido a contínua preocupação dos governos com relação a sustentabilidade, que busca o melhor desenvolvimento social, econômico e ambiental. Uma alternativa para essas situações são que os projetos de ampliações de produções já nasçam com os conceitos de reúso. Somente assim as alternativas potenciais de reúso poderão ser implantadas sem grandes dificuldades.

Os custos de água tratada pela própria siderúrgica que ficou em torno de R$0,75 $m^{3-1}$ mostrou ser uma boa opção visto que a SABESP cobra em torno de R$6,00 $m^{3-1}$ da água potável na região do Vale do Paraíba. Esse valor pode variar entre empresas devido a contratos específicos (SABESP, 2013).

O custo da SABESP comparado com o praticado dentro da empresa mostrou-se 8 vezes maior, fato que reforça a dificuldade de viabilizar projetos de reúso com tecnologias caras, como é o caso de osmose reversa. Porém ao avaliar a tabela 22 nota-se que todos os investimentos seriam aceitos por todos os métodos de análise de viabilidade proposto neste trabalho. Ao avaliar somente a opção 04 que trata de reabastecer o sistema, nota-se que o investimento é aceito com *payback* menor que 3 anos, VPL acima de 630.000,00 e TIR de 23%, o dobro da taxa considerada de 10%, ou seja, um investimento facilmente aceito com excelente viabilidade.

Tabela 22- Resumo dos retornos dos investimentos custo SABESP.

| **Alternativas de reúso** | **INVEST. [R$]** | **PAYBACK [ANOS]** | **VPL [R$]** | **TIR [%]** |
|---|---|---|---|---|
| 1 - Lavagem de piso | 20.000,00 | 3m | 487.000,52 | 366% |
| 2 - Sanitários e mictórios | 35.000,00 | 3,5m | 776.200,83 | 334% |
| 3 - Resfriamento de escória | 15.000,00 | 1,2m | 1.016.626,61 | 1008% |
| 4 - Recarga da ETA | 380.000,00 | 2a 9m | 634.001,04 | 23% |

# 7. CONCLUSÕES

Dentro do contexto deste trabalho foi possível entender as restrições de lançamento de efluentes em corpos receptores, como por exemplo os rios. Outro ponto abordado foi a gestão da Bacia do Rio Paraíba do Sul que estipulou uma taxa pela captação da água do rio, onde considera-se o pagamento não somente da água captada mais também o efluente descartado.

Conclui-se que o sistema de tratamento de efluente é adequado para atender aos parâmetros de efluente para descarte. Visto que atende ao decreto 8.468/1976 e as resoluções do CONAMA 357/2005 e 430/2011.

Com relação aos pontos considerados como possibilidade de reúso do efluente tratado notou-se que as soluções simples são as mais adequadas devido ao custo efetivo dos diversos tipos de águas aplicadas na siderúrgica.

A opção 01, que trata de limpezas de piso do laminador, é a que traz o maior benefício, visto que atingiu a melhor avaliação nos três métodos de viabilidade econômica adotado neste trabalho e que essa prática é necessária no processo e geralmente, a água potável é aplicada para esse fim. Com o uso do efluente tratado pode-se colocar em prática o conceito de aplicar água menos nobre nos sistemas que não exigem alta qualidade.

Com a análise de viabilidade econômica aplicada a estes possíveis pontos de reúso pode-se entender os desafios que todas as empresas enfrentam para conseguir implantar investimentos de reúso. Nota-se que os investimentos maiores com tratamentos mais finos são elevados e geralmente não apresentam retorno. O que tem auxiliado para que muitos projetos saiam do papel, são restrições impostas por órgãos de controle como por exemplo a CETESB.

Ao simular os mesmos investimentos em uma siderúrgica que compre a água de uma empresa de saneamento, pode-se notar que todos os investimentos se tornam viáveis e de fácil retorno, incluindo a alternativa de maior investimento como é o caso da opção 04 que trata a água com o processo de osmose reversa para reabastecimento do próprio sistema.

# REFERÊNCIAS

ACQUAAMBIENTE, **Tratamento de águas potáveis.** 2004. Disponível em < http://mariobola.com/home/wp-content/uploads/2011/09/AquaAmbiente-Tratamento-de-%C0 3 %8 1gua- Pot%C3%A1vel.pdf > Acesso em 10/Set/2013.

