

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLOS DONISETI MARCELINO DE SOUZA

AVALIAÇÃO DO USO DE PERCARBONATO DE SÓDIO NA REDUÇÃO DE CARGA
ORGÂNICA DE UM EFLUENTE GALVÂNICO

CURITIBA

2019

CARLOS DONISETI MARCELINO DE SOUZA

AVALIAÇÃO DO USO DE PERCARBONATO DE SÓDIO NA REDUÇÃO DE CARGA
ORGÂNICA DE UM EFLUENTE GALVÂNICO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial, no Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: MSc. Marielle Feilstrecker

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S729a Souza, Carlos Doniseti Marcelino de
Avaliação do uso de percarbonato de sódio na redução de carga orgânica de um efluente galvânico[recurso eletrônico] / Carlos Doniseti Marcelino de Souza – Curitiba, 2019.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientadora: Marielle Feilstrecker

1. Resíduos Industriais. 2. Efluente galvânico. 3. Oxidação. I. Universidade Federal do Paraná. II. Feilstrecker, Marielle. III. Título.

CDD: 628.43

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE
URBANO E INDUSTRIAL - 40001016057P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **CARLOS DONISETI MARCELINO DE SOUZA** intitulada: **AVALIAÇÃO DO USO DE PERCARBONATO DE SÓDIO NA REDUÇÃO DE CARGA ORGÂNICA DE UM EFLUENTE GALVÂNICO**, sob orientação da Profa. Dra. MARIELLE FEILSTRECKER, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 29 de Outubro de 2019.

MARIELLE FEILSTRECKER

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ/PPGMAUI)

CLAUDIA REGINA XAVIER

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

REGINA WEINSCHUTZ

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

A minha esposa Adriana e ao meu filho Michel pela paciência durante o curso;

Aos meus pais Manoel e Severina que sempre me incentivaram a estudar e se aperfeiçoar mesmo quando isso significou mudar de cidade e ficar longe deles;

Aos meus irmãos Maria Aparecida, Ricardo, Marcelino e Paulo Eduardo obrigado pela força em tantos momentos da minha vida;

Aos amigos (e essa lista é longa) do curso de Química da UNICAMP, que estão presentes na minha vida deste 1991, principalmente ao Serra, Dênio, Pepito, Bandeca, e a todos os membros da J-11, da Atlética e do CAEQ, em especial meu amigo Rodolphão.

Aos amigos do curso de pós-graduação do SENAI, a Franciele, o Fernando, o Maicon, o “seu” Luíz.

Aos amigos do MAUI, Belin, Isabela, Ana, João, Tiago Marena, Ju, Tiago, Hugo, Juliano, Fernando, Alessandra.

Aos meus colegas de trabalho, que me ajudaram no desenvolvimento dos trabalhos na estação de tratamento: Elias, Marcos, Leonardo, Maikson, Tadeu, Bruno, Alceu e o Tio Biro;

Aos grandes Jerônimo, Jardim e Vinicius pela eterna amizade;

A professora Marielle Feilstrecker pela orientação e paciência;

As professoras Cláudia, Regina e Lorena pelas dicas e correções nas bancas de avaliação.

Ao professor Rodrigo Zawadzki pelo auxílio no início do projeto.

A professora Daniela Neuffer pela recepção na Alemanha.

A todos os professores do MAUI pela recepção e conhecimento;

Ao Thor, Blue, Azumi, Frodo pelos bons momentos;

A Tolkien, Matheson, Crichton, Dick e Clarke;

A Spielberg, Lucas, Nolan, Jackson e Del Toro por ajudar a relaxar;

Ao pessoal do Def Leppard e do Meat Loaf pela trilha sonora que embalou muitas horas no computador.

“Não devemos nos questionar porque algumas coisas nos acontecem, e sim o que podemos fazer com o tempo que nos é dado”.

J.R.R. Tolkien “Senhor dos Anéis: A Sociedade do Anel”

RESUMO

Os efluentes galvânicos apresentam alta carga orgânica, e os processos convencionalmente utilizados nas estações de tratamento de efluentes (ETE), como a precipitação química seguida de coagulação, floculação e decantação, muitas vezes não são suficientes para remoção da carga orgânica. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica do uso de percarbonato de sódio (PCS) como oxidante para remoção de matéria orgânica nos diversos efluentes de uma indústria galvânica. Na metodologia do trabalho foram utilizados ensaios de jar test, para avaliar a remoção da matéria orgânica, usando como parâmetro a DQO (Demanda Química de Oxigênio) no processo de coagulação, precipitação e sedimentação na presença de PCS. Também foram realizados testes (em escala plena) na ETE de uma indústria galvânica. Nos testes realizados na estação da empresa, a redução da DQO nos efluentes galvânicos nos ensaios com PCS ficou entre 10 e 25 % maior em relação aos mesmos processos sem o PCS. Desta forma, o tratamento destes efluentes com adição de PCS demonstrou ser promissor e viável tecnicamente.

