

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
CAROLINA ALVES DE FARIA

QUALIDADE DO EFLUENTE GERADO NO PROCESSO DE
RESFRIAMENTO DE UMA INDÚSTRIA DE AGUARDENTE DE CANA-DE-
AÇÚCAR

FORMIGA – MG

2017

CAROLINA ALVES DE FARIA

QUALIDADE DO EFLUENTE GERADO NO PROCESSO DE RESFRIAMENTO
DE UMA INDÚSTRIA DE AGUARDENTE DE CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,
como requisito para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira
Thebaldi.

FORMIGA – MG


2017

Carolina Alves de Faria

QUALIDADE DO EFLUENTE GERADO NO PROCESSO DE
RESFRIAMENTO DE UMA INDÚSTRIA DE AGUARDENTE DE CANA-DE-
AÇÚCAR

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil do UNIFOR-MG, como requisito
para a obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira
Thebaldi.

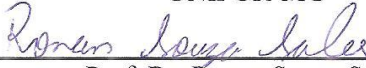
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi.
Orientador



Prof. Anísio Cláudio Rios Fonseca.
UNIFOR-MG



Prof. Dr. Ronan Souza Sales
UNIFOR-MG

Formiga, 31 de outubro de 2017.

F224 Faria, Carolina Alves de.
Qualidade do efluente gerado no processo de resfriamento de uma indústria de aguardente de cana-de-açúcar / Carolina Alves de Faria. – 2017.
64 f.

Orientador: Michael Silveira Thebaldi.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil)-Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Disposição final. 2. Efluente industrial. 3. Qualidade ambiental.
I. Título.

CDD 628.5

AGRADECIMENTOS

Torna-se extremamente difícil agradecer a todas aquelas pessoas que de algum modo, nos pequenos detalhes, fizeram e fazem parte da história deste estudo e da minha vida, por isso primeiramente, agradeço a Deus por permitir que eu concluísse este curso, por me capacitar e enfrentar comigo todos os obstáculos vencidos.

Agradeço aos meus pais Vicente e Marluce e a eles dedico esta conquista, pois me deram todo apoio, amor, incentivo e principalmente porque acreditaram desde o início em mim. Aos meus queridos irmãos André e Mateus, por todo carinho e compreensão.

A meu namorado Tulio, que se fez presente em momentos difíceis e por nunca ter duvidado que eu chegaria com sucesso até aqui.

Não poderia deixar de agradecer também ao meu orientador, Michael, pela paciência e orientação. Seus ensinamentos foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus queridos e amados avós, por todas as vezes que entenderam minha ausência nos finais de semana e que sempre disseram que eu era merecedora desta conquista.

A todos os meus familiares, pelas orações que sempre estiveram presentes nos momentos de desespero e de felicidade.

Também gostaria de agradecer, as amigas que conquistei durante esses cinco anos de graduação. Em especial, Paula e a Cintian, que juntamente comigo formaram o trio ternura. Juntas vencemos todas as barreiras que surgiram ao longo dessa caminhada.

Enfim, a todos os mestres, colegas de sala e aqueles que contribuíram para minha formação. Ficam aqui meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O cenário acerca da escassez da água é preocupante, já que esta se trata de um recurso natural fundamental para a sobrevivência de todas as espécies existentes. Sendo assim, os sistemas de reaproveitamento de efluente industrial, são soluções que auxiliam na economia e sustentabilidade, economizando a água potável, necessária para diversas outras atividades. Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar a qualidade do efluente gerado no processo de resfriamento de um alambique de aguardente de cana-de-açúcar, situado no município de Córrego Fundo-MG, verificando se o mesmo é adequado para lançamento em corpos hídricos receptores. Para isso foram coletadas 6 amostras deste efluente gerado em diferentes dias, e estas submetidas a análises de pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, DBO, temperatura, sólidos dissolvidos totais, dureza e coliformes termotolerantes e totais. Todos estes apresentaram resultados satisfatórios com exceção da temperatura, que se apresentou maior que o máximo permitido na legislação sobre lançamento de efluentes. Portanto, para que este efluente tenha um correto descarte no corpo hídrico receptor ou para que seja reutilizado em novos processos industriais, será necessário que ele seja submetido a um processo de resfriamento.

Palavras-chave: Disposição final. Efluente industrial. Qualidade ambiental.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cana-de-açúcar após seu corte.....	14
Figura 2 - Etapas do processo produtivo da aguardente de cana-de-açúcar.....	15
Figura 3 - Caldo de cana-de-açúcar no processo de fermentação	16
Figura 4 - Reservatório para depósito do vinhoto	17
Figura 5 - Cinzas produzidas na caldeira.....	20
Figura 6 - Bagaço obtido após a trituração da cana-de-açúcar.....	2020
Figura 7 - Tipos de aplicações no reuso de água industrial.....	24
Figura 8 - Incrustações encontradas dentro de um reservatório de resfriamento de água.....	33
Figura 9 - Corrosão macroscópica encontrada em uma tubulação	35
Figura 10 - Formas uniforme e localizada de corrosão	35
Figura 11 - Principais tipos de corrosão metálica.....	36
Figura 12 - Funcionamento de um sistema aberto de resfriamento.....	40
Figura 13 - Funcionamento de um sistema semiaberto de resfriamento	41
Figura 14 - Funcionamento de um sistema fechado de resfriamento	42
Figura 15 - Tanque de depósito do efluente utilizado no processo de resfriamento	44
Gráfico 1 – <i>Box-plot</i> dos valores de dureza de cálcio nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada	48
Gráfico 2 – <i>Box-plot</i> dos valores de dureza de magnésio nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada	49
Gráfico 3 – <i>Box-plot</i> dos valores de temperatura nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada	50
Gráfico 4 – <i>Box-plot</i> dos valores de condutividade elétrica nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada	51
Gráfico 6 – <i>Box-plot</i> dos valores de sólidos totais dissolvidos nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada	52
Gráfico 7 – <i>Box-plot</i> dos valores de pH nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada	53
Gráfico 8 – <i>Box-plot</i> dos valores do oxigênio dissolvido nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada	54

Gráfico 9 – <i>Box-plot</i> dos valores da demanda bioquímica de oxigênio nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada	50
Quadro 1 - Classificação, uso e características das águas segundo Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 1	21
Quadro 2 - Classificação, uso e características das águas segundo Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 1	22
Quadro 3 - Classes de microrganismos, suas características e problemas que podem causar em águas industriais.	29
Quadro 4 - Classes de microrganismos, suas características e problemas que podem causar em águas industriais	30
Quadro 5 - Tipos e principais características dos inibidores de incrustação mais importantes	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ca²⁺ - Cálcio

CE- Condutividade elétrica

CENAR- Centro de Análise de Água e Resíduos

cm- centímetro

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM- Conselho Estadual de Política Ambiental

°C- Graus Celsius

DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO Demanda Química de Oxigênio

dS m⁻¹ - DeciSiemen por metro

EDTA- ácido etilenodiamino tetra-acético

g/l - gramas por litro

H⁺ - Hidrogênio

IL- índice de Langelier

IP- índice de Puckorius

IR- índice de Ryznar

kcal/mol- quilocaloria por molécula

Kg- Quilogramas

Log- logaritmo

m³- metros cúbicos

MG- Minas Gerais

Mg²⁺ - Magnésio

mg/ L- miligrama por litro

mg/LO₂- miligrama por litro de oxigênio

ml- mililitro

mS cm⁻¹- milisiemens por centímetro

O₂- Oxigênio

OD- Oxigênio dissolvido

pH- potencial Hidrogeniônico

pHeq- potencial Hidrogeniônico da equação

pHr- potencial Hidrogeniônico real

pHs- potencial Hidrogeniônico de saturação

Pt/L; perda total por litro

SDT – sólidos dissolvidos totais

UNIFOR- Centro Universitário de Formiga

UNT- unidade de turbidez.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos.....	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	Processo produtivo de aguardente de cana de açúcar	13
3.1.1	Consumo hídrico do processo.....	17
3.1.2	Geração de resíduos líquidos e sólidos	18
3.1.2.1	Legislação sobre lançamento de efluentes em cursos d'água	21
3.2	Reuso da água em plantas industriais	23
3.2.1	Qualidade da água de resfriamento para reuso na produção	25
3.2.1.1	Índices de estabilidade da água	26
3.2.1.2	Desenvolvimento microbiológico.....	29
3.2.2	Tratamento de água de resfriamento	30
3.2.3	Prevenção das incrustações	32
3.2.4	Combate a corrosão.....	29
3.2.5	Controle do desenvolvimento microbiológico	37
3.3	Sistema de resfriamento de água	38
3.3.1	Sistemas Aberto de Resfriamento	39
3.3.2	Sistemas semiaberto de resfriamento	40
3.3.3	Sistemas Fechado de Resfriamento.....	427
4	MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1	Local de estudo	39
4.2	Pontos de Coleta	39
4.3	Análise da água.....	40

4.3.1	Dureza de cálcio e magnésio	40
4.3.2	Temperatura	40
4.3.3	Coliformes termotolerantes	40
4.3.4	Condutividade elétrica	40
4.3.5	pH.....	41
4.3.6	Sólidos totais, Sólidos sedimentáveis e Sólidos dissolvidos	41
4.3.7	Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO.....	41
4.3.8	Oxigênio dissolvido.....	41
4.4	Análises dos resultados	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem natural, que toma cerca de 70% da superfície terrestre. A maior parte desta, 97%, são águas salgadas que não devem ser utilizadas nem para fins industriais e o restante, 3%, são as águas doces, porém só 0,6% são apropriadas para o consumo humano e apenas 3% deste total permite uma fácil captação (MENEZES; MACHADO; NASCIMENTO, 2011).

O ramo industrial é um dos grandes responsáveis pela demanda de água. Neste contexto, a indústria sucroalcooleira utiliza a água, desde o cultivo de sua matéria prima, até a limpeza dos equipamentos necessários para a produção de aguardente de cana-de-açúcar.

Assim, diante da importância da água na vida do planeta e se tratando de um recurso natural não renovável, existem vários métodos para controlar desperdícios e fazer o tratamento dessas águas. Esses tratamentos podem devolver as propriedades, físicas, químicas e biológicas da água, possibilitando assim seu reuso.

A prática do reuso vêm ganhando destaque, já que apresenta importantes vantagens como a diminuição na demanda, permitindo que a água potável seja utilizada para consumo humano direto.

A preservação ambiental é outro fator também muito importante, já que nos processos industriais a geração de efluentes e resíduos é praticamente inevitável. A contaminação do meio ambiente pode ser evitada quando se dá um correto destino ou tratamento para estes efluentes.

Na indústria de processamento da cana-de-açúcar, os efluentes líquidos também podem ser reutilizados em sistemas de resfriamento, auxiliando na retirada de calor que é fundamental em diversos processos industriais. Normalmente, partes desses líquidos evaporam e a outra parte é descartada. Assim, pode-se notar que o resfriamento e o reuso de águas residuárias industriais, é uma maneira de contribuir com o meio ambiente e de caminhar em busca da sustentabilidade.

O objetivo deste trabalho foi encontrar uma solução para o efluente gerado em uma indústria de cana-de-açúcar, de modo com que este seja resfriado e descartado de maneira correta ou ainda seja reutilizado outras vezes no mesmo processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a qualidade do efluente gerado no processo de resfriamento em um alambique de produção de aguardente de cana-de-açúcar situado no município de Córrego Fundo – MG.

2.2 Objetivos Específicos

- Comparar a qualidade do efluente gerado com os critérios estabelecidos pelas Resoluções 357/2005 e 430/2011 do CONAMA;
- Indicar, quando for o caso, solução para a realização do lançamento do efluente gerado no processo de resfriamento com qualidade exigida pela legislação ambiental vigente.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Processo produtivo de aguardente de cana de açúcar

Na primeira década do século XVI, os portugueses trouxeram para o Brasil a cana-de-açúcar (FIG. 1), e sua produção teve maiores proporções na região Nordeste, onde o clima era favorável para seu plantio, em função das diferentes estações, uma seca e fria, o que estimula a produção de sacarose nos colmos, resultando na maturação e outra úmida e quente, que auxilia na germinação e desenvolvimento da planta (OLIVEIRA, 2010).

Figura 1 - Cana-de-açúcar após seu corte



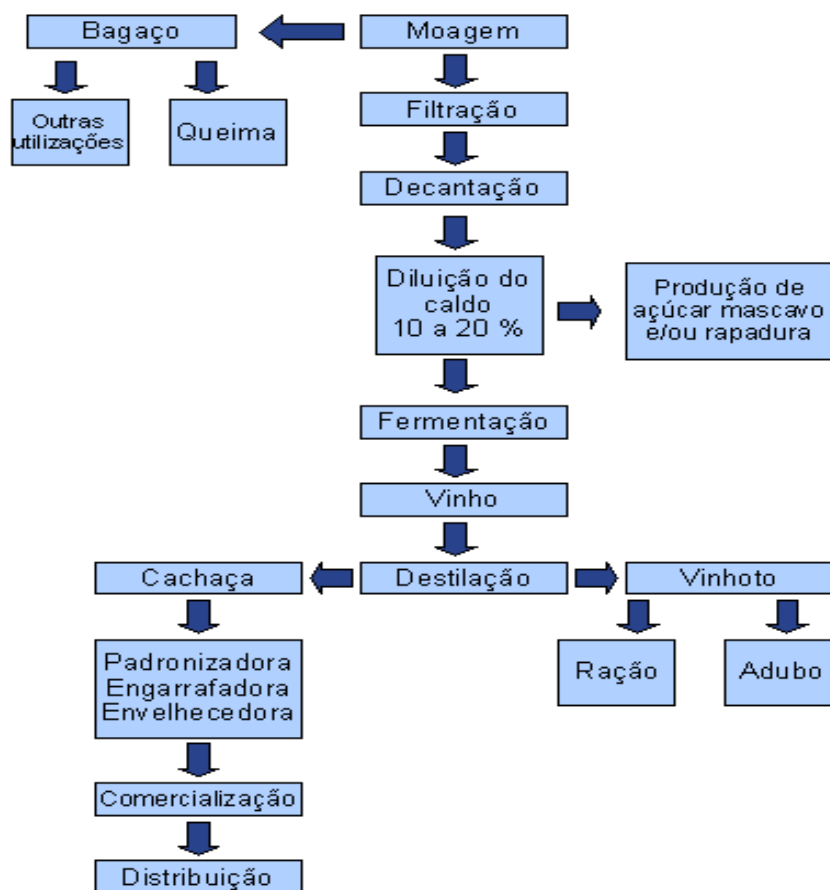
Fonte: A autora (2017)

O processo produtivo de aguardente de cana-de-açúcar é totalmente dependente de sua matéria prima, que vai desde o corte até o seu preparo. Considerando o a Portaria 276/2009 (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, 2009 p.3), tem-se a seguinte definição:

Cachaça é a denominação típica e exclusiva de aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38% vol. (trinta e oito por cento em volume) a 48% vol. (quarenta e oito por cento em volume), a 20°C (vinte graus Celsius), obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares até 6 g/l (seis gramas por litro), expressos em sacarose.