BELLO, A. R. C. **Obtenção de Água de Reúso para Indústria Metalúrgica Mediante Tratamento Microbiológico e Físico-Químico** 2006. 131f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro 2006.

BETZDEARBORN. **Tratamento de águas industriais.** Apostila. [São Paulo]: [s.n.], 1999.

BERTOLO. ***Payback***. Disponível em: <http://bertolo.pro.br/AdminFin/AnalInvest/PAY% 20 BACK.pdf> Acesso em 17/Set/2013.

BORDONALLI, A. C .O. MENDES, C. G. N. **Reúso de Água em Indústria de Reciclagem de Plástico Tipo PEAD.** Eng. Sanit. Ambient. Vol 04 Nº 02, 2009 235-244p.

BRAGA, B. et al **Introdução à engenharia ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRITO,L.T. SILVA,A.S. PORTO,E.R. **Disponibilidade de água e a gestão de recursos hídricos.** Apostila. Disponível em <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA /36533/1/ OPB1514.pdf.> Acesso em 19/Ago/2013.

CETESB, **Decreto 8.468/76 prevenção e controle da poluição do meio ambiente.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf> Acesso em 29/07/2013.

CETESB, **Demanda bioquímica de oxigênio.** Disponível em: <http://www.cetesb .sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis_qui micas /demanda_bioquimica_de_oxigenio.pdf> Acesso em 29/09/2013.

CETEL. **Central de tratamento de efluentes líquidos, complexo automotivo GM**. Disponível em: <http://www2.corsan.com.br/sitel/www/?page_id=62> Acesso em 05/10/2013.

CETREL LUMINA. **Reúso de água.** 2007 Disponível em : < http://scholar. google.com.br /scholar_url?hl=pt-BR&q=http://files.engenharia-ambiental.webnode.com/200000293-333bc3435 c/Re%25C3%25BAso%2520de%2520%25C3%2581gua-Maiza%2520Ferreira%2520Santos.pdf> Acesso em 15/09/2013.

CONAMA, **Resolução 430/11.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama /legiabre.cfm?codlegi=646> Acesso em 29/07/2013.

CONAMA, **Resolução 357/05.** Disponível em : <http://www.mma.gov.br/port/conama /res/res05/res35705.pdf> Acesso em 29/07/2013.

FILHO, D. B. MANCUSO, P. C. S. **Conceito de reúso de água** In:MANCUSO, P. C. S. SANTOS, H. F. **Reúso de Água.** Barueri: Manole, 2003. cap. 2, p. 21-36.

GIORDANO, G. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais.** Rio de Janeiro, 2005 Disponível em :<http://xa.yimg.com/kq/groups/24138517/1421219182/name/Apostila++ Tratamento+de+efluentes+industriais.pdf>. Acesso em 03.Ago.2013.

HS OSMOSE REVERSA. **Osmose Reversa.** Disponível em: <http://www.hsosmosereversa.com.br/osmose-reversa.php>. Acesso em 03/11/2013.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Sustentabilidade.** Disponível em: < http://www. acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/relatorio.asp>. Acesso em 05/09/2013.

KORPER. **Torres de Resfriamento.** 2013. Disponível em: < http://www.korper.com.br/produtos_cat.php?categoria=Resfriadores%20de%20Circuito%20Fechado%20a%20%C3%81gua> Acesso em 29/09/2013.

LAPPONI, J.C. **Projetos de investimento na empresa.** 3ª. ed Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

MACHADO, I.M. **Tratamento terciário de efluentes de estações de tratamento por lodo ativado para fins de reúso como reposição em torres de resfriamento.** 2005. 145f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, ENSP. 2005.

MERÇON, F. et al. **Corrosão: um exemplo usual do fenômeno químico.** 2004. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a04.pdf>. Acesso em 15/11/2013.

METALOMARÃO. **Clarificadores.** 2013. Disponível em: <http://www.metalomarao .pt/clarificadores.html> Acesso em 29/09/2013.

MIERZWA, J. C. HESPANHOL, I. **Água na indústria uso racional e reúso.** São Paulo: Oficina de textos, 2005 143 p.