Palavras-chave: Oxidação, jar test, percarbonato de sódio (PCS), efluente galvânico.

ABSTRACT

Galvanic effluents have a high organic load, and processes conventionally used in wastewater treatment plants (WWTP), such as chemical precipitation followed by coagulation, flocculation and decantation, are often not enough to remove the organic load. Thus, the present work aims to evaluate the technical feasibility of using sodium percarbonate (SPC) as an oxidant to remove organic matter in the various effluents of a galvanic industry. In the work methodology jar tests were used to evaluate the removal of organic matter, using as parameter COD (Chemical Oxygen Demand) in the process of coagulation, precipitation and sedimentation in the presence of SPC. Testing (full scale) was also performed at the WWTP of a galvanic industry. In the tests performed at the company's station, the reduction of COD in galvanic effluents in SPC tests was between 10 and 25% higher compared to the same processes without SPC. Thus, the treatment of these effluents with the addition of SPC has shown to be promising and technically feasible.

Keywords: Oxidation, jar test, sodium percarbonate (SPC), galvanic effluent.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTRUTURA DO TRATAMENTO DE EFLUENTES GALVÂNICOS.....	14
FIGURA 2 - METAIS E AS FAIXAS DE PH IDEAIS PARA PRECIPITAÇÃO.....	15
FIGURA 3 - ESTRUTURA DO PERCARBONATO DE SÓDIO	17
FIGURA 4 - ESTRUTURA DA ETE	21
FIGURA 5 - TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO CIANETO	23
FIGURA 6 - TRATAMENTO DE EFLUENTES COM METAIS PESADOS	25
FIGURA 7 - TRATAMENTO DE EFLUENTES ALCALINOS	27
FIGURA 8 - MÁQUINA DE VIBRO ACABAMENTO	28
FIGURA 9 - CHIPS DE CERÂMICA	28
FIGURA 10 - ESTRUTURA DA ETE PARA TRATAMENTO DE ZAMAK	29
FIGURA 11 - TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ZAMAK.....	30
FIGURA 12 - ESQUEMA DE ORGANIZAÇÃO DOS ENSAIOS	33
FIGURA 13 - CROMO – ESTADOS DE OXIDAÇÃO	36
FIGURA 14 – REMOÇÃO DA DQO EM EFLUENTES DE METAIS PESADOS.....	48
FIGURA 15 - AMOSTRAS COM PCS EM PH ALCALINO (METAIS PESADOS)	50
FIGURA 16 - AMOSTRAS COM PCS EM PH ÁCIDO (METAIS PESADOS).....	51
FIGURA 17 - AVALIAÇÃO DO LODO COM PCS (EFLUENTE COM CIANETO)	54
FIGURA 18 - REMOÇÃO DA DQO EM EFLUENTES CONTENDO CIANETO.....	55
FIGURA 19 - REMOÇÃO DA DQO EM EFLUENTES CONTENDO ZAMAK	58
FIGURA 20 - REMOÇÃO DA DQO EM EFLUENTES ALCALINOS.....	60
FIGURA 21 - AMOSTRAS DO LODO NO ENSAIO NA ETE.....	63