A FIG. 2 demonstra o fluxograma do processo produtivo.

Figura 2 - Etapas do processo produtivo da aguardente de cana-de-açúcar



Fonte: AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO E TECNOLOGIA.

A obtenção do caldo extraído da cana-de-açúcar é feita a partir de sua moagem em prensas mecânicas e com esta limpa, em até 36 horas após seu corte para impossibilitar possíveis contaminações microbiológicas (AMPAQ, 2010).

Mesmo tomando as devidas precauções na colheita, transporte e depósito da matéria prima, o processo de obtenção do caldo, pode contar com diversas impurezas como terra e bagacilho que devem ser removidos (BOZA; HORII, 1998).

Em função disso, o caldo deve ser submetido a uma filtração, com o objetivo de remover partículas maiores que permaneceram após a moagem, porém as partículas mais densas se deslocam para o fundo por meio do processo de decantação, originando-se o mosto, que é o produto com condições apropriadas para a fermentação (OLIVEIRA, A.M. L, 2010).

Deve-se fermentar o caldo até que os sólidos solúveis totais cheguem a uma quantidade de aproximadamente 15 ° Brix, relativo ao seu teor de açúcares. Isso é possível usando água totalmente potável para diluir o caldo de cana, assegurando que durante o processo de fermentação, o fermento utilizado esteja estável. Uma concentração maior de açúcares comprometeria a multiplicação do fermento e também o tempo de fermentação (MALTA, 2006).

Após a fermentação (FIG. 3), há a geração do vinho da cachaça, constituído de água, aldeídos, ácido acético, álcool etílico e gás carbônico, que são substâncias voláteis e os sais minerais e bactérias, que são as substâncias não voláteis. A destilação funciona como um processo termoquímico com finalidade de separar essas substâncias. As substâncias voláteis sofrem um resfriamento onde as partículas se condensam e formam três frações, denominadas, cabeça, coração e calda (COUTINHO, 2003).

Figura 3 - Caldo de cana-de-açúcar no processo de fermentação



Fonte: A autora (2017).

Em seguida, a bebida deve ser deixada em repouso por no mínimo três meses, para que ocorra a oxidação, resultando em uma aguardente mais suave. Por fim, a última etapa consiste

no envelhecimento da aguardente de cana-de-açúcar, dando origem então a uma cachaça artesanal (COUTINHO, 2003).

3.1.1 Consumo hídrico do processo

A operação da indústria sucroalcooleira depende de expressivos volumes de água, assim, para contribuir com o processo, é necessário que as instalações fiquem próximas aos reservatórios (FREITAS; FERREIRA, 2006).

Existem no Brasil, cerca de 420 usinas sucroalcooleiras, onde 62% delas são mistas, 35 % para produção do etanol e 3% de açúcar e por ano elas moem juntas cerca de 600 milhões de toneladas (GONÇALVES et al., 2010).

Na cana-de-açúcar em si, a água representa 70% do peso dos colmos. Seu uso se faz necessário em inúmeros processos da fabricação de aguardente, e pode ser reaproveitada ou até mesmo ser tratada e lançada em corpos hídricos. O vinhoto é o resíduo gerado na produção da aguardente, pode ser designado a fertirrigação (NOVA CANA, 2013).

O vinhoto (FIG. 4) tem sua composição bem variada em cada indústria. Estima-se que a cada litro de álcool gerado, 13 litros de vinhoto são produzidos, sendo considerado então o maior efluente desta indústria (ASSAN, 2006).

Figura 4 - Reservatório para depósito do vinhoto



Fonte: A autora (2017).

Antes do processamento, a cana-de-açúcar deve ser lavada para a remoção dos resíduos sólidos, procedimento que exige grande quantidade de água. A estimativa é que as

usinas utilizam em média 4500 litros de água para cada tonelada de cana, dependendo do volume disponível desta (FREITAS; FERREIRA, 2006).

Outra utilidade da água é o resfriamento das dornas utilizadas na fermentação do mosto, dos condensadores responsáveis pela destilação e da turbina do gerador que produz energia por meio do vapor das caldeiras (GONÇALVES et al., 2010).

A água destinada para limpeza dos pisos e equipamentos é bastante variável, mas esse volume é em média 250 m³. A mesma, possui diversas propriedades, dependendo do contato com substâncias químicas, como seu pH variando desde o mais alcalino até o mais ácido (BRAILE et al., 1993).

Uma boa destinação para tal água seria depositá-la juntamente ao vinhoto, para que ocorra sua diluição ou ser utilizada na irrigação da cultura da cana-de-açúcar (BRAILE et al., 1993).

3.1.2 Geração de resíduos líquidos e sólidos

A indústria sucroalcooleira tem a geração de resíduos líquidos e sólidos em diversos processos, que devem ser devidamente tratados para não causar impactos ambientais (SILVEIRA, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define que “impacto ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização” (ABNT, 2004).

Esses impactos ambientais gerados no processo produtivo podem acarretar vantagens ao meio ambiente ou levar a poluição do solo e do fluído. Por isso é importante à prevenção de possíveis danos ambientais (FERNANDES et al., 2009).

O efluente líquido industrial é produzido dentro de uma indústria, tais como esgoto doméstico, águas poluídas da chuva, águas utilizadas para refrigeração e efluentes dos processos industriais (ABNT, 1987).

Quando dispostos ao meio ambiente, faz-se necessário os tratamentos corretos e adequados dos resíduos líquidos de forma a minimizar os impactos causados (JUNG, 2014).

Os resíduos produzidos durante o processo podem ser reaproveitados para diferentes fins, como por exemplo, a água destinada ao resfriamento da caldeira, se armazenada, pode ser reutilizada devido à ausência de poluentes. Já a água utilizada na lavagem da cana pode

ser adicionada ao vinhoto (OLIVEIRA, 2005).

O vinhoto, principal resíduo líquido, tem a matéria orgânica como seu maior constituinte. Pode ser reaproveitado na fertirrigação somando nutrientes. Seu valor fertilizante se dá pela composição de elementos como potássio, magnésio, cálcio, além de ácidos orgânicos (JUNG, 2014).

Alguns desses elementos químicos caracterizam o vinhoto como fluído poluente, entretanto, se utilizado de modo controlado pode atuar como fertilizante de solo. Caso contrário, podem causar extrema poluição quando atingir áreas em que a capacidade do solo de adsorção dos contaminantes seja baixa (JUNG, 2014).

Outro tipo de resíduos gerados na produção de aguardente são os resíduos sólidos, que de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, são nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade de origem, industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.

Um dos resíduos sólidos são o palmito e a ponta de cana, que correspondem a cerca de 8% do peso da cana-de-açúcar madura, posterior ao corte. Em indústrias de pequeno porte, é comum que esse material seja seco pela exposição solar para ser aproveitado como cobertura morta na plantação. O palmito, se adicionado com nutrientes como a ureia, pode servir para alimentação de bovinos (OLIVEIRA, 2005).

As queimas feitas nas caldeiras dão origem às cinzas (FIG. 5), outro resíduo sólido que pode ser usado como adubo (JUNG, 2014).

Figura 5 - Cinzas produzidas na caldeira



Fonte: A autora (2017).

Já o bagaço (FIG. 6), obtido após a trituração da cana pode ser utilizado como combustível para a geração de fogo nas caldeiras e alambiques. Com supervisão de um profissional competente, pode servir de alimento para animais ou usado na adubação de plantações com canaviais (GOMES, 2008).

Figura 6 - Bagaço obtido após a trituração da cana-de-açúcar



Fonte: A autora (2017).

3.1.2.1 Legislação sobre lançamento de efluentes em cursos d'água

O Brasil é um país que dispõe de leis que regularizam o descarte apropriado de efluentes líquidos utilizados nas indústrias, para garantir que não haja contágio nem poluição do meio ambiente por substâncias tóxicas, impedindo assim que ocorram desastres ambientais (REVISTA TAE, 2014).

O despejo de matéria ou energia em um corpo d'água pode resultar na poluição deste, quando se altera características físicas, biológicas e químicas da água. Os corpos hídricos respondem ao lançamento de efluentes domésticos e industriais de acordo com as substâncias despejadas nestes (NAGALLI; NEMES, 2009).

A Legislação ambiental é particular para cada estado do Brasil. Em Minas Gerais as Deliberações Normativas Conjunta COPAM/CERH N° 1 de 05 de Maio de 2008, de acordo com as classificações do corpo hídrico receptor, determina o lançamento dos efluentes. Classificação, uso e características das águas segundo Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 1/2008 se encontra no (QUADRO 1 E 2).

Quadro 1 - Classificação, uso e características das águas segundo Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 1

Classe	Usos	Características
Especial	Abastecimento doméstico em prévia ou com simples desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.	Devem ser mantidas as condições naturais dos corpos de água.
Classe 1	Abastecimento doméstico, após o tratamento simplificado; Proteção das comunidades aquática; Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem a remoção de película.	DBO5 dias: a 20°C até 3mg/L O ₂ ; OD: em qualquer amostra, não inferior a 6mg/L O ₂ ; Turbidez: até 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT); Cor: nível de cor natural do corpo de água até 30mg Pt/L; pH:6,0 a 9,0; Sólidos em suspensão totais: até 50 mg/L.

Fonte: SILVA, 2011.

Quadro 2 - Classificação, uso e características das águas segundo Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 1

Classe	Usos	Características
Classe 2	<p>Abastecimento doméstico, após tratamento convencional;</p> <p>Proteção das comunidades aquáticas;</p> <p>Recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho);</p> <p>Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;</p> <p>Criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.</p>	<p>DBO5 dias: a 20°C até 5mg/L O₂;</p> <p>OD: em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L;</p> <p>Turbidez: até 100 UNT;</p> <p>Cor: até 75 mg Pt/L;</p> <p>pH:6,0 a 9,0;</p> <p>Sólidos em suspensão totais: até 100 mg/L.</p>
Classe 3	<p>Abastecimento doméstico, após tratamento convencional;</p> <p>Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;</p> <p>Dessedentação de animais.</p>	<p>DBO5 dias: a 20°C até 10 mg/L O₂;</p> <p>OD: em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L;</p> <p>Turbidez: até 100 UNT;</p> <p>Cor: até 75 mg Pt/L;</p> <p>pH: 6,0 a 9,0;</p> <p>Sólidos em suspensão totais: até 100 mg/L.</p>
Classe 4	<p>Navegação;</p> <p>Harmonia paisagística;</p> <p>Usos menos exigentes</p>	<p>Índices de fenóis: até 0,5 mg/L C₆H₅OH;</p> <p>OD: não inferior a 2,0 mg/LO₂, em qualquer amostra;</p> <p>pH:6,0 a 9,0.</p>

Fonte: SILVA, 2011.

A Deliberação Normativa Nº 74/2004, define a classificação das fontes poluentes de acordo com o potencial de poluição e processamento dos empreendimentos. São estabelecidos parâmetros, condições e limites, que devem ser analisados quando houver lançamento de efluentes, tais como sólidos em suspensão, pH, temperatura, óleos, DBO e materiais flutuantes (SILVA, 2011).

3.2 Reuso da água em plantas industriais

A água consumida em atividades industriais no Brasil corresponde a 20%, e no mínimo 10% e esta é retirada de forma direta dos corpos d'água. A maior parte não recebe tratamentos adequados ou não o recebem de forma alguma. Desta forma, o desenvolvimento sustentável do rendimento industrial pode ser constituído pelo reuso da água, que pode ser utilizada em sistemas de resfriamento, produção de água para caldeiras e como água de processos, entre outros (BERNARDI, 2003).

O reuso consiste em utilizar a água mais de uma vez para determinado fim, em atividades planejadas ou não. A água tratada utilizada no reuso pode ser destinada para várias finalidades como refrigeração de máquinas, produção de energia, em vários processos industriais, em irrigação de áreas verdes, entre outras. A pouca disponibilidade de água em grandes centros urbanos, e o alto custo de captação, seguida de tratamento, em função da poluição, faz com que o reuso da água seja um fator de extrema importância (REVISTA TAE, 2013).

De acordo com a produção e o setor industrial, as quantidades de água podem variar e sua qualidade depende dos processos que foram submetidas e sua destinação, pois uma única indústria pode dispor da água com distintos padrões físicos, químicos ou biológicos (OLIVEIRA, 2011).

Na utilização do reuso em processos industriais, deve-se observar a qualidade das águas e sua potabilidade, quando for o caso, para garantia de saúde, evitar problemas de instalações industriais como incrustação e corrosão, danos nas propriedades físicas e químicas dos produtos fabricados ou alterações da solubilidade dos reagentes (CONSELHO NACIONAL DE QUÍMICA, 2004).