MORAES, P. B. **Desinfecção.** Apostila Unicamp. Campinas, 2013. Disponível em < http://webensino.unicamp.br/disciplinas/ST502-293205/apoio/7/Clora__o_e_UV_parte1_alu nos.pdf> Acesso em 15/Set/2013.

OENNING JR, A. PAWLOWSKY, U. **Avaliação de Tecnologias Avançadas para Reúso de água em Indústria Metal-Mecânica.** Eng. Sanit. Ambient. Vol 12 Nº 03, 2007 305-316p.

PARQUES SUSTENTÁVEIS. **Água de reúso.** 2013. Disponível em: <http://parquessustentaveis.blogspot.com.br/2013/01/aquapolo-ambiental.html> Acesso em 29/09/2013.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA **Tratamento de água.** Artigo. Disponível em : <http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=97&topico=644>. Acesso em 15/Ago/2013.

QUÍMICA AMBIENTAL USP, **Tratamento de água.** São Paulo, 2013. Disponível em < http://www.usp.br/qambiental/tratamentoAgua.html#tratamento > Acesso em 11/Set/2013.

REALI, M. A. P. et al. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.** 1. ed. Rio de Janeiro: Abes, 1999 250 p.

RIBEIRO, L.M. DE LUCA, S.J. **Tratamento de águas por filtração por membranas. Estado da arte**. Porto Alegre 1998

ROCHA, J. C. ROSA, A. H. CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009 256 p.

SABESP, **Tabelas tarifárias.** São Paulo, 2013 Disponível em <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=183> Acesso em 08/Set/2013.

SANTOS, G. R. **Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, A. B. **Reúso de efluentes no processo industrial de siderurgia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, 2014.

SOARES FILHO, A. **Racionalização do Uso da Água Potável e Reúso de Efluentes Líquidos em Plantas Siderúrgicas de Ferro Ligas: O Caso da Rio Doce Manganês.** 2008. 130f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no processo Produtivo). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia Salvador 2008.

UNEMAT. **Valor presente líquido**. disponível em:<http://www2.unemat.br/eugenio/files_planilha/8_vpl.htm> Acesso em 17/09/2013.

UNESCO. **World water resources at the beginning of the 21st century.** 2003. Disponível em: <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/summary/html/summary.html#Introduction> Acesso em 29/07/2013.

VITORATTO, E. PALUDETTO, J. O. **Reúso de água na indústria.** Artigo. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/informativomat_485>. Acesso em 03/08/2013.

WATERWORKS. **Processo de osmose reversa**. 2013. Disponível em: <http://www.waterworks.com.br/tecnologia.php> Acesso em: 05/10/2013.

WEBER, C. C. CYBIS, L. F. BEAL, L.L. **Reúso da Água como Ferramenta de Revitalização de uma Estação de Tratamento de Efluentes** Eng. Sanit. Ambient. Vol 15 Nº 02, 2010 119-128p.

WERJEN. **Centrifugal decanter.** 2013. Disponível em: <http://werjen.com.br/centrifuga-decanter/> Acesso em 05/10/2013.

WIKIPÉDIA. **Torres de Resfriamento.** 2013. Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Torre_de_resfriamento> Acesso em 29/09/2013.

YETE. **Tratamento de água.** 2013. Disponível em: <http://www.yete.com.br/yete/index.php?option=com_content&view=article&id=79&Itemid=162> Acesso em: 05/10/2013.

# ANEXO A - Estimativa de custo alternativa 01.

**ESTIMATIVA DE CUSTO**

**PROJETO:** Reúso de Água
**Opção :** 1 Lavagem de piso.
**Estimativa:** Anderson Baptista
**Data Emissão:** 20 fevereiro, 2014