LISTA DE TABELAS/QUADROS

TABELA 1 – ADIÇÃO DE PCS EM EFLUENTES COM METAIS PESADOS.....	46
TABELA 2 – AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DA DQO	47
TABELA 3 – REMOÇÃO DA DQO (EFLUENTE COM CIANETO).....	53
TABELA 4 - COMPARATIVO DOS ENSAIOS COM EFLUENTE COM ZAMAK	57
TABELA 5 - COMPARATIVO DOS ENSAIOS COM EFLUENTE ALCALINO	59
TABELA 6 - RESULTADOS DOS ENSAIOS NA ETE (METAIS PESADOS).....	62
TABELA 7 - RESULTADOS DOS ENSAIOS NA ETE (CIANETO).....	65
QUADRO 1 - COMPARATIVO DE LIMITES APLICÁVEIS	13
QUADRO 2 – PARÂMETROS PARA OS EFLUENTES GALVÂNICOS.....	31
QUADRO 3 - RELAÇÃO DOS PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS	32
QUADRO 4 - PLANEJAMENTO DAS ANÁLISES	34
QUADRO 5 - CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS DOS EFLUENTES	43
QUADRO 6 - TESTE DO TRATAMENTO DE CIANETO	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APHA	-	American Public Health Association
CEMA	-	Conselho Estadual do Meio Ambiente (PR);
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	-	Norma Técnica do Brasil
DBO	-	Demanda Bioquímica de Oxigênio
CETESB	-	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - SP
EDR	-	Eletrodialise reversa
CONAMA	-	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EUA	-	Estados Unidos da América
SMMA	-	Secretária Municipal de Meio Ambiente – Curitiba/PR
EPO	-	Espécies Parcialmente Oxidadas
IAP	-	Instituto Ambiental do Paraná
IQA	-	Índice de Qualidade da Água
DQO	-	Demanda Química de Oxigênio
POA	-	Processos Oxidativos Avançados
OR	-	Osmose reversa
ETE	-	Estação de tratamento de efluentes
SPC	-	Sodium Percarbonate
PCS	-	Percarbonato de sódio
EC	-	Eletrocoagulação
UV	-	Ultravioleta
pH	-	Potencial hidrogeniônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	OBJETIVOS	8
1.1.1	Objetivo geral	8
1.1.2	Objetivos específicos	8
2	REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1	A INDUSTRIA GALVANICA	10
2.2	LEGISLAÇÃO APLICÁVEL A INDÚSTRIA GALVÂNICA	11
2.3	TRATAMENTOS DE EFLUENTES GALVANICOS	13
2.4	PERCARBONATO DE SODIO	16
3.	ESTUDO DE CASO	19
3.1	PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	20
4	METODOLOGIA	31
4.1	CARACTERIZAÇÃO NOS EFLUENTES GALVÂNICOS	31
4.2	PROCEDIMENTO E TESTES	31
4.3	PLANEJAMENTO	32
4.4	TESTES DE JARROS (JAR TEST)	35
4.5	ENSAIOS COM EFLUENTE CONTENDO METAIS PESADOS	35
4.5.1	Ensaio com efluente contendo cianeto	36
4.5.2	Ensaio com efluente de zamak	38
4.5.3	Ensaio com efluentes alcalinos	39
4.6	DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE LODO	40
4.7	ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA DQO	40
4.8	DETERMINAÇÃO DO VALOR TEÓRICO DE PCS	41
4.9	TRATAMENTO DO EFLUENTE COM PCS EM ESCALA PLENA	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES GALVÂNICOS	43
5.2	AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS EM ENSAIOS DE JAR TEST	45
5.2.1	Teste com efluente contendo metais pesados	45
5.2.2	Testes com efluente contendo cianeto	51
5.2.3	Teste com efluente de zamak	56
5.2.4	Teste com água de neutralização	59
5.3	AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS NA ETE	61

5.3.1	Efluentes com metais pesados	61
5.3.2	Efluente contendo cianeto	64
6	CONCLUSÃO	68
7	REFERÊNCIAS	69
	APÊNDICES	78

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da sociedade, o aumento dos centros urbanos, a crescente industrialização e a procura de novos produtos, criou-se um aumento na quantidade de resíduos sólidos e líquidos (efluentes) resultantes de processos produtivos.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 9800 de 1987, efluentes industriais são:

Despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial (ABNT, 1987).

Para evitar a contaminação de áreas de plantação ou mananciais de água, passou-se a tratar esses efluentes. Seja por separação física ou por via química, o correto tratamento dos efluentes industriais e a sua destinação passaram a ser necessários, visto a evolução dos produtos.

Um dos processos produtivos mais poluentes é a galvanoplastia, desenvolvida a partir do século 18, esse processo ocorre por meio de eletrólise, onde um íon é reduzido e irá depositar-se em uma superfície, revestindo-a com finas camadas de metal. Sua finalidade consiste em dar maior durabilidade e embelezamento à artefatos de metais ou plásticos. Dentre as substâncias presentes nos processos galvânicos utilizam-se diversos metais pesados, como o cromo hexavalente, cádmio, níquel, além de outros compostos como os sais de cianeto e os hidrocarbonetos (ALVES; SEO, 2014).

Por causa da presença destas substâncias altamente tóxicas, o tratamento físico-químico de efluentes resultantes dos processos de tratamento de superfície é muito importante, e precisa ser extremamente eficiente em relação à eliminação destes efluentes. E apesar de muitas indústrias estarem abandonando alguns desses produtos, ainda são muito utilizados, principalmente em indústrias moveleiras e de metais sanitários (OLIVIER et al., 2007).