Ainda de acordo com o Conselho Nacional de Química (2004), podem-se classificar os tipos de reuso como:

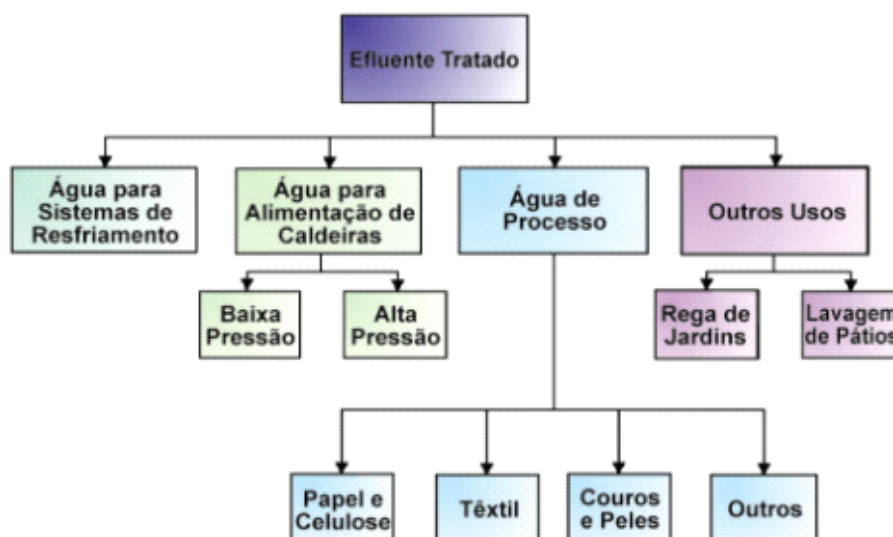
- Reuso indireto não planejado: quando a água utilizada em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada;
- Reuso indireto planejado: quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada em corpos de águas superficiais ou

subterrâneos para ser utilizada a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico;

- Reuso planejado ou reuso intencional: quando o reuso da água é resultado de uma ação humana consciente, a partir de uma descarga de efluentes, podendo ser de forma direta ou indireta. Neste caso, pressupõe-se a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo uso objetivado.
- Reciclagem de água: é o reuso interno da água em um determinado processo, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição.

As principais aplicações de reuso das águas nas indústrias podem ser vistas na (FIG.7).

Figura 7 - Tipos de aplicações no reuso de água industrial



Fonte: CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA, 2004.

Segundo Roque (2010) existe diversas vantagens quando há o reuso da água, principalmente na questão de sustentabilidade. Pode-se citar como benefícios ambientais:

- A melhoria na qualidade das águas, pois evita o lançamento de efluentes em cursos d'água;
- A diminuição da captação de águas subterrâneas e superficiais;

- Maior disponibilidade em águas de boa qualidade para fins mais exigentes como o abastecimento populacional;
- Redução financeira da produção de água de consumo e atendimento do protocolo do país na relação do mercado internacional de produtos. Garante a saúde para a população e gera empregos diretos e indiretos. No setor de produção há uma diminuição dos custos em relação ao fornecimento de água.

3.2.1 Qualidade da água de resfriamento para reuso na produção

A água destinada para fins industriais deve conter certas características de acordo com sua finalidade. Para se alcançar tais características é preciso um sistema que englobe várias etapas de tratamento dependentes da água bruta e das necessidades do usuário (KRAEMER, 2009).

Ainda segundo o mesmo autor, varia a qualidade de água exigida pelas indústrias, portanto, há requerimento de graus diferenciados de tratamento. Alguns parâmetros são responsáveis pela definição das características presentes na água para uso industrial. (KRAEMER, 2009).

Uma das mais importantes características é o pH, que denota condições ácidas, quando inferior a sete, ou alcalinas, quando superior a sete, pela medição da presença de íons hidrogênio (H^+). A faixa é de 0 a 14, calculada em escala logarítmica (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Já a alcalinidade refere-se aos íons que se encontram na água e que sofrem reações para neutralizarem íons de hidrogênio, identificando as condições que as águas têm de resistir a modificações de pH (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

A condutividade elétrica é a capacidade que os fluídos têm de condução de energia, em função da presença de íons. Essa capacidade depende da temperatura, valência, mobilidade, concentrações dos íons e da quantidade de substâncias dissolvidas com íons presentes na água (PINTO, 2007).

A dureza é a concentração de cátions multimetálicos presentes em uma solução na água. O magnésio e o cálcio são os principais cátions associados à dureza, e o manganês, alumínio, ferro e estrôncio os cátions em menor quantidade (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2014).

A turbidez consiste na capacidade de amenizar a intensidade de luz que atravessa uma amostra de água, devido à existência de sólidos suspensos presentes na água como algas, partículas inorgânicas e detritos orgânicos (PIVELI, 2010).

A demanda química de oxigênio, conhecida como DQO, indica a quantidade de matéria orgânica presentes na água (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2014).

A temperatura da água é medida em grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$), a intensidade de calor apresentada em escala, pode ser medida por equipamentos como termômetro ou sensor (PINTO, 2007).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) determina de forma indireta, através da demanda de oxigênio exercida pelos microrganismos na respiração, a quantidade de matéria orgânica biodegradável encontrada. Esse parâmetro é determinado após um período fixo de 5 dias e em temperatura constante de 20°C (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

Já o oxigênio dissolvido, é uma importante característica na classificação das águas naturais e nos seus índices de qualidade, sendo o principal elemento no metabolismo dos microrganismos presentes nas águas naturais ou em reatores de tratamento de esgotos (PINTO; OLIVEIRA; PEREIRA, 2010). É dado em mg/L e sua saturação geralmente está em torno de 8 mg/L, quando à 25°C (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

Os sólidos são definidos como a matéria contida na água que permanece como resíduo, após os processos de evaporação, secagem ou calcinação, submetidos a uma temperatura pré-estabelecida e com um intervalo de tempo determinado (NUNES et al., 2015).

A dureza da água indica a concentração de íons alcalino terrosos, presentes na água, mas precisamente de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), que possuem maiores concentrações do que os outros íons acalino terrosos. (ABDALLA et al., 2010).

Por fim, em relação às condições microbiológicas, os coliformes fecais são o principal parâmetro que permite identificar se existe presença de contaminação fecal em um corpo d'água (BARCELLOS et al., 2006).

3.2.1.1 Índices de estabilidade da água

A necessidade da identificação das características da água, é muito importante para a escolha do tratamento adequado. Dentre as características necessárias de avaliação, destaca-se

a tendência a incrustações, que contribuem com o surgimento de depósitos de CaCO_3 e a corrosões do ferro e do aço. Estas tendências são apresentadas nos índices Langelier (IL); Ryznar (IR); e Puckorius (IP) (AQUAAMBIENTE, 2004).

Na concepção do índice de Langelier foi feita uma comparação para se verificar a tendência à incrustação entre determinada quantidade de cálcio de uma água, com uma mesma outra quantidade, porém, saturada com carbonato de cálcio. Notou-se uma diferença de pH que foi denominada de índice de saturação representada pela Equação 1 (MACHADO,2005).

$$\text{IL} = \text{pH real (pHR)} - \text{pH saturação (pHS)} \quad (1)$$

Em que:

IL - Índice de Langelier

pH real - hidrogênios da amostra;

pH saturação - valor do pH em que ocorre a saturação do carbonato de cálcio.

Todos esses valores são adimensionais e a obtenção do pH saturação se dá por coeficientes que dependem da dureza, temperatura e concentração dos sólidos dissolvidos (MESQUITA; KELLNER, 2015).

Segundo Machado (2005), a interpretação da expressão algébrica é:

1. Se o resultado da expressão for igual à zero (pH real = pH saturação), há o equilíbrio de saturação, não havendo formação de crostas;
2. Caso o resultado da expressão seja positivo, (pH real > pH saturação) indica a tendência de a água precipitar e depositar carbonato de cálcio, isto é: incrustação;
3. Caso o resultado da expressão seja negativo, (pH real < pH saturação) indica a tendência de a água dissolver carbonato de cálcio, isto é corrosão.

Ainda segundo o autor e baseando nos estudos de Langelier, Ryznar, reavaliou o poder de incrustação da água e estabeleceu a expressão:

$$\text{IR} = 2 \text{ pH saturação (pHS)} - \text{pH real (pHR)} \quad (2)$$

Segundo Aquaambiente, 2004, o resultado obtido para o índice de Ryznar da água deve ser analisado como:

- Fortemente incrustante: $4,0 < IR < 5,0$;
- Ligeiramente incrustante: $5,0 < IR < 6,0$;
- Ligeiramente incrustante ou corrosiva: $6,0 < IR < 7,0$;
- Significativamente corrosiva: $7,0 < IR < 7,5$;
- Fortemente corrosiva: $7,5 < IR < 8,5$;
- Extremamente corrosiva: $IR > 8,5$.

A variação de temperatura de 0 °C e 60 °C é a causa dos intervalos de valores de 4 a 8,5 apresentados das águas (AQUAAMBIENTE, 2004).

Já o índice de Puckorius não utiliza o pH real, mas sim o pH do sistema, fazendo com que haja uma análise das tendências à corrosão e incrustação em águas de resfriamento, apresentando a real alcalinidade da mesma (GONDIM, 2014).

O índice de estabilidade de Ryznar e Puckorius é apresentado de acordo com sua tendência a corrosão e incrustação MACHADO (2005).

É expresso pela seguinte equação:

$$IP = 2 \text{ pH saturação (pHS)} - \text{pH de equilíbrio (pHeq)} \quad (3)$$

E pHeq é calculado pela equação:

$$\text{pHeq} = 1,465 \times \log (\text{Alcalinidade total}) + 4,54 \quad (4)$$

Por meio do índice de Puckorius é possível prever incrustações nos sistemas de resfriamento de água, e obter vantagens como a proteção dos equipamentos e resultados mais precisos, menor consumo e custo do tratamento, possibilidade de aumento do ciclo de concentração e compatibilidade com águas de torres em níveis superiores que 7,5 e tão altos como 9 (MACHADO, 2005).

3.2.1.2 Desenvolvimento microbiológico

O desenvolvimento de microrganismos é uma preocupação quando se trata do resfriamento de águas industriais e pode causar danos no funcionamento de equipamentos e também danos econômicos (PAVÃO, 2013), já que as concentrações de bactérias, com o passar do tempo, podem originar corrosões, menor eficácia na troca de temperatura dos equipamentos e até a obstrução dos fluxos (PERES, 2008).

Os microrganismos contidos em águas de resfriamento são separados por classes de acordo com suas características, como mostrado no QUADRO 3 e 4, que apresentam particularidades e os principais tipos de microrganismos:

Quadro 3 - Classes de microrganismos, suas características e problemas que podem causar em águas industriais.

Organismo	Classificação	Fontes de energia e Nutrientes	Principais problemas
Bactérias aeróbias ou anaeróbias	Formadoras de Biofilme Depositantes de ferro Redutoras de sulfatos Anaeróbias corrosivas	Diversos compostos orgânicos e inorgânicos; fazem quimiossíntese.	Depósitos densos e aderentes; Oxidação do ferro e deposição de óxidos insolúveis; Reduzem sulfatos a sulfetos causando severa corrosão; Secretam substâncias corrosivas.
Bactérias aeróbias ou anaeróbias	Formadoras de Biofilme Depositantes de ferro Redutoras de sulfatos Anaeróbias corrosivas	Diversos compostos orgânicos e inorgânicos; fazem quimiossíntese.	Depósitos densos e aderentes; Oxidação do ferro e deposição de óxidos insolúveis; Reduzem sulfatos a sulfetos causando severa corrosão;. Secretam substâncias corrosivas.

Fonte: TROVATI, 2004.

Quadro 4 - Classes de microrganismos, suas características e problemas que podem causar em águas industriais.

Organismo	Classificação	Fontes de energia e Nutrientes	Principais problemas
Fungos	Leveduras e fungos filamentosos	Material orgânico	Degradação da madeira e obstrução de tubos de válvulas; Degradam matéria orgânica gerando odor.
Algas	Unicelulares e superiores	Luz solar	Obstrução de tubos e válvulas; Deposição sobre os recheios.

Fonte: TROVATI, 2004.

Existem fatores físicos e químicos que colaboram no desenvolvimento desses microrganismos. Tais seres vivos se adequam facilmente às condições amenas nos sistemas de resfriamento fazendo com que haja o desenvolvimento de diversos organismos. Alguns destes sobrevivem a condições de temperaturas elevadas (acima de 100 °C), altas pressões e concentrações de sais, além de pHs ácidos e alcalinos. Os fatores a serem considerados deste processo são temperatura, luz solar, pH, turbidez, velocidade de escoamento da água e nutrientes (TROVATI, 2004).

Os principais problemas causados pelo desenvolvimento microbiológico são os entupimentos, onde há limitação de vazão e obstrução de tubulações e equipamentos. Já a corrosão é uma reação química causada pelo depósito de microrganismos, que liberam excretas com matéria inorgânica, gerando incrustações e os depósitos causadores da diminuição na transferência de calor (TROVATI, 2004).

3.2.2 Tratamento de água de resfriamento

Durante os processos industriais, a água acaba perdendo sua qualidade. A recuperação dessas características se torna possível quando se submete a água ao tratamento. Por meio deste ela pode ser reutilizada em diversos processos que não exijam sua pureza, além de proporcionar uma grande economia (PENSAMENTO VERDE).

O tratamento consiste em vários processos físicos e químicos, que a água é submetida para que sejam removidos quaisquer tipos de contaminantes, tornando-a assim propícia para seu reuso (CASTRO, 2001).

Quando uma água impura entra em contato com a natureza, sérios riscos podem surgir. Tais tratamentos são também importantes para a retirada dessas impurezas que podem ser químicas e metálicas, favorecendo assim o meio ambiente e a qualidade de vida de seres vivos (PENSAMENTO VERDE).

Para o tratamento de águas de resfriamento, comuns na indústria sucroalcooleira, é necessária uma análise dos problemas encontrados, pois mesmo se manifestando igualmente em todas as situações, as soluções devem ser encontradas de maneira individual, de acordo com análises feitas no local de início do problema, levando em consideração, o estado dos equipamentos, o clima, a qualidade da água e possíveis contaminações (POLLO, 2004).

O pré-tratamento da água, têm como objetivo final separar os sólidos contidos nos efluente. Isso se dá basicamente por dois processos: o gradeamento, que consiste em grades metálicas que retém sólidos maiores, com dimensões entre 5 e 10 cm, ou se menores elas, evitando assim, danos nos equipamentos utilizados ao decorrer do tratamento; e a desarenação, responsável pela retirada de toda areia por meio de sedimentação, a qual contribui para a não obstrução de tubulações, permitindo um escoamento livre do líquido (REVISTA TAE, 2013).

A clarificação é considerada o tratamento primário da água, tendo como objetivo diminuir seus índices de turbidez, separando o sólido e o líquido. Os sólidos suspensos são retirados por floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (UEHARA, 2008).

A floculação consiste no importante processo de aglomeração de pequenas partículas, em partículas maiores, contribuindo para a separação dos sólidos e líquidos (UEHARA, 2008).

Na sedimentação, as partículas suspensas no fluido com maior densidade, permanecem na superfície, enquanto as de menores densidades, por causa da gravidade, se deslocam para o fundo (MARTINS, 2014).