| ITEM | DESCRIÇÃO | | | CUSTO | ITEM | DESCRIÇÃO | | | CUSTO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.0** | **INSTRUMENTAÇÃO** | **Quant.** | **Preço Unitário** | **R$ 0,00 $0** | **6.0** | **JATO E PINTURA MÃO DE OBRA** | **Quant.** | **Preço Unitário** | **R$ 1.009,39 $421** |
| 1.1 | | | | | 6.1 | Tubulações DN 2" SCH40 (m²) | 95,00 | 8,50 | 807,51 |
| 1.2 | | | | | 6.2 | Suportes Viga U 4" (m²) | 23,75 | 8,50 | 201,88 |
| 1.3 | | | | | 6.3 | | | | |
| 1.4 | | | | | 6.4 | | | | |
| 1.5 | | | | | 6.5 | | | | |
| 1.6 | | | | | 6.6 | | | | |
| 1.7 | | | | | 6.7 | | | | |
| **2.0** | **VÁLVULAS** | | | **R$ 250,00 $104** | **7.0** | **MATERIAIS SUPORTES** | | | **R$ 2.094,38 $873** |
| 2.1 | Válvulas borboleta DN 2"150# (un) | 2,00 | 125,00 | 250,00 | 7.1 | Viga I 4" A36 (pçs) | 25,00 | 40,20 | 1.005,00 |
| 2.2 | | | | | 7.2 | Chapa 1/2" x 250 x 250 = 50pçs (m²) | 1,56 | 697,20 | 1.089,38 |
| 2.3 | | | | - | 7.3 | | | | |
| 2.4 | | | | | 7.4 | | | | |
| 2.5 | | | | | 7.5 | | | | |
| **3.0** | **ELÉTRICA** | | | **R$ 0,00 $0** | **8.0** | **MONTAGEM MÃO-DE-OBRA MECÂNICA** | | | **R$ 8.780,00 $3.658** |
| 3.1 | | | | | 8.1 | Tubulação água (300m) | 300,00 | 27,60 | 8.280,00 |
| 3.2 | | | | | 8.2 | Montagem suportes (25pçs) | 25,00 | 20,00 | 500,00 |
| 3.3 | | | | | 8.3 | | | | |
| 3.4 | | | | | 8.4 | | | | |
| 3.5 | | | | | 8.5 | | | | |
| 3.6 | | | | | 8.6 | | | | |
| **4.0** | **OBRAS CIVIS** | | | **R$ 0,00 $0** | **9.0** | **MATERIAIS DE TUBULAÇÕES** | | | **R$ 8.096,00 $3.373** |
| 4.1 | | | | | 9.1 | Tubulação 2" SCH40 A106 GrB | 1.600,00 | 4,60 | 7.360,00 |
| 4.2 | | | | | 9.2 | Acessórios (10%) | 1,00 | 736,00 | 736,00 |
| 4.3 | | | | | 9.3 | | | | |
| 4.4 | | | | | 9.4 | | | | |
| 4.5 | | | | | 9.5 | | | | |
| 4.6 | | | | | 9.6 | | | | |
| 4.7 | | | | | 9.7 | | | | |
| **5.0** | **APOIO ANDAIMES / GUINCHOS CAMINHÃO P/ TRANSPORTES** | | | **R$ 0,00 $0** | **10.0** | **BOMBAS** | | | **R$ 0,00 $0** |
| 5.1 | | | | - | 10.1 | | | | - |
| 5.2 | | | | - | 10.2 | | | | |
| 5.3 | | | | | 10.3 | | | | |
| 5.4 | | | | | 10.4 | | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Total Mecânica** | **R$ 19.980** | **T O T A L** | **R$ 20.230** |
| **Total Elétrica** | **R$ 0** | | **$8.429** |
| **Total Instrumentação/ Válvulas** | **R$ 250** | **Engenharia** | |
| **Total Civil** | **R$ 0** | | |
| **Total Apoio de Carga** | **R$ 0** | **TOTAL GERAL** | **R$ 20.230** |
| **Cotação do Dolar** | **2,40** | | **$8.429** |

# ANEXO B - Estimativa de custo alternativa 02.

**ESTIMATIVA DE CUSTO**

**PROJETO:** Reúso de Água
**Opção :** 2 Sanitários e mictórios.
**Estimativa:** Anderson Baptista
**Data Emissão:** 20 fevereiro, 2014