Mediante a presença destas substâncias tóxicas, o tratamento básico de efluentes galvânicos inclui o uso de produtos químicos, como sais de alumínio e ferro, polímeros floculantes, que tem por finalidade ajudar na remoção de metais por meio dos processos de coagulação, floculação e sedimentação, porém, em algumas situações esse tratamento não satisfaz totalmente os critérios de lançamento determinados pelos

órgãos reguladores do setor de meio ambiente. Isso faz com que novos processos de tratamentos e novas tecnologias sejam desenvolvidas para a remoção de carga poluidora (RASCHLE, 2013).

Dentre essas novas técnicas desenvolvidas está o uso de oxidantes para degradação de substâncias mais complexas. Os oxidantes mais comuns são o peróxido de hidrogênio e o ozônio, e há processos como os que usam o reagente de fenton com ou sem radiação de ultravioleta (UV). O processo de fenton consiste na reação catalítica de peróxido de hidrogênio e sais de ferro II que liberam íon hidroxila (NOGUEIRA et al., 2007).

Entre os oxidantes utilizados também podem ser citados o cloro e o percarbonato de sódio (PCS), sendo o segundo um derivado do peróxido de hidrogênio resultante da sua reação com carbonato de sódio muito difundido na indústria de limpeza (HERA, 2002).

Os processos tradicionais de tratamentos físico-químicos de efluentes muitas vezes não conseguem remover toda a carga orgânica presente nestes efluentes, assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso do percarbonato de sódio (PCS) como oxidante para remoção da carga orgânica de efluente de processos galvânicos. E assim apresentar uma alternativa viável para os tratamentos de efluentes galvânicos existentes.

Para estudar o uso do percarbonato foram avaliados tratamentos de coagulação, floculação e sedimentação com adição de PCS em escala de laboratório (ensaios de jar test) e em escala plena para avaliar a eficiência dos tratamentos e verificar a relação entre a concentração de percarbonato de sódio e a remoção da carga orgânica dentro de uma estação de tratamento de efluentes galvânicos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o uso de percarbonato de sódio (PCS) nos processos de tratamento físico químico de efluentes de uma indústria galvânica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o efluente galvânico, de acordo com o seu processo de origem.

- Avaliar a viabilidade técnica do uso do PCS na remoção de carga orgânica;
- Avaliar a sedimentação do lodo galvânico após o uso do PCS.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A INDUSTRIA GALVANICA

O tratamento de superfícies metálicas tem por finalidade proteger as peças contra corrosão, torná-las mais atraentes, aumentar sua durabilidade, melhorar as propriedades superficiais e outras características como resistência, espessura, condutividade e capacidade de estampar.

A alteração de algumas características da base metálica a partir da eletrodeposição de uma ou mais camadas metálicas, é uma prática industrial muito difundida no mundo. Diversos ramos industriais se utilizam deste tipo de processo como as indústrias automobilística, da construção civil, de utensílios domésticos, informática, telefonia, assim como na recuperação de objetivos decorativos, entre outras (LISBOA; BARIN, 2009).

Os processos da indústria galvânica possibilitam o recobrimento de superfícies (metálicas e plásticas) com diversos metais, permitindo assim baratear o custo destas tornando-as resistentes a condições climáticas agressivas e mais atraentes, o que aumenta o seu valor agregado (OLIVEIRA, 2012).

Por outro lado, os processos produtivos associados a essas atividades industriais contemplam diversas etapas de processamento de superfícies metálicas em contato com soluções aquosas (ácidas e básicas) que levam, inevitavelmente, à geração de efluentes líquidos contendo uma grande variedade de metais pesados dissolvidos (VAZ, 2009).

O processo de galvanoplastia é realizado em três etapas: pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento. No pré-tratamento as peças metálicas são preparadas por injeção, estampagem, e depois de prontas passam por processos físicos para beneficiamento tais como lixamento, escovamento, polimento por vibração, jateamento, entre outros processos, que visam ajustar a superfície fisicamente para receber uma ou mais camadas metálicas (ZEMPULSKI; ZEMPULSKI, 2007).

Inicialmente no processo galvânico (tratamento), as peças passam por uma ou mais etapas de limpeza ou desengraxe da superfície metálica utilizando-se de soluções alcalinas concentradas. Para tal, banhos com desengraxantes alcalinos que podem ou não conter soda cáustica (NaOH) são geralmente empregados (BASTOS; GÖETZ, 2013).

Nesta etapa, tem-se por objetivo a remoção de óleos, graxas e outros resíduos orgânicos aderidos à superfície das peças devido aos processos de laminação,

transporte e outros que possam prejudicar seu recobrimento (PEREIRA NETO et al., 2008).