Já o processo de filtração é caracterizado por filtros, normalmente compostos por pedras de tamanhos variados, areia e carvão, conseguindo assim reter, até as menores impurezas (TAE, 2013), tendo a desinfecção, que têm como prioridade a expulsão de microrganismos, tais como vírus, bactérias e protozoários e ainda impedir novas possíveis proliferações (POLLO, 2004).

Outro processo é o de osmose inversa. Seu objetivo é a retirada de contaminante, através da passagem de água limpa por uma membrana semipermeável composta por

polímeros, transformando uma solução salina, em uma solução com baixo teor de sal (FERRARO, 2008)

O funcionamento desse processo depende de um maior esforço mecânico, que causa a pressão osmótica, a qual possibilita a transferência de solvente da solução mais concentrada para a de menor concentração (TATEOKA, 2014).

A troca iônica tem como objetivo, impedir entupimentos que foram desenvolvidos por que atuam na remoção dos íons contidos na água já contaminados, por novos íons sólidos contidos na resina. Tais resinas têm em sua composição ácidos ou básicos, que permitem ser substituídos por outros íons (TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES).

Essa substituição é chamada de anódica, quando há troca de ânions e catódica, quando a troca é de cátions (RIANI, 2008).

O tratamento de água por adsorção pelo carvão deve ser aplicado quando o efluente líquido contiver substâncias tóxicas que impossibilitem a eliminação de matéria orgânica ou por matérias que demoram a se decompor no meio ambiente, ou seja, não biodegradáveis (MURANAKA, 2010).

Pode ser utilizado na forma de pó ou de grânulos. É empregado para a retirada de sabor, odor, compostos orgânicos e de cloro que podem ser altamente nocivos, nos sistemas de troca iônica e osmose inversa, levando ao desgaste determinadas membranas (POLLO, 2004).

3.2.3 Prevenção das incrustações

É encontrada uma grande variedade de substâncias dissolvidas na água retirada da natureza. Trata-se na maior parte de óxidos e sais solubilizados em diferentes condições principalmente pH, temperatura e concentração. Quando há evaporação da água das caldeiras, substâncias presentes no estado líquido aumentam e se superados os limites de solubilidade, acontece à precipitação destas nas superfícies dos trocadores de calor, formando então as incrustações (TROVATTI, 2004).

Normalmente, essas incrustações (FIG. 8) são acumuladas em superfícies onde o escoamento é mais difícil, como em locais afastados do bombeamento ou em curvas da tubulação (SILVA, 2013).

Figura 8 - Incrustações encontradas dentro de um reservatório de resfriamento de água



Fonte: A autora (2017).

Existem diferentes tipos de inibidores de incrustação, os quais possuem mecanismos distintos de inibição /e várias classes químicas (ROSA et al., 2015).

Os mais adotados pelas indústrias, normalmente são os que atuam por nucleação, por quelação, formando um composto solúvel ou ainda pela inibição do sítio do cristal, fazendo com que ocorra um crescimento irregular e diminuindo a aderência da incrustação nas superfícies (MENGER, 2015).

A presença de agentes quelantes, massa molecular, pH, compatibilidade com íons cálcio e a estabilidade térmica e química, são fatores que influenciam na eficiência de atuação dos inibidores (MENGER, 2015).

Os principais inibidores de incrustações são apresentados no (QUADRO 5).

Quadro 5 - Tipos e principais características dos inibidores de incrustação mais importantes

Tipo	Estabilidade Hidrolítica	Estabilidade Térmica	Deteccção
Polifosfonatos inorgânicos	Baixa	Baixa	Boa
Ésteres de fosfatos orgânicos	Boa	Média	Boa
Fosfonatos orgânicos	Excelente	Boa	Muito boa

Polímeros orgânicos	Excelente	Excelente	Difícil
---------------------	-----------	-----------	---------

Fonte: ARAI; DUARTE, 2010.

3.2.4 Combate a corrosão

Corrosão é o nome dado a reação de contato com material, normalmente metálico, e o meio ambiente, ocasionando assim uma possível deterioração. Essas reações são prejudiciais e conseqüentemente o material sofre mudanças na estrutura, variações químicas e desgastes (AMARAL, CORREIA, PEREIRA, 2008).

Os metais, juntamente com suas ligas, estão sujeitos à corrosão por causa do potencial termodinâmico, gerados de minérios naturais, que por sua vez utilizam de energia. Assim, quando existe exposição dos metais ao meio ambiente, estes voltam ao seu estado de menos energia (PANNONI, 2004).

Existem classificações referentes à corrosão do metal. Um dos tipos é a corrosão uniforme, onde a mesma se espalha por toda superfície, ocasionando uma perda da espessura do material (AMARAL, CORREIA, PEREIRA, 2008).

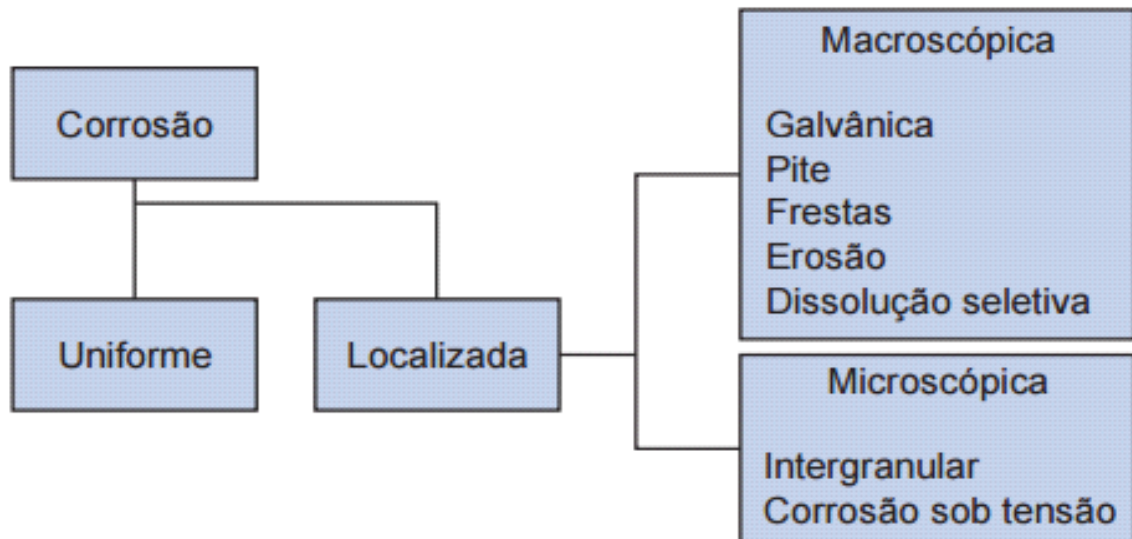
Também há a corrosão localizada, que se divide em macroscópica e microscópica. Na corrosão macroscópica (FIG. 9), os estragos são bastante visíveis e comprometem toda a estrutura. Já na corrosão microscópica, podem existir danos significativos no material que não sejam visíveis a olho nu, pois é pequena a quantidade dissolvida de metal. A corrosão geralmente é localizada apenas em um ponto da estrutura (PANNONI, 2004). As principais formas de corrosão são mostradas na FIG.10.

Figura 9 - Corrosão macroscópica encontrada em um tubulação



Fonte: A autora (2017)

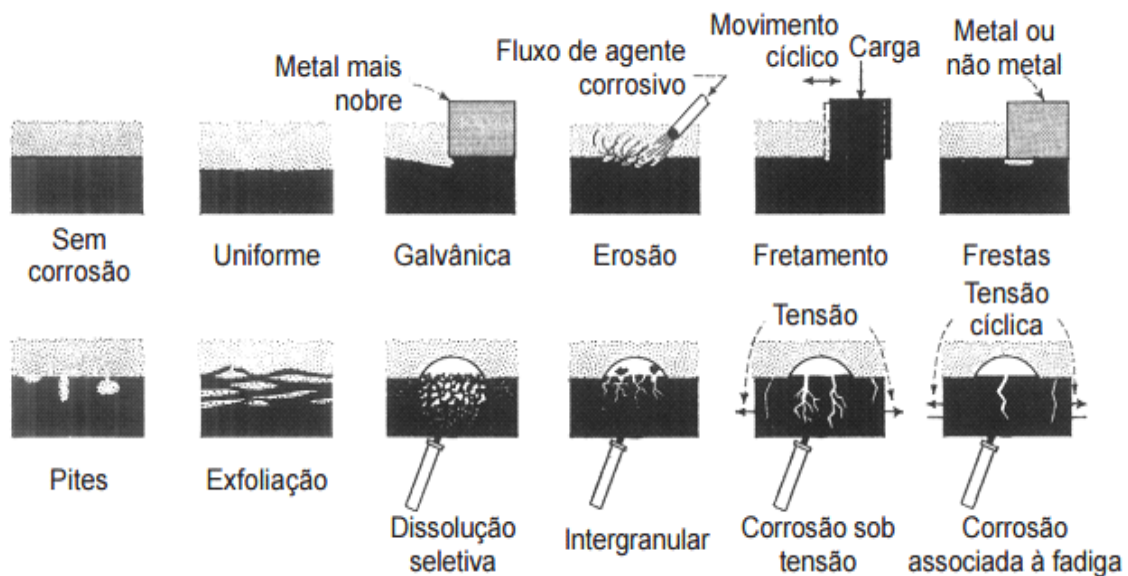
Figura 10 - Formas uniforme e localizada de corrosão



Fonte: GERDAU

A algumas formas em que se pode encontrar a corrosão metálica são apresentadas na FIG. 11.

Figura 11 - Principais tipos de corrosão metálica



Fonte: GERDAU,2017.

Para combater a corrosão, podem-se empregar alguns métodos. Os inibidores de corrosão são em substâncias orgânicas e inorgânicas, que quando em contato com a superfície corrosiva, retardam as reações. Eles agem como um filme resistente e estreito, que reduz a taxa de corrosão devido às reações anódica e catódicas. Esses inibidores são comumente usados em baixas concentrações, toda vez que um metal, tem contato com um meio corrosivo. Estes compostos desaceleram o processo de corrosão, e sua taxa é mantida mínima, fazendo com que não haja perdas econômicas ocasionadas pela corrosão metálica (FRAUCHES-SANTOS et al., 2013).

Outro método empregado são os revestimentos que agem como anticorrosivos criando um tipo de películas formadas por compostos de reações metálicas como o zinco e o alumínio, óxidos e hidróxidos. Os metais podem servir como revestimento, e os mais propícios possuem altos valores de sobretensão ou sobre tensão, justificando sua maior resistência aos ácidos que permitem a circulação do ar. Quando o revestimento for metálico, ele é composto por partículas líquidas de metal, que em contato com a parte exterior do aço, se solidifica, resultando em uma camada com alguns poros de lâminas, alcançando assim a maior resistência possível a corrosão. Não acontece a formação de ligas por dois elementos metálicos. Esse tipo de tratamento é bastante caro, considerando que há normas a serem seguidas em relação à limpeza por exemplo (FRAUCHES-SANTOS et al., 2013).

Os protetores anódicos constituem na superfície óxidos protetores insolúveis. Assim, acontece uma reação química denominada passivação, que é quando entram em contato o cromo presente no aço e o oxigênio. Em seguida há o retardamento do processo corrosivo. (SILVA, 2016).

Já os protetores catódicos elevam à resistência a corrosão e a estrutura torna-se um cátodo, formando sobre a superfície hidrogênio e outros compostos (MAGNAN, 2011).

São substâncias que contém íons metálicos, que reagem com a alcalinidade catódica, e produzem compostos não solúveis, que o protegem e impede o processo catódico (FRAUCHES-SANTOS et al., 2013).

Ainda segundo os mesmos autores, se contrapostas às proteções catódicas e anódicas, nota-se que a proteção catódica pode ser empregada a qualquer material metálico, diferente da proteção anódica que só deve ser empregada em metais e ligas como cromo, níquel, ferro e titânio.

3.2.5 Controle do desenvolvimento microbiológico

O crescimento excessivo de microrganismos como fungos e algas é um grave problema nos sistemas de resfriamento. Deve-se então utilizar água devidamente tratada para combater sua proliferação. Porém, se houver instalação desses, podem-se utilizar biocidas para seu combate (TROVATI, 2004).

Os biocidas têm como finalidade extinguir qualquer tipo de organismos que possam intervir negativamente no rendimento de uma produção (MORAGAS; SCHNEIDER, 2003).

Esses produtos são classificados em oxidantes e não oxidantes. Os biocidas oxidantes agem na oxidação das composições das células microbianas, sendo eficazes contra a maioria dos microrganismos. Entretanto, encontram-se desvantagens no seu uso em metais podendo resultar em reações químicas, alteração nas propriedades do fluido de corte e até mesmo levar a corrosão dos equipamentos (CAPELLETTI, 2006).

Podem ser constituídos a base de bromo, cloro e outros compostos derivados (MACHADO, 2004).

Já os biocidas não oxidantes, que incluem diversos compostos orgânicos, agem contra os microrganismos pela desintegração da parede celular ou interferindo no seu metabolismo. No entanto, pode haver adaptação dos microrganismos caso sejam aplicados por um grande

espaço de tempo ou se houver menor aplicação do que a dosagem pede (CAPELLETTI, 2006).

Estes se constituem a base de clorofenóis de amônio, aldeído glutárico, tiazolinas e metileno bistiocianato, dentre outros. Devem-se alternar dois biocidas com diferentes mecanismos para dificultar que os microrganismos resistam a ações destes (MACHADO, 2004).

Outros métodos podem ser aplicados para controle do desenvolvimento de microrganismos, tais como a filtração lateral ou em paralela e a radiação ultravioleta (TROVATI, 2004).

O método da filtração é utilizado para esterilizar soluções termossensíveis, através de remoção física dos contaminadores e sua montagem se dá a partir de um filtro de matriz porosa colocado em um abrigo impermeável. Porém sua eficiência depende da dimensão dos poros do material e da adsorção dos microrganismos (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2010).

A radiação ultravioleta pode ser obtida por fontes artificiais, como lâmpadas de baixa e média pressão de arco de mercúrio ou por meia fonte natural, como o sol, agindo de forma a interferir na biossíntese e na reprodução celular, por meio da inativação de microrganismos, consequência dos danos fotoquímicos causados a seus ácidos nucleicos (AGUIAR, 2000).