| ITEM | DESCRIÇÃO | | | CUSTO | ITEM | DESCRIÇÃO | | | CUSTO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.0** | **INSTRUMENTAÇÃO** | **Quant.** | **Preço Unitário** | **R$ 0.00 $0** | **6.0** | **JATO E PINTURA MÃO DE OBRA** | **Quant.** | **Preço Unitário** | **R$ 841.16 $350** |
| 1.1 | | | | | 6.1 | Tubulações DN 2" SCH40 (m²) | 79,17 | 8,50 | 672,93 |
| 1.2 | | | | | 6.2 | Suportes Viga U 4" (m²) | 19,79 | 8,50 | 168,23 |
| 1.3 | | | | | 6.3 | | | | |
| 1.4 | | | | | 6.4 | | | | |
| 1.5 | | | | | 6.5 | | | | |
| 1.6 | | | | | 6.6 | | | | |
| 1.7 | | | | | 6.7 | | | | |
| **2.0** | **VÁLVULAS** | | | **R$ 250,00 $104** | **7.0** | **MATERIAIS SUPORTES** | | | **R$ 1.675,50 $698** |
| 2.1 | Válvulas borboleta DN 2"150# (un) | 2,00 | 125,00 | 250,00 | 7.1 | Viga I 4" A36 (pçs) | 20,00 | 40,20 | 804,00 |
| 2.2 | | | | | 7.2 | Chapa 1/2" x 250 x 250 = 50pçs (m²) | 1,25 | 697,20 | 871,50 |
| 2.3 | | | | - | 7.3 | | | | |
| 2.4 | | | | | 7.4 | | | | |
| 2.5 | | | | | 7.5 | | | | |
| **3.0** | **ELÉTRICA** | | | **R$ 0.00 $0** | **8.0** | **MONTAGEM MÃO-DE-OBRA MECÂNICA** | | | **R$ 7.300.00 $3.042** |
| 3.1 | | | | | 8.1 | Tubulação de água (250m) | 250,00 | 27,60 | 6.900,00 |
| 3.2 | | | | | 8.2 | Montagem suportes (20pçs) | 20,00 | 20,00 | 400,00 |
| 3.3 | | | | | 8.3 | | | | |
| 3.4 | | | | | 8.4 | | | | |
| 3.5 | | | | | 8.5 | | | | |
| 3.6 | | | | | 8.6 | | | | |
| **4.0** | **OBRAS CIVIS** | | | **R$ 17.439,00 $7.266** | **9.0** | **MATERIAIS DE TUBULAÇÕES** | | | **R$ 5.494,50 $2.289** |
| 4.1 | Modificações em 5 banheiros | 1,00 | 17.439,00 | 17.439,00 | 9.1 | Tubulação 2" SCH40 A106 GrB | 1.110,00 | 4,50 | 4.995,00 |
| 4.2 | | | | | 9.2 | Acessórios (10%) | 1,00 | 499,50 | 499,50 |
| 4.3 | | | | | 9.3 | | | | |
| 4.4 | | | | | 9.4 | | | | |
| 4.5 | | | | | 9.5 | | | | |
| 4.6 | | | | | 9.6 | | | | |
| 4.7 | | | | | 9.7 | | | | |
| **5.0** | **APOIO ANDAIMES / GUINCHOS CAMINHÃO P/** | | | **R$ 1.600,00 $667** | **10.0** | **BOMBAS** | | | **R$ 0,00 $0** |
| 5.1 | PTA - Plataforma elevatória (mês). | 1,00 | 1.600,00 | 1.600,00 | 10.1 | | | | - |
| 5.2 | | | | - | 10.2 | | | | |
| 5.3 | | | | | 10.3 | | | | |
| 5.4 | | | | | 10.4 | | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Total Mecânica** | **R$ 15.311** | **TOTAL** | **R$ 34.600** |
| **Total Elétrica** | **R$ 0** | | **$14.417** |
| **Total Instrumentação/ Válvulas** | **R$ 250** | **Engenharia** | |
| **Total Civil** | **R$ 17.439** | **TOTAL GERAL** | |
| **Total Apoio de Carga** | **R$ 1.600** | | **R$ 34.600** |
| **Cotação do Dolar** | **2,40** | | **$14.417** |