Em seguida, as peças são submetidas a uma etapa de decapagem ácida, utilizando-se principalmente, banhos com ácido clorídrico (HCl) e ácido sulfúrico (H₂SO₄) para a remoção de resíduos de soldas e óxidos presentes na peça e dependendo do processo os banhos de desengraxe ou decapantes precisam ser aquecidos (ZEMPULSKI; ZEMPULSKI, 2008).

Na etapa de decapagem, as peças de ferro ou aço são imersas nas soluções ácidas ou passam em soluções eletrolíticas por tempo determinado, dependendo da necessidade de cada processo, por exemplo, no processo de anodização de alumínio, a decapagem é realizada em meio alcalino. Alguns processos podem utilizar outros ácidos, tais como o ácido nítrico (HNO₃) e o ácido fluorídrico (HF) que podem ser utilizados para fins mais específicos (PEREIRA NETO et al., 2008).

Assim, depois de preparadas, as peças são submetidas à deposição de finas camadas metálicas sobre suas superfícies em banhos compostos por um ou mais sais do metal desejado. Esse recobrimento é efetuado por meio químico e/ou eletroquímico, a partir de soluções aquosas dos sais dos metais a serem depositados, ou até mesmo camadas mais espessas, a partir do próprio metal base (MARTINS NETO, 2014).

Na etapa de pós-tratamento, por sua vez, consiste em um processo de lavagem, secagem em centrífuga, estufa ou jatos de ar, banho de óleo para embalagem, proteção e pintura ou envernizamento (VOZ DA INDÚSTRIA, 2017).

Após cada etapa do processo galvânico, as peças são lavadas diversas vezes via imersão em águas de lavagens. Onde tem origem o maior volume de efluentes contendo metais pesados, além de respingos, ou material presente nos fundos tanques em serviços de manutenção ou troca de banhos (PEREIRA NETO et al., 2008).

2.2 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL A INDÚSTRIA GALVÂNICA

As ações antrópicas (entre elas a atividade industrial) podem criar diversos problemas ambientais e assim trazer riscos à saúde do ser humano, caso não sejam tomadas medidas preventivas quanto aos efluentes líquidos gerados em processos industriais, a serem descartados. Nesse sentido, a fiscalização dos órgãos governamentais nas diferentes esferas sobre a poluição ambiental na água e efluentes industriais, potabilidade, a reutilização da água e outros é cada vez mais rígido e monitorado (ALMEIDA, 2011).

No Brasil, leis e decretos em nível federal (CONAMA), estadual (CEMA, IAP) e municipal (SMMA) regulamentam os parâmetros e limites de emissão de efluentes no meio ambiente. Por outro lado, essas exigências da legislação ambiental levaram as empresas a buscar soluções para tornar seus processos mais eficazes (ALMEIDA, 2011).

A água utilizada nos processos galvanicos necessita que antes do seu descarte sejam realizados alguns processos de remoção de metais pesados e outros contaminantes para atendimento da legislação e preservação dos recursos hídricos que ficam próximas destas indústrias (ARAÚJO; KATZ; 2009).

A legislação aplicada às indústrias do ramo de galvanoplastia (anexo 7 da CEMA 70/2009 no apêndice B) indica que diversos parâmetros como teores de cromo, cobre, zinco, cádmio (entre outros metais pesados), DBO₅, SST (sólidos sedimentáveis totais), DQO, cada uma variando de acordo com as substâncias utilizadas pela indústria e o efluente gerado (PARANÁ, 2009).

A Resolução do CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011) que complementou e alterou a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) quanto aos padrões de lançamento da água, porém, alguns órgãos ambientais estaduais se baseiam no Índice de Qualidade de Água (IQA) como o IAP no Paraná (BADO; PÉRCIO; LINDINO, 2013).

Assim apesar das resoluções do CONAMA citadas não utilizar o parâmetro DQO como referência, a atual legislação estadual do Paraná através da Resolução CEMA nº. 70 de 01 de outubro de 2009, aplicável às indústrias de tratamento de superfície limitou o lançamento em 300 mg/LO₂ como parâmetro para DQO. Na outorga de lançamento para as indústrias de tratamento de superfície, a DQO está presente com o limite de lançamento de 100,0 mg/LO₂ na Portaria do Instituto de Águas do Paraná nº. 880/2016 (PARANÁ, 2009; PARANÁ, 2016).

Essa redução dos limites para lançamento de efluentes faz parte de um controle maior sobre este tipo de indústria deste segmento que tem um potencial altamente poluidor, principalmente, pela redução da capacidade de autodepuração do corpo de água, no caso, a Bacia do Rio Iguaçu.