3.3 Sistema de resfriamento de água

A maior parte das indústrias necessita que suas máquinas e equipamentos sejam resfriados. Para que isso seja possível, necessita-se de um sistema de resfriamento contendo componentes e elementos como: controladores de temperatura e bombas de recirculação, estas, responsáveis por remover e em seguida transferir energia para outro destino. Por isso, o funcionamento satisfatório de uma indústria depende da eficácia de um sistema de resfriamento (VEIGA, 2010).

O resfriamento industrial é comumente feito utilizando-se a água. Um dos meios que se destacam é o resfriamento feito por trocadores de calor, que consistem em equipamentos que durante a vazão uniforme trocam energia na forma de calor. A água fria recebe o líquido quente e o resfria, assim, após o contato com o líquido quente a água estará mais quente,

sendo que para o processo continuar funcionando normalmente, será necessária a inserção frequente de água fria (MANCUSO, 2001).

Alguns fatores como a qualidade, temperatura, custos e disponibilidade, definem os sistemas que devem ser empregados no resfriamento da água, que se classificam em sistemas abertos, sistemas fechados e sistemas semiabertos (MACHADO, 2004).

3.3.1 Sistemas Aberto de Resfriamento

No sistema aberto de resfriamento, a água tem apenas uma passagem, permitindo uma pequena queda em sua temperatura, e seu descarte é realizado no fim da conclusão do processo (FABRO; AZZOLINI, 2014).

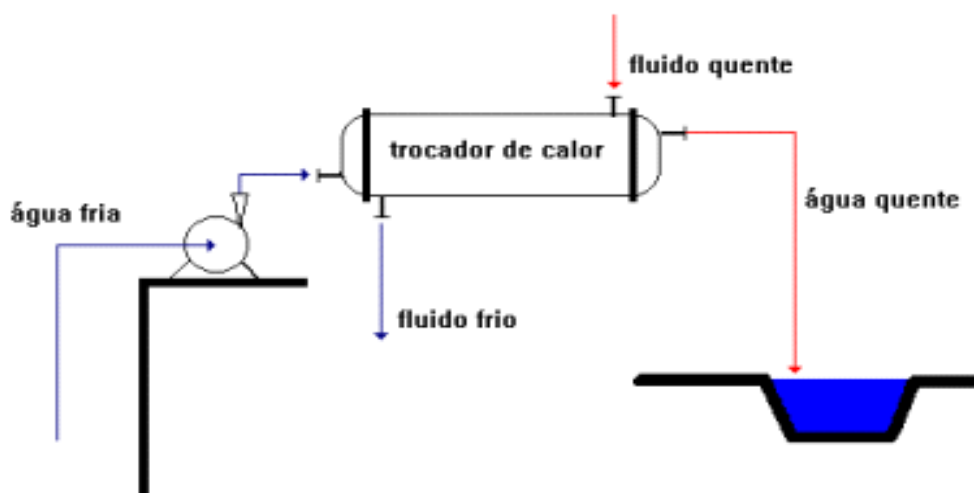
Usualmente empregado quando há escassez de água, para um alto uso da mesma, especialmente em casos de baixa qualidade desta. Neste sistema, não há evaporação e é bastante utilizado por industriais em função do alto consumo de água (PAVÃO, 2013).

Ainda segundo o mesmo autor, os equipamentos de troca térmica precisam ser esfriados, em seguida a água passa por uma instalação de resfriamento para ser resfriada e poder ser reutilizada. Este é um processo considerado caro, entretanto, evita problemas de poluição térmica.

Portanto, o sistema conta com algumas desvantagens, como o tratamento de incrustações e corrosões, que para serem evitados precisariam de uma significativa quantidade de produtos químicos, o que ocasionaria em impactos ambientais (MACHADO, 2014).

Outra desvantagem é a concentração de matérias não desejáveis na superfície de troca de calor, conhecido como fouling. Isso ocorre devido ao uso de equipamentos metálicos originando assim uma corrosão, que se acumulada impede a passagem da água. As incrustações comprometem a resistência na troca térmica (MACHADO, 2014). O funcionamento desse sistema é mostrado na FIG.12.

Figura 12 - Funcionamento de um sistema aberto de resfriamento



Fonte: MANCUSO, 2004.

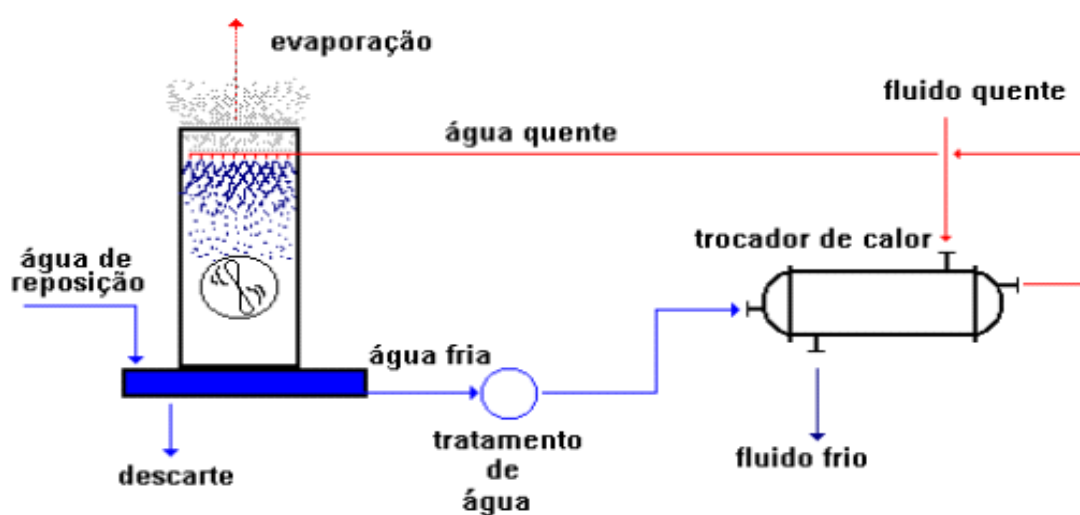
3.3.2 Sistemas semiaberto de resfriamento

O sistema de resfriamento semiaberto prioriza a economia de água, e permite procedimentos contra a ação de incrustações e corrosões e que sejam tomadas providências como economia de inibidores corrosivos, clarificação da água e controle de microrganismos, para que seja extinta a corrosão microbológica e as células de oxigenação diferencial. Trata-se de um sistema de reaproveitamento da mesma água diversas vezes, por isso, é bastante adotado por indústrias. O sistema consiste na obtenção de uma forte vazão, então quando o calor se dissipa na torre e volta para o equipamento responsável pela troca térmica para ser reaquecida e depois resfriada (MACHADO, 2004).

O contato entre a água quente do sistema e o ar faz com que através de um fluxo, ocorra a passagem desta para o ar frio. O calor que transferido é chamado de calor sensível, e o resfriamento do fluido feito por ele, pode alcançar em uma torre, de 15 a 25% do total. O calor contido na água que atinge 85 a 75%, é transferido pela evaporação e conhecido como calor latente. A evaporação da água acontece com 9,72 kcal/mol, assim cada molécula-grama de água que evapora, resulta na redução da temperatura em 1 °C. Assim, a circulação da água resulta na evaporação de parte dela, e as restantes têm sua temperatura minimizada (PAVÃO, 2013).

Ainda segundo o autor, deve-se entrar uma quantidade de água no sistema, a fim de compensar e repor a perda da água evaporada e os respingos. Esses respingos podem resultar em um alto índice de concentração de sais presentes na água desses sistemas, ocasionando o surgimento de incrustações e corrosão. Para controle dessas concentrações, podem ser instaladas purgas para a eliminação de uma parte da água. O funcionamento desse sistema é mostrado na FIG. 13.

Figura 13 - Funcionamento de um sistema semiaberto de resfriamento



Fonte: MANCUSO, 2004.

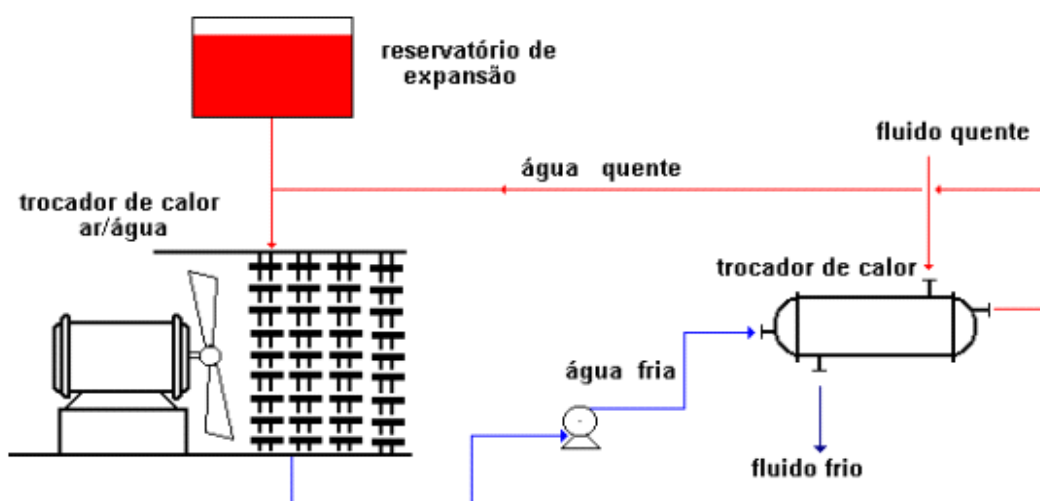
Esse sistema requer maiores cuidados com a qualidade e adequação da água reutilizada, devendo-se cumprir as exigências e cuidados com os depósitos e a corrosão deste sistema, uma vez que estes podem elevar os custos de manutenção da planta, resultando no encerramento de produção (FÓFANO, 2000).

São exemplos de utilização do sistema semiaberto, condensadores evaporativos, sistemas de torre de resfriamento, e os chamados “spray-ponds” que são reservatórios onde há o resfriamento natural do ar e a pulverização da água (TROVATI, 2004).

3.3.3 Sistemas Fechado de Resfriamento

Segundo Macêdo, no sistema fechado de resfriamento não há evaporação. O resfriamento se dá pela recirculação da água por meio de um trocador de calor, em um sistema fechado através de outro fluido. A água presente no trocador de calor não se mistura com o fluido a ser resfriado (TROVATI, 2004). A FIG. 14 ilustra o funcionamento desse sistema.

Figura 14 - Funcionamento de um sistema fechado de resfriamento



Fonte: MANCUSO, 2004.

Este circuito apresenta algumas vantagens como: facilidade de domínio da temperatura nos equipamentos, evaporação mínima de água e ciclo constante de concentração, não sendo necessária a utilização de uma purga (SILVA, 2015).

Por não haver evaporação, não há concentração de sais contidos na água. Isso diminui os problemas causados por corrosão e incrustação (VEIGA, 2010).

A ausência de contato com o ar permite a inibição dos processos de crescimento biológico, porém, em alguns casos é encontrada a bactéria *Nitrobacter winogradsky*, presente em certos sistemas que fazem seu tratamento utilizando o nitrito, pois esta oxida o composto químico, o transforma em nitrato e utiliza o oxigênio contido na água como fonte de energia (MACHADO, 2004).

São usados principalmente em processos que possuem pouca capacidade e normalmente transferem o calor absorvido por meio de um trocador de calor, para um sistema aberto, sendo assim a forma de liberação deste para a atmosfera (VEIGA, 2010).

Certas instalações de refrigeração e ar condicionado, circuitos fechados de resfriamento de compressores, as turbinas a gás, radiadores para motores de combustão interna de caminhões, tratores e automóveis, são exemplos que fazem a utilização deste tipo de sistema (TROVATI, 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de estudo

As amostras de água residuárias foram provenientes do processo produtivo de um Engenho de Produção de aguardente de cana-de-açúcar localizado no município de Córrego Fundo/MG. No engenho, são descartadas em média 70.000 mil litros de água por dia, utilizadas no resfriamento da cachaça.

4.2 Pontos de Coleta

O estudo da qualidade da água foi realizado a partir de seis amostras, retiradas de um tanque (FIG. 15), onde ela é depositada logo após sua utilização, e em seguida descartada. Estas foram coletadas em dias diferentes, a fim de se verificar a variabilidade temporal dos valores obtidos de cada um dos parâmetros analisados.

Figura 15 - Tanque de depósito do efluente utilizado no processo de resfriamento



Fonte: A autora (2017)

4.3 Análise da água

Para cada uma das amostras foram analisados os seguintes parâmetros: Dureza de cálcio e magnésio, temperatura, coliformes fecais, condutividade elétrica, pH, sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos, DBO e oxigênio dissolvido. Estas análises foram realizadas no Laboratório Centro de Análise de Água e Resíduos (CENAR), localizado no Centro Universitário de Formiga – UNIFOR - MG. O método de realização destes está apresentado a seguir.

4.3.1 Dureza de cálcio e magnésio

As durezas de cálcio e de magnésio foram determinadas pelo método de titulação por complexação, descrita em APHA (1995). Os reagentes utilizados na titulação foram hidróxido de sódio, veículo e indicador murexida e EDTA.

4.3.2 Temperatura

A determinação da temperatura foi feita através de um oxímetro digital microprocessado, com resolução de 0,1 °C.

4.3.3 Coliformes totais e termotolerantes

Para obtenção do número de Unidades Formadoras de Colônias por 100 mL de água, foram utilizados kits Colipaper, da Alfakit, para análise quantitativa, encubados em estufa microbiológica por 15 horas.

4.3.4 Condutividade elétrica

Com um condutivímetro digital portátil com compensação automática de temperatura e com escala de medição entre 0,00 mS cm⁻¹ e 19,99 mS cm⁻¹, foi obtida a condutividade elétrica. O aparelho teve sua resolução de 0,01 mS cm⁻¹, com precisão ± 2%.

4.3.5 pH

O pH foi medido com um pHmetro digital microprocessado AT 315 da Alfakit, com compensação automática de temperatura e teclado a prova d'água. A faixa de leitura do aparelho foi de 0,0 a 14,0, resolução de 0,01 e precisão de $\pm 1\%$.