# ANEXO C - Estimativa de custo alternativa 03.

**ESTIMATIVA DE CUSTO**

**PROJETO:** Reúso de Água
**Alternativa :** 3 Resfriamento de escória.
**Estimativa:** Anderson Baptista
**Data Emissão:** 20 fevereiro, 2014

| ITEM | DESCRIÇÃO | | | CUSTO | ITEM | DESCRIÇÃO | | | CUSTO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.0** | **INSTRUMENTAÇÃO** | **Quant.** | **Preço Unitário** | **R$ 0,00 $0** | **6.0** | **JATO E PINTURA MÃO DE OBRA** | **Quant.** | **Preço Unitário** | **R$ 841,16 $350** |
| 1.1 | | | | | 6.1 | Tubulações DN 2" SCH40 (m²) | 79,17 | 8,50 | 672,93 |
| 1.2 | | | | | 6.2 | Suportes Viga U 4" (m²) | 19,79 | 8,50 | 168,23 |
| 1.3 | | | | | 6.3 | | | | |
| 1.4 | | | | | 6.4 | | | | |
| 1.5 | | | | | 6.5 | | | | |
| 1.6 | | | | | 6.6 | | | | |
| 1.7 | | | | | 6.7 | | | | |
| **2.0** | **VÁLVULAS** | | | **R$ 250,00 $104** | **7.0** | **MATERIAIS SUPORTES** | | | **R$ 1.675,50 $698** |
| 2.1 | Válvulas borboleta DN 2"150# (un) | 2,00 | 125,00 | 250,00 | 7.1 | Viga I 4" A36 (pçs) | 20,00 | 40,20 | 804,00 |
| 2.2 | | | | | 7.2 | Chapa 1/2" x 250 x 250 = 50pçs (m²) | 1,25 | 697,20 | 871,50 |
| 2.3 | | | | - | 7.3 | | | | |
| 2.4 | | | | | 7.4 | | | | |
| 2.5 | | | | | 7.5 | | | | |
| **3.0** | **ELÉTRICA** | | | **R$ 0,00 $0** | **8.0** | **MONTAGEM MÃO-DE-OBRA MECÂNICA** | | | **R$ 7.300,00 $3.042** |
| 3.1 | | | | | 8.1 | Tubulação água (250m) | 250,00 | 27,60 | 6.900,00 |
| 3.2 | | | | | 8.2 | Montagem suportes (20pçs) | 20,00 | 20,00 | 400,00 |
| 3.3 | | | | | 8.3 | | | | |
| 3.4 | | | | | 8.4 | | | | |
| 3.5 | | | | | 8.5 | | | | |
| 3.6 | | | | | 8.6 | | | | |
| **4.0** | **OBRAS CIVIS** | | | **R$ 0,00 $0** | **9.0** | **MATERIAIS DE TUBULAÇÕES** | | | **R$ 5.494,50 $2.289** |
| 4.1 | | | | | 9.1 | Tubulação 2" SCH40 A106 GrB | 1.110,00 | 4,50 | 4.995,00 |
| 4.2 | | | | | 9.2 | Acessórios (10%) | 1,00 | 499,50 | 499,50 |
| 4.3 | | | | | 9.3 | | | | |
| 4.4 | | | | | 9.4 | | | | |
| 4.5 | | | | | 9.5 | | | | |
| 4.6 | | | | | 9.6 | | | | |
| 4.7 | | | | | 9.7 | | | | |
| **5.0** | **APOIO ANDAIMES / GUINCHOS CAMINHÃO P/ TRANSPORTES** | | | **R$ 0,00 $0** | **10.0** | **BOMBAS** | | | **R$ 0,00 $0** |
| 5.1 | | | | - | 10.1 | | | | - |
| 5.2 | | | | - | 10.2 | | | | |
| 5.3 | | | | | 10.3 | | | | |
| 5.4 | | | | | 10.4 | | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Total Mecânica** | **R$ 15.311** | **T O T A L** | **R$ 15.561** |
| **Total Elétrica** | **R$ 0** | | **$6.484** |
| **Total Instrumentação/ Válvulas** | **R$ 250** | **Engenharia** | |
| **Total Civil** | **R$ 0** | | |
| **Total Apoio de Carga** | **R$ 0** | **TOTAL GERAL** | **R$ 15.561** |
| **Cotação do Dolar** | **2,40** | | **$6.484** |