Outros parâmetros de emissão de poluentes para os efluentes galvanicos (ou galvanotécnicos) são descritos no QUADRO 1.

QUADRO 1 - COMPARATIVO DE LIMITES APLICÁVEIS

Parâmetros	CONAMA 430/2011	CEMA 70/09	Portaria Instituto de Águas do Paraná 880/2016.
Cromo*	0,1 mg/L Cr ⁶⁺	0,5 mg/L Cr _(total)	-
Cobre	1,0 mg/L Cu	1,0 mg/L Cu	-
Níquel	2,0 mg/L Ni	2,0 mg/L Ni	-
Zinco	5,0 mg/L Zn	5,0 mg/L Zn	-
Ferro	15,0 mg/L Fe	15,0 mg/L Fe	-
Cianeto**	0,2 mg/L CN ⁻ (livre)	0,2 mg/L CN ⁻ (livre)	-
DBO ₅	> 60%***	50 mg/LO ₂	20 mg/LO ₂
DQO	-	300 mg/LO ₂	100 mg/LO ₂
Materiais Sedimentáveis (Cone Imhoff)	1 mL/L	1 mL/L	1 mL/L

*Para cromo trivalente 1,0 mg/L Cr³⁺

**Para cianeto total 1,0 mg/L CN⁻

***Eficiência de remoção

FONTE: Adaptado do Brasil, 2011; Paraná, 2009 e Paraná, 2016.

2.3 TRATAMENTOS DE EFLUENTES GALVANICOS

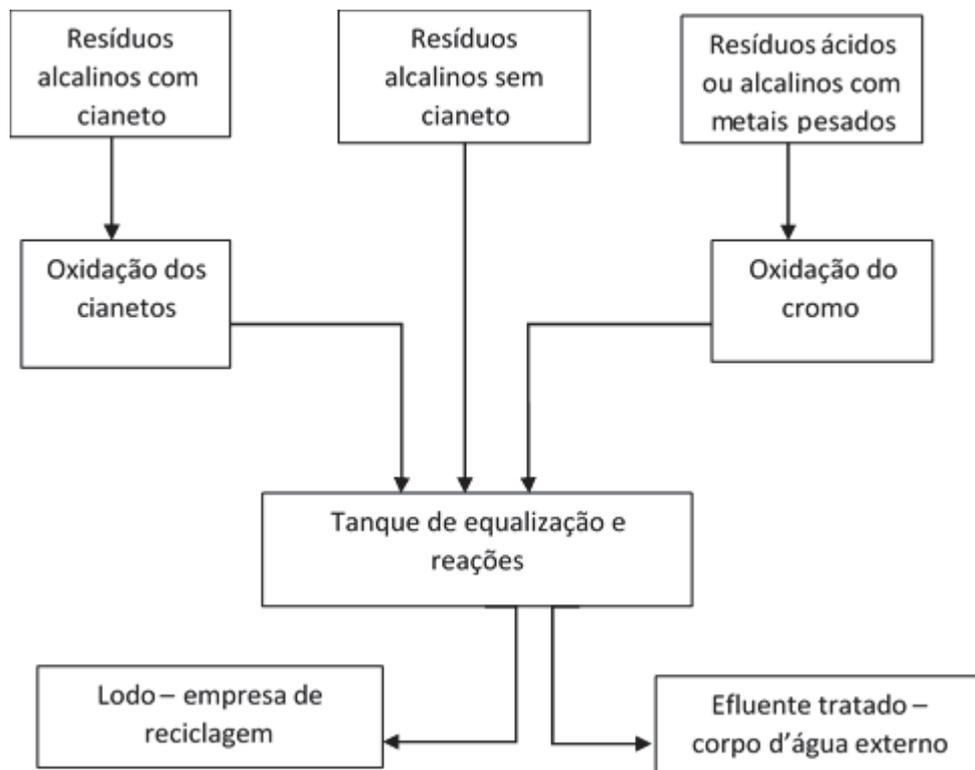
Para o tratamento de efluentes existem alguns processos como o físico, onde etapas visam a remoção dos sólidos, o biológico onde o tratamento do efluente procura reproduzir os mecanismos residuais para degradação da matéria orgânica biodegradável e o físico químico que utiliza produtos químicos coagulantes ou processos eletrolíticos que utilizam a eletrólise para coagulação dos contaminantes (SILVA; MAINER, 2005).

O tratamento físico químico de efluentes galvânicos tradicionalmente ocorre pela utilização de produtos químicos, porém, gera como produto o lodo galvânico, que é um resíduo perigoso (Classe I), pois os metais presentes no processo galvânico apenas mudam de fase, do líquido para o sólido (FIOREZE; SANTOS; SCHMACHTENBERG, 2014).