4.3.6 Sólidos totais, sólidos sedimentáveis e sólidos dissolvidos

Através do método gravimétrico e utilizando 30 mL de amostra, foi feita a determinação dos sólidos totais. Estes foram colocados em cápsulas de porcelana, e em seguida pesadas em balanças com precisão de 0,01. Depois foram ser secadas em estufa, para que depois de esfriadas em dessecador, seus pesos secos fossem obtidos. O resultado da concentração de sólidos totais se dá pela diferença dos pesos em razão do volume da amostra.

Já os sólidos sedimentáveis, foram determinados com a utilização de um cone INHOFF, com tempo de sedimentação de uma hora, enquanto os sólidos dissolvidos serão determinados pela relação citada por PAGANINI (1997), em que, $SDT (mg L^{-1}) = CE (dS m^{-1}) \times 640$.

4.3.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO

Para a determinação da DBO_5 , foi utilizado o método de titulação iodométrica, obedecendo ao *Standard methods for examination of water and wastewater* (APHA, 1995), e as amostras foram incubadas a 20 °C. A preparação da água de diluição foi realizada a partir de reagentes, tais como: cloreto de cálcio, cloreto férrico, cloreto amônico, fosfato de potássio, sulfato de magnésio e sódio. Já para a determinação do oxigênio dissolvido, os reagentes utilizados foram ácido sulfúrico, amido, iodeto de potássio em meio básico e sulfato manganoso.

4.3.8 Oxigênio dissolvido

Foi obtido utilizando um oxímetro digital microprocessado, com faixa de resolução de 0,01 até 50,0 mg/ L.

4.4 Análises dos resultados

Os resultados obtidos pelas análises foram comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução 357 (BRASIL, 2005) e 430 (BRASIL, 2011) do CONAMA, observados valores sugeridos para ambientes lóticos, quando for o caso. As concentrações dos parâmetros de qualidade foram analisados por meio gráficos de *box-plot*, para que sua variabilidade possa ser interpretada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Dureza de cálcio e magnésio

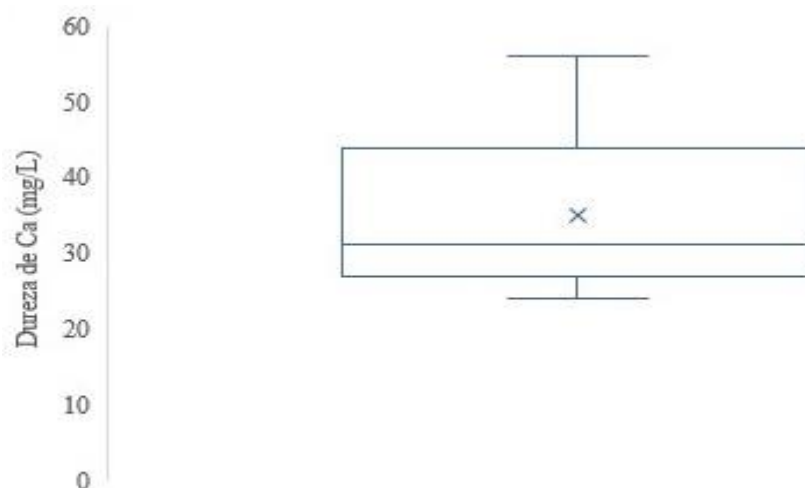
Os cátions normalmente associados à dureza são os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} . Quanto menor à concentração destes sais, mais macia é a água, e mais dura quando houver maior quantidade presente.

É importante que a dureza da água seja controlada nas indústrias, quando se faz o uso de caldeiras, para que o acúmulo de sais nas tubulações não ocasione em obstruções (MÓL; BARBOSA; SILVA, 1995).

A resolução n° 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011) não apresenta valores máximos permissíveis para dureza total, de cálcio e de magnésio. Porém entende-se que a presença excessiva desses elementos podem causar incrustações nas tubulações de passagem dos efluentes.

As durezas de cálcio obtidas nas amostras de água são apresentadas no GRÁF. 1.

GRÁFICO 1– *Box-plot* dos valores de dureza de cálcio nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada

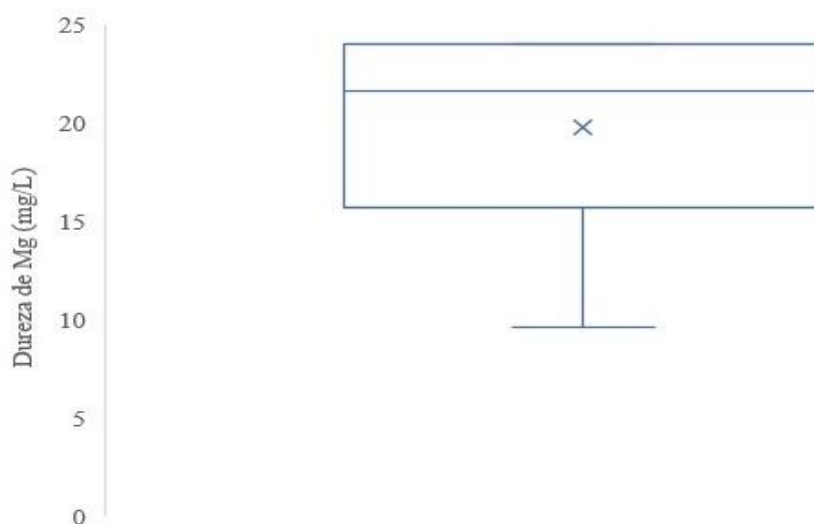


Fonte: A autora (2017).

Os valores encontrados variaram entre 24 e 56 mg/L enquanto a média foi de 35 mg/L e a mediana 31,20 mg/L.

Já a dureza de magnésio sofreu uma variação entre 9,6 e 24 mg/L, a mediana foi 21,6 mg/L e a média 19,76 mg/L. O maior valor encontrado foi de 24 mg/L, coincidindo com o quinto dado, por isso o gráfico (GRÁF. 2), não indica o maior dado por meio de uma *whisker*.

GRÁFICO 2 – *Box-plot* dos valores de dureza de magnésio nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada



Fonte: A autora (2017).

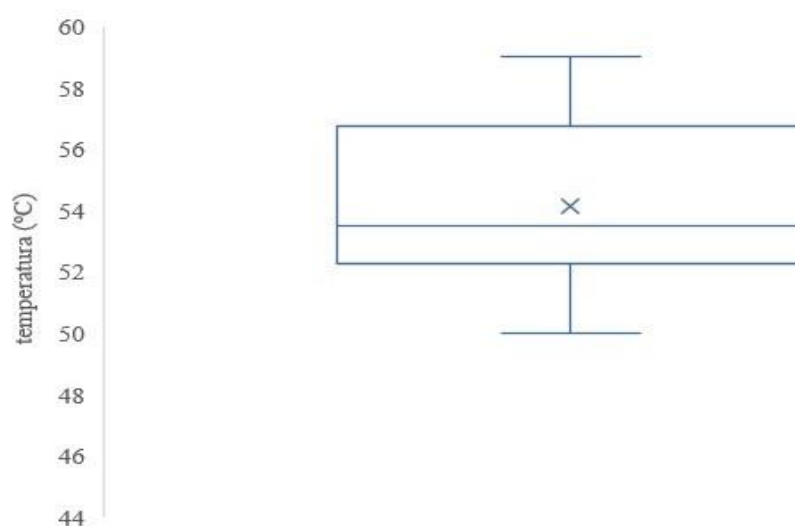
Classifica-se a dureza em mole ou branda, quando sua concentração for menor que 50 mg/L de CaCO_3 ; dureza moderada: entre 50 mg/L e 150 mg/L de CaCO_3 ; dura: entre 150 mg/L e 300 mg/L de CaCO_3 ; e muito dura quando maior que 300 mg/L de CaCO_3 (BRASIL, 2014).

Para que as durezas sejam classificadas, é necessário somar dureza de cálcio com magnésio, o que representa a dureza total. Portanto, somente 2 das amostras apresentaram durezas totais moderadas, sendo estas, 56 mg/L e 77,6 mg/L, estando compreendidas entre o intervalo de 50 mg/L e 150 mg/L. As outras 4 amostras restantes, são classificadas como mole, tendo como resultado 48 mg/L, 48,16 mg/L e duas 49,6 mg/L e estando todas abaixo de 50 mg/L.

- Temperatura

As temperaturas obtidas nas amostragens do efluente de resfriamento de alambique são mostradas no GRÁF. 3.

GRÁFICO 3 – *Box-plot* dos valores de temperatura obtidos para nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada



Fonte: A autora (2017).

As temperaturas obtidas nas medições sofreram uma variação de 9°C, observando o maior e o menor valor (GRÁF. 3), e todas elas ultrapassaram o limite de 40 °C, para efluentes estabelecidos por Brasil (2011).

A maior temperatura foi de 59°C e a menor 50°C. Pode-se observar que o valor médio foi de 54°C, justificando a menor variação no primeiro quartil, já que a maioria das temperaturas encontradas foram menores ou iguais à temperatura média.

O valor elevado dessa temperatura se dá pelo processo de resfriamento da aguardente de cana-de-açúcar que a água é submetida. Sendo assim, para que este efluente seja despejado diretamente no corpo hídrico, se faria necessário o resfriamento do mesmo, sendo que Brasil (2011) regulamenta que o efluente não deverá gerar um aumento de temperatura de 3°C a do corpo receptor.

Como o efluente produzido, têm qualidade considerável, ele pode ser submetido a sistemas de resfriamento que possibilitem seu reuso, por meio de processos a ser implantados

na própria indústria, como por exemplo, os sistemas abertos e fechados de resfriamento. Sendo assim, a temperatura ficaria em um nível permitido pela Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011), ou seja, 40°C, e estaria propício para ser utilizado em um novo processo industrial, como também para ser lançado em corpo hídrico receptor, sem restrições.

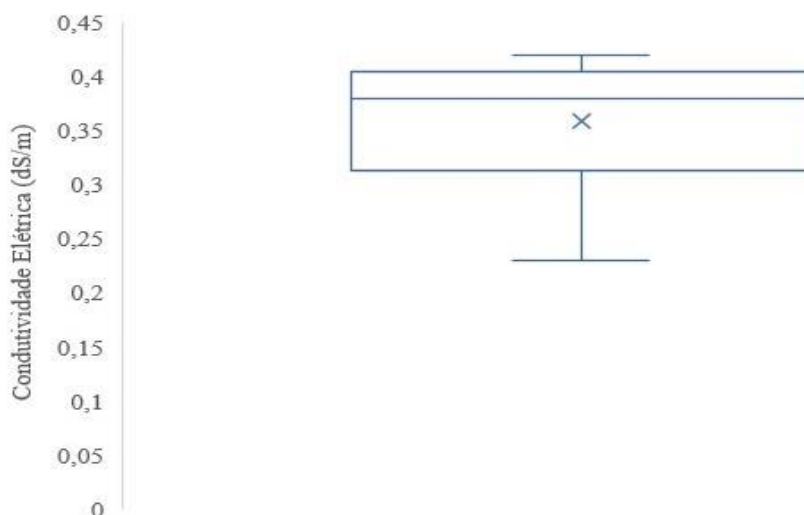
- Coliformes termotolerantes e totais

Não foram gerados gráficos para os coliformes termotolerantes e totais, já que nas 6 amostras analisadas da água de resfriamento, não foi observada presença de coliformes termotolerantes e totais.

- Condutividade Elétrica

As condutividades elétricas obtidas nas amostragens do efluente de resfriamento de alambique são mostradas no GRÁF. 4.

GRÁFICO 4 – *Box-plot* dos valores de condutividade elétrica nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada



Fonte: A autora (2017).

Observa-se que da parte inferior do gráfico (GRÁF. 4) até a mediana, há um maior intervalo, do que se comparando da mediana até a parte superior. Isso acontece porque a variabilidade entre os menores dados encontrados é maior do que as dos maiores dados.

É possível também analisar que o menor dado encontrado foi de 0,23dS/m, indicando que há uma menor concentração de íons presentes no efluente do que no espaço dado de 0,42 dS/m.

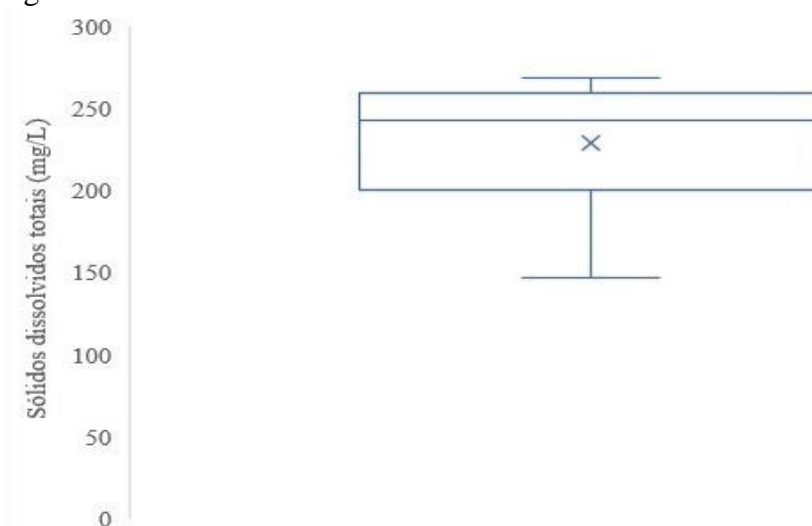
A Resolução 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011), não regulamenta um limite máximo para a condutividade elétrica de efluentes, mas este é um fator importante para analisar a qualidade da água, pois, por meio dos valores obtidos para este parâmetro também é possível medir a sua salinidade.

As águas naturais apresentam normalmente condutividade elétrica inferior a 0,1 dS/m, podendo chegar até 1 dS/m, em corpos que recebem altas cargas de efluentes industriais e domésticos (LIBÂNIO, 2010).

- Sólidos Dissolvidos Totais

Os sólidos totais dissolvidos consistem na soma das substâncias químicas dissolvidas em determinado líquido, e, os valores obtidos no efluente de resfriamento do alambique avaliado, são mostrados no GRÁF. 5.

GRÁFICO 5 – *Box-plot* dos valores de sólidos dissolvidos totais para as amostras de água de resfriamento da indústria estudada



Fonte: A autora (2017).