# ANEXO D - Estimativa de custo alternativa 04.

**ESTIMATIVA DE CUSTO**

**PROJETO:** Reúso de Água
**Alternativa :** 4 Recarga da ETA.
**Estimativa:** Anderson Baptista
**Data Emissão:** 20 fevereiro, 2014

| ITEM | DESCRIÇÃO | | | CUSTO | ITEM | DESCRIÇÃO | | | CUSTO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.0** | **INSTRUMENTAÇÃO** | **Quant.** | **Preço Unitário** | **R$ 0,00 $0** | **6.0** | **JATO E PINTURA MÃO DE OBRA** | **Quant.** | **Preço Unitário** | **R$ 1.009,39 $421** |
| 1.1 | | | | | 6.1 | Tubulações DN 2" SCH40 (m²) | 95,00 | 8,50 | 807,51 |
| 1.2 | | | | | 6.2 | Suportes Viga U 4" (m²) | 23,75 | 8,50 | 201,88 |
| 1.3 | | | | | 6.3 | | | | |
| 1.4 | | | | | 6.4 | | | | |
| 1.5 | | | | | 6.5 | | | | |
| 1.6 | | | | | 6.6 | | | | |
| 1.7 | | | | | 6.7 | | | | |
| **2.0** | **VÁLVULAS** | | | **R$ 250,00 $104** | **7.0** | **MATERIAIS SUPORTES** | | | **R$ 2.513,25 $1.047** |
| 2.1 | Válvulas borboleta DN 2"150# (un) | 2,00 | 125,00 | 250,00 | 7.1 | Viga I 4" A36 (pçs) | 30,00 | 40,20 | 1.206,00 |
| 2.2 | | | | | 7.2 | Chapa 1/2" x 250 x 250 = 50pçs (m²) | 1,88 | 697,20 | 1.307,25 |
| 2.3 | | | | - | 7.3 | | | | |
| 2.4 | | | | | 7.4 | | | | |
| 2.5 | | | | | 7.5 | | | | |
| **3.0** | **ELÉTRICA** | | | **R$ 0,00 $0** | **8.0** | **MONTAGEM MÃO-DE-OBRA MECÂNICA** | | | **R$ 66.520,00 $27.717** |
| 3.1 | | | | | 8.1 | Tubulação água (250m) | 250,00 | 27,60 | 6.900,00 |
| 3.2 | | | | | 8.2 | Suportes (30pçs) | 30,00 | 20,00 | 600,00 |
| 3.3 | | | | | 8.3 | Tubulação água (50m) | 50,00 | 45,40 | 2.270,00 |
| 3.4 | | | | | 8.4 | Sistema OR | 1,00 | 56.750,00 | 56.750,00 |
| 3.5 | | | | | 8.5 | | | | |
| 3.6 | | | | | 8.6 | | | | |
| **4.0** | **OBRAS CIVIS** | | | **R$ 0,00 $0** | **9.0** | **MATERIAIS DE TUBULAÇÕES** | | | **R$ 8.288,78 $3.454** |
| 4.1 | | | | | 9.1 | Tubulação 2" SCH40 A106 GrB (Kg) | 1.110,00 | 4,50 | 4.995,00 |
| 4.2 | | | | | 9.2 | Tubulação 3" SCH40 A106 GrB (Kg) | 564,50 | 4,50 | 2.540,25 |
| 4.3 | | | | | 9.3 | Acessórios (10%) | 1,00 | 753,53 | 753,53 |
| 4.4 | | | | | 9.4 | | | | |
| 4.5 | | | | | 9.5 | | | | |
| 4.6 | | | | | 9.6 | | | | |
| 4.7 | | | | | 9.7 | | | | |
| **5.0** | **APOIO ANDAIMES / GUINCHOS CAMINHÃO P/ TRANSPORTES** | | | **R$ 0,00 $0** | **10.0** | **EQUIPAMENTOS** | | | **R$ 300.000,00 $125.000** |
| 5.1 | | | | - | 10.1 | Sistema de osmose reversa 21m³/h | 1,00 | 300.000,00 | 300.000,00 |
| 5.2 | | | | - | 10.2 | | | | |
| 5.3 | | | | | 10.3 | | | | |
| 5.4 | | | | | 10.4 | | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Total Mecânica** | **R$ 378.331** | **T O T A L** | **R$ 378.581** |
| **Total Elétrica** | **R$ 0** | | **$157.742** |
| **Total Instrumentação/ Válvulas** | **R$ 250** | **Engenharia** | |
| **Total Civil** | **R$ 0** | **TOTAL GERAL** | |
| **Total Apoio de Carga** | **R$ 0** | | **R$ 378.581** |
| **Cotação do Dolar** | **2,40** | | **$157.742** |