Os efluentes gerados nos diversos processos da galvanoplastia (FIGURA 1) são direcionados para a estação de tratamento e por meio de reações químicas que envolvem a coagulação, a floculação e precipitação, os hidróxidos dos metais são separados da água (lodo galvânico) (MARTINS; NETO, 2014).

A técnica de precipitação química mais comumente utilizada é por formação de hidróxidos, sendo também a mais simples, e com menor custo de operação. O método de precipitação química consiste no princípio de que cada elemento possui um pH ótimo para se obter a menor solubilidade do seu respectivo hidróxido metálico (FU; WANG, 2001).

FIGURA 1 - ESTRUTURA DO TRATAMENTO DE EFLUENTES GALVÂNICOS

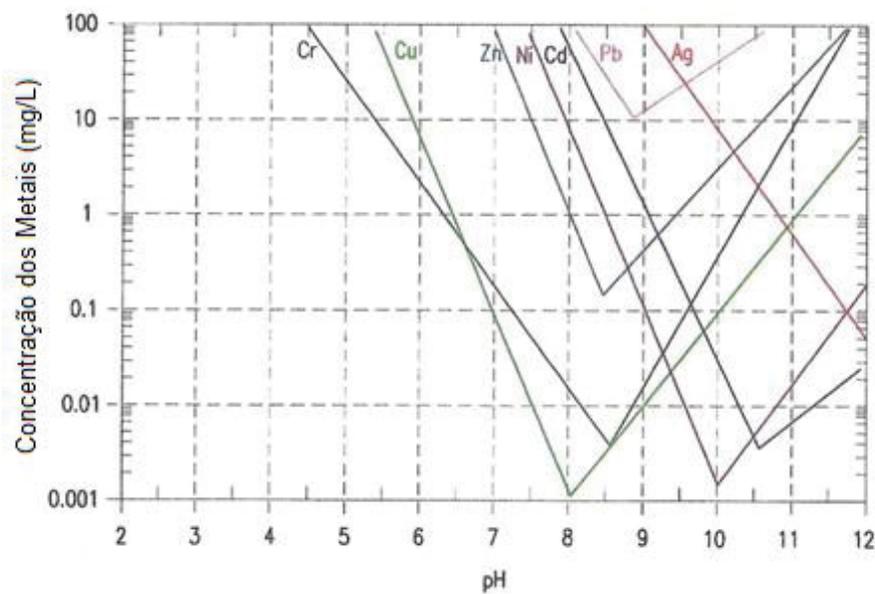


FONTE: Adaptado Martins Neto, 2014.

Depois de serem estabilizados os hidróxidos metálicos são removidos por meio de coagulação, floculação e sedimentação do efluente tratado. Porém, durante este processo o mesmo hidróxido metálico pode se tornar solúvel novamente quando submetido a um pH superior ao ponto ótimo, devido a formação de compostos de coordenação solúveis, como é possível observar na FIGURA 2 (AYRES; DAVIS; GIETKA, 1994).

Na FIGURA 2, pode-se ver, que o cobre tem pH ideal para precipitação igual 8, e que em valores de pH menor que 7, e em valores de pH maior que 11, está com concentração maior 1 ppm, o que estaria fora do seu limite máximo de lançamento de acordo com a Resolução do CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011).

FIGURA 2 - METAIS E AS FAIXAS DE PH IDEAIS PARA PRECIPITAÇÃO



FONTE: Cavalcanti, 2009.

Além dos processos convencionais de tratamentos de efluentes galvânicos, existem diferentes alternativas para remoção de metais destes efluentes, como a utilização do processo de eletrocoagulação (EC). O seu princípio de funcionamento está baseado na passagem de eletricidade pela água desestabilizando a solução e coagulando os contaminantes (AARÃO, 2016). É considerada uma tecnologia amigável, com baixo impacto ambiental.

Os contaminantes são expostos sob fortes campos elétricos facilitando as reações de oxirredução onde são levados a estados químicos menos reativos, insolúveis e de maior estabilidade. Ao mesmo tempo, ocorre a formação de flocos insolúveis coagulados, na forma de agregados de contaminantes, que poderão ser removidos facilmente por sedimentação, flotação ou filtração (MIRANDA, 2007).

O processo de eletrocoagulação é muito semelhante à coagulação química com sulfato de alumínio, mas o lodo desse processo tem menos água, maior resistência à desagregação, é prontamente filtrável, a contaminação na água tratada é menor e não se adiciona nenhum sal metálico ou polímero (VAZ et al., 2010).