Analisando o GRÁF. 5, pode-se perceber que os dados tiveram uma variação considerável de 121,60 mg/L, onde o valor máximo foi de 268,80 mg/L e o menor 147,20

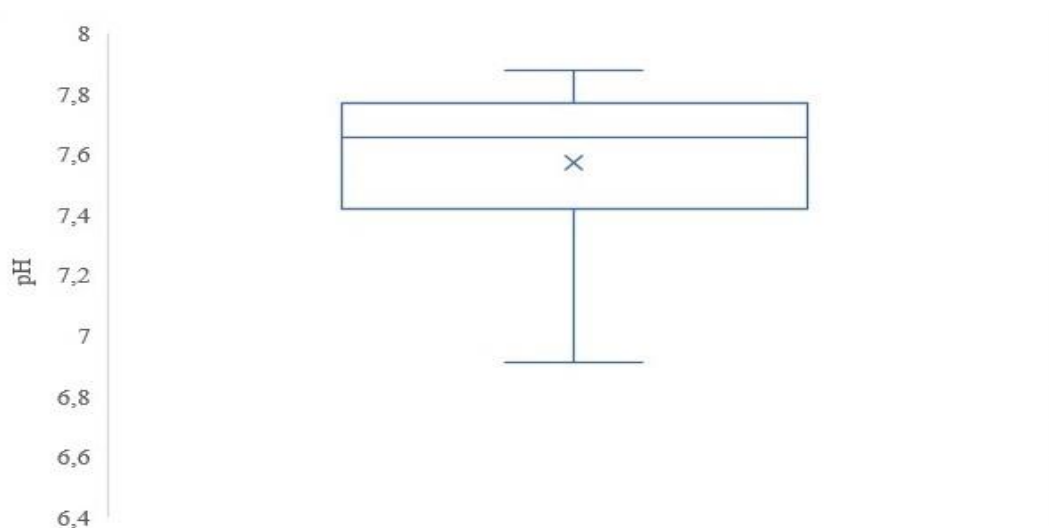
mg/L. Percebe-se também que a maior parte dos dados estão no primeiro quartil, abaixo da mediana, o que indica que os dados de menor valor variaram mais que os dados de maior valor.

A presença desses sólidos não é quantificada pelos padrões de qualidade da água dada por Brasil (2011), porém, é um parâmetro relevante para qualificação de águas quanto a sua potabilidade e contaminantes químicos.

- pH

O GRÁF. 6 mostra o *box-plot* dos valores de pH obtidos na água das 6 amostras analisadas. Esses valores apresentaram pequena variação, comparando-se o menor e o maior valor, onde o menor pH foi 6,91 e o maior 7,88.

GRÁFICO 6 – *Box-plot* dos valores de pH para as amostras de água de resfriamento da indústria estudada



Fonte: A autora (2017).

Assim, analisando o gráfico pode-se perceber que os valores, do terceiro quartil, onde estão representados numericamente 25% dos dados, sofrem menor variabilidade que os dados menores, pois a mediana encontrada foi de 7,65, estando mais próximo do 7,88.

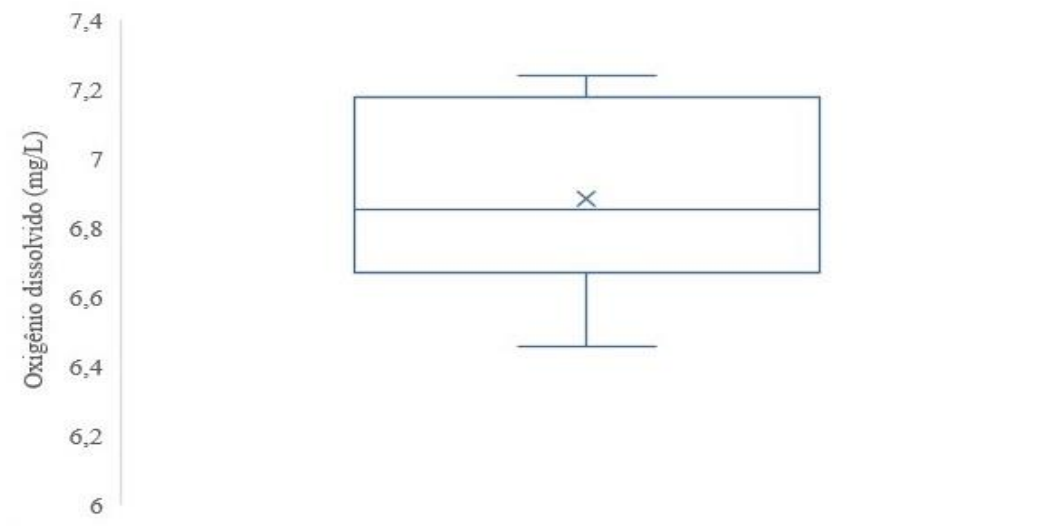
Os valores de pH que não se encontram entre a faixa de 6,0 a 9,0 podem ter como consequência a inibição total dos processos de metabolismo de microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (GOMES et al., 2012).

De acordo com a Seção II, Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, Resolução CONAMA N° 430/2011, o pH, atende as exigências para o lançamento do efluente no corpo receptor em todas as amostras, podendo ter variação entre 5 e 9. Os valores obtidos mostram que a faixa de resultados é considerada neutra. Considera-se então que a água também é propícia para o reuso em atividades industriais.

- Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio

O GRÁF. 7 apresenta o *box-plot* dos valores de Oxigênio Dissolvido obtidos na água das várias amostras analisadas.

GRÁFICO 7 – *Box-plot* dos valores do oxigênio dissolvido nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada



Fonte: A autora (2017).

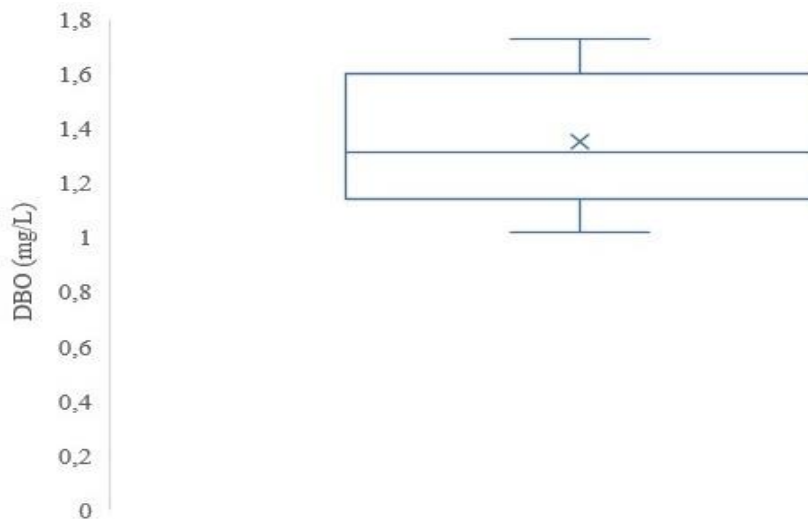
Não se encontra regulamentando por Brasil (2011), um limite máximo de OD para efluentes, porém a redução do valor de OD se dá pelas elevadas cargas orgânicas, ou seja, por valores elevados de DBO, que, logo após o lançamento, consomem o oxigênio disponível em função da oxidação da matéria orgânica realizada por bactérias (NAGALLI; NEMES, 2009). Os resultados tiveram pequena variação, de 0,78 mg/L, sendo o valor máximo 7,24 mg/L e o mínimo 6,46 mg/L. O valor médio foi de 6,88 mg/L e a mediana 6,86 mg/L, ou seja, próximos.

Já a DBO_{20} , por meio de processos bioquímicos, aponta a quantidade necessária de oxigênio para estabilizar a matéria orgânica (VEIGA, 2005). O teste da DBO deve ser realizado após um período de 5 dias de incubação e temperatura constante de $20^{\circ}C$.

Segundo a resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011) sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, é necessário à retirada de no mínimo 60% de DBO, para seu despejo no corpo receptor, o que não foi avaliado neste estudo.

É possível perceber que no GRÁF. 8 que a parte inferior e a parte superior à mediana têm tamanhos muito parecidos. Isso acontece porque a variabilidade entre os maiores e menores dados é muito similar, sendo que o menor dado encontrado foi de 1,02 mg/L e o maior dado 1,73 mg/L. Essa pequena variação também é perceptível quando se comparada com a mediana com 1,32 mg/L e com a média dos dados com 1,35 mg/L.

GRÁFICO 8 – *Box-plot* dos valores da demanda bioquímica de oxigênio nas amostras de água de resfriamento da indústria estudada



Fonte: A autora (2017).

6 Conclusão

Analisando qualidade do efluente gerado no processo de resfriamento da indústria estudada, conclui-se que o mesmo não é lançado em curso d'água superficial da forma adequada, conforme a legislação federal vigente, em função de sua alta temperatura.

Entretanto, é possível reaproveitá-la, quando resfriada, em novos processos industriais que não necessitam de água potável, utilizando-se de sistemas adequados de resfriamento. Com este processo, a mesma também teria qualidade suficiente para lançamento em cursos d'água superficiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

--- NBR 9800; **Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário.** Abril de 1987.

--- NBR 10004; **Resíduos sólidos – Classificação.** Novembro de 2004.

--- NBR 14001; **Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso.** Janeiro de 2005.

ABDALLA, K.V.P.et.al. **Avaliação da dureza e das concentrações de cálcio e magnésio em águas subterrâneas da zona urbana e rural do município de Rosário-MA.** XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luís, 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22915>>. Acesso em 2 de abr.2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Consulta Pública nº 39, de 29 de abril de 2010.** Disponível em: <http://www.abrasp.org.br/fotos/CP+N%C2%BA+39+DIMCB.pdf> . Acesso em 22 de abr.2017.

AGUIAR, A.M.S. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com cor e turbidez moderadas.** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. Belo Horizonte, 2000. Disponível em:<<https://pt.scribd.com/document/306862675/Dissertacao-emprego-Da-Radiacao-Uv-Na-Desinfeccao-de-Aguas-Com-Cor-e-Turbidez-Moderadas>>. Acesso em 21 de abr.2017.

AMARAL, C.T; CORREIA, M.P; PEREIRA, P.T. **Corrosão em estruturas metálicas: Uma breve discussão acerca de prevenção em torres de telecomunicações.** Centro Universitário de Belo Horizonte. UNIBH. Belo Horizonte, 2008. Disponível em:<<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/viewFile/211/113>>. Acesso em 22 de abr.2017.

AMPAQ. **Associação Mineira dos Produtores de Cachaça de Qualidade.** Disponível em: <<http://www.ampaq.com.br/index.php?op=conteudo&id=128&pag=3&menuId=14> >. Acesso em 03 de mar. 2017.

APHA; AWWA & WPCF. **Standard methods for examination of water and wastewater.** 19ªed, Washington D.C. USA, American Public Health Association, 1995.

AQUAAMBIENTE. **Tratamento águas potáveis.** 2004. Disponível em <<http://mariorebola.com/home/wp-content/uploads/2011/09/AquaAmbiente-Tratamento-de-%C3%81gua-Pot%C3%A1vel.pdf>>Acesso em 28 de maio. 2017.

ARAI, A; DUARTE, L.R. **Estudo da formação de incrustações carbonáticas**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000123.pdf>>. Acesso em 17 de abr.2017.

ASSAN, M. A.C. **Avaliação do desempenho de um reator biológico de discos rotativos (Biodisco) no tratamento de efluentes da indústria sucroalcooleira**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, 2006. Disponível em <<http://www.unaerp.br/documentos/273-marco-andre-de-carvalho-assan/file> > Acesso em 27 de mar.2017.

BERNARDI, C.C. **Reuso de água para irrigação**. Distrito Federal, 2003. Disponível em <<http://www.mineiropt.com.br/old/arquivosnot/arq49c25ab16efdd.pdf>>Acesso em 25 de maio. 2017.

BOZA, Y; HORII, J. **Influência da destilação sobre a composição e a qualidade sensorial da aguardente de cana-de-açúcar**. Ciência e tecnologia de alimentos. v.18, n.4, out/dez.1998. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611998000400006&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em 05 de mar.2017.

BRAILE, P.M; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias**. In: São Paulo: CETESB,1993. 764p.

BRASIL. Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014. 112 p. Disponível em:<http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em 18 de set.2017.

BRASIL. Ministério do meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO nº 357**. Diário Oficial da União, 17 de março de 2005. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em 18 de set.2017.

BRASIL. Ministério do meio Ambiente. Conselho Nacional do meio Ambiente. **RESOLUÇÃO nº 430**. Diário Oficial da União, 17 de março de 2005. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em 20 de set.2017.

CAPELLETTI, R.V. **Avaliação da atividade de biocidas em biofilmes formados a partir de fluido de corte utilizado na usinagem de metais**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.Campinas.SãoPaulo,2006. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/xmlui/bitstream/handle/REPOSIP/266382/Capelletti%20Raquel%20Vannucci.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 23 de abr.2017.

CASTRO, M, A. **Importância do tratamento de água ETA 006 Saneatins.**

Faculdade Católica do Tocantins. Palmas, Tocantins, 2010. Disponível em:

<http://www.catolica-to.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2010-2/4-periodo/Importancia_do_tratamento_de_agua_eta_006_saneatins.pdf>. Acesso em 11 de abr.2017

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA. **Reuso de água na indústria.** 2004. Disponível em <http://www.crq4.org.br/informativomat_485>Acesso em 25 de maio. 2017.

COUTINHO, E.P. **Práticas ultrapassadas e mitos de qualidade na cadeia de produção artesanal.** XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Ouro Preto-MG, out.2003. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENGEP2003_TRO1110119.pdf>. Acesso em 08 de mar.2017.

EMBRAPA. **Agência de Informação Tecnológica.** [Home Page]. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em 1 de mar.2017.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP); CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (CIESP); AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conservação e reuso de água: manual de orientações para o setor industrial.** v. 1. 48 São Paulo: FIESP, 2004. Disponível em:<<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-da-agua-2004/>>. Acesso em 20 de maio. 2017

FERNANDES. R.D.et.al. **Gestão do processo artesanal de produção de aguardente de cana-de-açúcar: ênfase nos impactos ambientais/estudo de caso em Belo Horizonte – MG.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. 2009. Disponível em <<https://jornada.ifsuldeminas.edu.br/index.php/jcmch1/jcmch1/paper/viewFile/1815/1239>>Acesso em 25 de mar.2017.

FERRARO, R.J. **Sistema de osmose reversa.** Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo. 2008. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1524.pdf>>.Acesso em 11 de abr.2017.

FÓFANO, S; PONTE, H. **Avaliação de monitoração de corrosão água de resfriamento contaminada com sulfetos.** Disponível em: <http://www.gea.ufpr.br/Trabalhos/Congressos/Coteq99-FofanoPonte.pdf>. Acesso em 20 de maio.2017.

FRAUCHES-SANTOS, C.et al. **A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos.** Revista Virtual de Química, v.6, n. 2, p. 293-309.Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Química, Seropédica-RJ, Brasil, 2013.Disponível em :<<http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/490/422>>. Acesso em 20 de abr.2017.

FREITAS; FERREIRA. **Uso da água no processo de produção de álcool: Estudo de caso.** Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2006.Disponível em <<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/arquivosupload/36/file/uso%20da%20%C3%81gua%20>

no%20processo%20de%20produ%C3%87%C3%83o%20de%20%C3%81lcool.pdf>. Acesso em 28 de mar.2017.

FREITAS, G.L; FERREIRA O.M. **Uso da água no processo de produção de álcool: estudo de caso.** Universidade Católica de Goiás. Goiânia.2006. Disponível em <<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/arquivosupload/36/file/uso%20da%20%C3%81gua%20no%20processo%20de%20produ%C3%87%C3%83o%20de%20%C3%81lcool.pdf>>Acesso em 26 de mar.2017.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS.**Ministério da Saúde. Brasília, 2014. Disponível em http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_eme tas.pdf. Acesso em 2 de abr.2017.

GOMES, J.B.O.et.al. **Aspectos ambientais para produção de aguardente de cana em alambique artesanal.** XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-graduação. Universidade do Vale do Paraíba.2008. Disponível em <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/0441_0695_01.pdf>Acesso em 25 de mar.2017

GOMES, A.S.P. **Estudo Qualitativo da Água no Município de Picuí-PB, Enfocando os Parâmetros Cor, Turbidez e pH.**Revista Principia, n° 20. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. Campus de Picuí.João Pessoa,2012. Disponível em <<http://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/187/150>> Acesso em 25 de set.2017

GONÇALVES; BRASILEIRO; LIMA. **Economia no consumo de água no sistema de resfriamento de uma unidade sucroalcooleira com o aumento do ciclo de concentração.** Universidade Estadual Paulista, UNESP, Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <<http://livrozilla.com/download/540869>>. Acesso em 26 de mar.2017

GONDIM, N. M. **Alternativas para redução do consumo de água e energia em sistemas de água de resfriamento e geração de vapor em refinarias de petróleo do Brasil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Escola Politécnica e Escola de Química, Rio de Janeiro, 2014.Disponível em <<http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli1051.pdf>>Acesso em 29 de maio.2017.

JUNG, S.I; FERNANDES, S.B.V; UHDE, L.T. **Aspectos Socioambientais da Produção de álcool e cachaça no Noroeste- Missões do Rio Grande do Sul.** Desenvolvimento em questão v. 13, n. 29. 2015. Disponível em <<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/2909>>Acesso em 26 de mar.2017.

KRAEMER, C.F. **Construção e pré operação de uma planta piloto de osmose inversa e nanofiltração na indústria.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18942/000732091.pdf?sequence=1>>. Acesso em 1 de abr.2017.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 494p.

MACHADO, L.P. **Reúso de esgotos sanitários tratados para fins de água de reposição em torres de resfriamento – sistemas semiabertos. Dissertação** (Mestrado em Engenharia Ambiental). Centro de Tecnologia e Ciências. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2004. Disponível em [:<http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2004/LilianPereiraMachadoPEAMB_2004.pdf>](http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2004/LilianPereiraMachadoPEAMB_2004.pdf). Acesso em 13 de maio.2017.

MACHADO, I.A. **Tratamento terciário de efluentes de estações de tratamento por lodo ativado para fins de reuso como água de reposição em torres de resfriamento. Tese** (Mestrado em Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. ENSP, 2005. Disponível em [<http://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/4855>](http://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/4855)Acesso em 29 de maio. 2017.

MAGNAN, M. C. **Pintura na Proteção Anticorrosiva**. Centro Universitário Estadual Da Zona Oeste – UEZO, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em [:<http://www.uezo.rj.gov.br/tccs/capi/MurilloMagnan.pdf>](http://www.uezo.rj.gov.br/tccs/capi/MurilloMagnan.pdf). Acesso em 20 de abr.2017.

MALTA, H. L. **Estudos de Parâmetros de Propagação de Fermento (Saccharomyces Cerevisiae) para Produção de Cachaça de Alambique**. 2006. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: [<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MBSA6XWFAD/diss_versao_final.pdf?sequence=1>](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MBSA6XWFAD/diss_versao_final.pdf?sequence=1). Acesso em 08 de mar.2017. 50

MANCUSO, P.C.S. **Reuso de água para torres de resfriamento**. São Paulo, 2001. Disponível em [:<http://dspace.fsp.usp.br/xmlui/bitstream/handle/bdfsp/678/man001.pdf?sequence=1>](http://dspace.fsp.usp.br/xmlui/bitstream/handle/bdfsp/678/man001.pdf?sequence=1). Acesso 21 de maio. 2017.

MARQUES, H.M.S.M. **Vinhoto da cana de açúcar aproveitamento e impactos ambientais na região de Ibaiti/PR**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. UTFPR.2013. Disponível em http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2565/1/MD_ENSCIE_III_2012_31.pdf > Acesso em 27de mar.2017.

MARTINS, H.C. **Estudo sobre os processos de coagulação, floculação e decantação em efluentes oriundos de usina canavieira**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014. Disponível em [:<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2668/1/LD_COEAM_2013_2_10.pdf>](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2668/1/LD_COEAM_2013_2_10.pdf). Acesso em 10 de abr.2017.

MENEZES; MACHADO; NASCIMENTO. **Uma análise científica da água**. V Colóquio Internacional " Educação e Contemporaneidade". São Cristóvão, 2011. Disponível em: [<http://educonse.com.br/2011/cdroom/eixo%206/PDF/Microsoft%20Word%20%20UMA%20ANALISE%20CIENTIFICA%20DA%20aGUA.pdf>](http://educonse.com.br/2011/cdroom/eixo%206/PDF/Microsoft%20Word%20%20UMA%20ANALISE%20CIENTIFICA%20DA%20aGUA.pdf). Acesso em 1 de Junho.2017.

MENGER, R.K. **Síntese e caracterização de poli (ácido lático- co-ácido glutâmico) para o uso de inibidor de incrustações inorgânicas.** Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015. Disponível em:<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/131671/000981366.pdf?sequence=1>> . Acesso em 16 de abr.2017.

MESQUITA, A.P; KELLNER. **Avaliação do índice de Langelier em Sistema de distribuição de água de São Carlos (SP),suprido por manancial subterrâneo: Estudo de estabilização.** Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 03, n. 14, 2015. Disponível em <https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/1031/1055>Acesso em 1 de abr.2017.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR. **Portaria n.º 276 de 24 de setembro de 2009.** (p.3). Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001497.pdf>>. Acesso em 2 de mar.2017.

MÓL, G.S; BARBOSA, A.B; SILVA,R.R. **Água dura em sabão mole.** Revista Química Nova na escola. 1995. Disponível em:<<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc02/exper2.pdf>>. Acesso em 22 de set.2017.

MORAGAS, W.M; SCHNEIDER, M.O. **Biocidas: Suas propriedades e seu histórico no Brasil.** Caminhos de Geografia, Instituto de Geografia, UFU.2003.Disponível em :<<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/15315/8614>>. Acesso em 21 de abr.2017.

MURANAKA, C.T. **Combinação de adsorção por carvão ativado com processo oxidativo avançado (POA) para o tratamento de efluentes contendo etanol.** Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.2010.Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-20082010-145336/publico/Tese_Cynthia_Tiemi_Muranaka.pdf>. Acesso em 11 de abr.2017. 51

NOVA CANA. **Uso da água na produção da cana-de-açúcar e etanol.**2013.Disponível em <<https://www.novacana.com/cana/uso-agua-producao-cana-etanol/>>. Acesso em 26 de mar.2017.

OLIVEIRA, A.M.L. **O processo de produção da cachaça artesanal e sua importância comercial.** (p.17) Belo Horizonte, 2010.Disponível em:<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-99VGVE/monografia_ana_marcia_2011_2.pdf?sequence=1>. Acesso em 2 de mar.2017.

OLIVEIRA, C.R. et.al. **Cachaça de alambique.** Manual de boas práticas ambientais e de produção.2005. Disponível em <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Manual_de_Cachaca_040805.pdf>Acesso em 26 de mar.2017

OLIVEIRA, G. L. **A metodologia Teclim para uso racional da água na indústria: Uma proposta de sistematização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, Salvador, 2011. Disponível em <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_geiza.pdf> Acesso em 25 de maio.2017.

PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície**. São Paulo; AESABESP, 1997. 232 p.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situações de corrosão e incêndio**. Gerdau Açominas, 6ª Edição, 2015. Disponível em:<<https://www.gerdau.com.br/pt/productsservices/products/Document%20Gallery/manual-protacao-de-estruturas.pdf>>. Acesso em 21 de abr.2017

PAVÃO, J.A.C. **Controle microbiológico nas águas de resfriamento industrial**. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA, 2013. Disponível em:<<https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/0911290035.pdf>>. Acesso em 12 de maio. 2017.

PENSAMENTO VERDE. **A importância do tratamento de água industrial**.2013. Disponível em:< <http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/a-importancia-do-tratamento-de-agua-industrial/> >. Acesso em 12 de abr.2017.

PERES, F.A. et.al. **Tratamento de águas de refrigeração com peróxido de hidrogênio**. Química Nova, Vol. 31, n.7, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000700042>. Acesso em 12 de abr.2017.

PINTO, A.L; OLIVEIRA, G.H; PEREIRA, G.A. **Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim**. Revista GEOMAE v.1n.1.Campo Mourão, Paraná, 2010.Disponível em <http://www.fecilcam.br/revista/index.php/geomae/article/viewFile/7/pdf_3>. Acesso em 1 de abr.2017.

PINTO, M. C. F. **Manual medição in loco: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido**. CPRM Serviço Geológico do Brasil,2007. Disponível em:< http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_medica/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf >. Acesso em 2 de abr.2017. 52

PIVELLI, R. P. **Curso Qualidade das águas e poluição: Aspectos Físico-químicos. Características Químicas das águas: pH, acidez, alcalinidade e dureza**. Universidade de São Paulo, USP, 2010. Disponível em:< https://www.google.com.br/url?sa=t&rect=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEWjy9Ky2hbjUAhWJUJAKHWwLD54QFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.pha.poli.usp.br%2FLeArq.aspx%3Fid_arq%3D731&usq=AFQjCNGeOdi67PdJIMuDSIdxgHsydbBmlw>. Acesso em 2 de abr.2017

POLLO, L.D. **Reaproveitamento de águas e efluentes inorgânicos de uma indústria petroquímica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004. Disponível em:<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/131671/000981366.pdf?sequence=1>> . Acesso em 13 de abr.2017.

REVISTA TAE. **Conheça como funciona uma estação de tratamento de efluentes.** 2013. Disponível em:<<http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=5801>>. Acesso em 12 de abr.2017.

REVISTA TAE. **Estações de tratamento de água convencional.** 2013. Disponível em:<<http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=5460>>. Acesso em 12 de abr.2017.

REVISTA TAE. **Resinas trocadoras de íons, soluções a favor do tratamento de água e efluentes.** 2012. Disponível em:< <http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=4915> >. Acesso em 11 de abr.2017.

REVISTA TAE. **Reuso de água e seus benefícios para a indústria e meio ambiente.** Edição n.12.2013. Disponível em <<http://www.revistatae.com.br/artigos.asp?id=138&fase=c>>Acesso em 28 de maio.2017.

RIANI, J.C. **Utilização de resinas de troca-iônica em efluentes de galvanoplastia.** Tese (Doutorado). Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-30092008-151250/pt-br.php>>Acesso em 2 de abr.2017.

ROCHA, C.M.B.M.et.al.**Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000.**Caderno de Saúde Pública, vol. 22, n.9. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:< http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2006000900028&script=sci_abstract&tlng=pt >. Acesso em 2 de abr.2017.

ROSA, C.M.et.al. **Comportamento de reagentes inibidores de incrustação aplicados na perfuração de poços de petróleo.** Revista Matéria v.20 n.2, p.514-522, 2015.Disponível em :<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762015000200514&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em 15 de abr.2017.

SILVA, A.F. **Otimização de torres de tratamento.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.Disponível em :<<http://tpqb.eq.ufrj.br/download/otimizacao-de-torres-de-resfriamento.pdf>>. Acesso em 23 de maio.2017. 53

SILVA, V.N.**Biocidas Alternativos em Sistemas de Resfriamento Industrial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2013.Disponível em :<<http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli820.pdf>>. Acesso em 16 de abr.2017.

SILVA, R.S. **Tinta inteligente na proteção anódica de aço carbono**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, 2016. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/153285>>. Acesso em 20 de abr.2017

SILVEIRA, G.E. **Sistemas de tratamento de efluentes industriais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35193/000792974.pdf>> Acesso em 26 de mar.2017

TATEOKA, M.S.S. **Tratamento de água de abastecimento por nanofiltração e osmose inversa para remoção dos carbamatos: Carbaril, Carbofurano e metomil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/129599>>. Acesso em 11 de abr.2017.

TROVATI, J. **Tratamento de Águas Industriais: Sistemas de Resfriamento**. Relatório Técnico, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf>. Acesso em 1 de abr.2017.

UEHARA, T.M. **A gestão da água no desenvolvimento industrial-ferro-níquel**. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2008. Disponível em :<<http://livrozilla.com/doc/1717153/a-gest%C3%A3o-da-%C3%A1gua-no-desenvolvimento-industrial-%E2%80%93-ferro>>. Acesso em 13 de abr.2017.

VEIGA, A.A. **Estudo do Efeito Biocida do Cloro e do Peróxido de Hidrogênio em Sistemas de Resfriamento com Reuso de Efluente como Água de Reposição**. Dissertação (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em :<<http://186.202.79.107/download/efeito-biocida-do-cloro-e-peroxido-de-hidrogenio.pdf>>. Acesso em 23 de maio.2017

VEIGA, G. **Análises físico-químicas e microbiológicas de água de poços de diferentes cidades da região sul de Santa Catarina e efluentes líquidos industriais de algumas empresas da grande Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências físicas e matemáticas. Departamento de química Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/105056>>. Acesso em 21 de set.2017