Os equipamentos de eletrocoagulação adaptam-se às instalações existentes podendo utilizar tanques já construídos ou usar tanques removíveis de fibra ou lona e construções modulares definitivas ou temporárias (SILVA; MAINIER, 2005).

Esse processo é usado para remover metais pesados, sólidos em suspensão, coloides, quebrar emulsões oleosas, remover graxas e gorduras e complexos orgânicos

em geral pode também ser combinado com uma resina de troca iônica conforme relatam Katz e Araújo (2011). O estudo de Corazza (2012) também avalia outras opções de tratamento deste tipo de efluente, onde foi utilizada a adição de serragem no efluente para remoção de cromo hexavalente.

As tecnologias de separação por membranas, como a osmose reversa (OR) e a eletrodialise reversa (EDR) têm sido amplamente utilizadas para a produção de água potável a partir da água do mar e águas subterrâneas, obtendo por dessalinização, um nível de qualidade de água desejada (BACHER et al., 2016).

A tecnologia de eletrodialise foi desenvolvida após a II Guerra Mundial, onde suas primeiras aplicações estão relacionadas à dessalinização de água do mar e produção de água potável. Já a primeira planta de tratamento de água, utilizando a EDR, foi instalada em Washington (EUA), em 1993, onde foi autorizado o estudo para determinar o custo efetivo e uma maneira de remoção de contaminantes, bem como melhorar a qualidade da água tratada (SCARAZATO, 2016).

2.4 PERCARBONATO DE SODIO

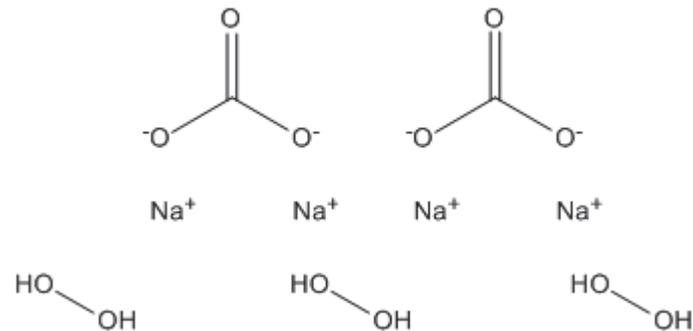
Nos últimos anos surgiram diversos estudos propondo o uso de compostos oxidantes no tratamento de efluentes, entre as principais substâncias dessa categoria pode-se citar o peróxido de hidrogênio e o ozônio. Para determinar qual o oxidante ideal para cada processo é necessário estudar algumas características destas substâncias. Uma das características que ajudam na escolha do composto oxidante é a capacidade de liberar oxigênio (CANELA; JARDIM, 2004).

Entre essas substâncias oxidantes, tem-se o percarbonato de sódio (PCS), também chamado de carbonato de sódio peroxihidratado (SOLVAY, 2016), é um sólido a temperatura ambiente, solúvel em água (140g/L), quimicamente estável, de fácil transporte e manipulação e não tóxico para os microrganismos e ao meio ambiente (ALMOJIL, 2015).

Como é um sólido melhora a condição de trabalho dos operadores da ETE, por exemplo, o peróxido de hidrogênio pode causar queimaduras em contato com a pele, isso não acontece com o PCS. Ao contrário do peróxido de hidrogênio que apresenta como desvantagem exatamente o alto custo para armazenagem e transporte, já o PCS pode ser acondicionado em sacos plásticos, o percarbonato é muito difundido entre os domissanitários, comumente utilizados em lavanderias, praticamente 95% da produção mundial é utilizado para essa finalidade (HERA, 2002; OTURAN; AARON, 2014).

O PCS (FISPQ – Apêndice C) é uma substância formada a partir da reação entre o carbonato de sódio e peróxido de hidrogênio com fórmula molecular mais comum $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$ (FIGURA 3) existem variações conforme o processo de fabricação do mesmo, que apresenta 27,5% de peróxido na sua estrutura, com uma concentração de 9,5 molO₂/kg (YUE-HUA; CHUN-MEI; CHANG-HONG, 2016).

FIGURA 3 - ESTRUTURA DO PERCARBONATO DE SÓDIO



FONTE: RCS, 2013.

Este teor de oxigênio é inferior ao peróxido de hidrogênio, que libera 29,4 molO₂/kg, porém, como o PCS é sólido a temperatura ambiente, sua manipulação traz menor risco a saúde e segurança ocupacional (CANELA; JARDIM, 2004).

Quando dissolvido em água o PCS (EQUAÇÃO 1) libera carbonato de sódio dissolvido e peróxido de hidrogênio (PIECZYKOLAN; PLONKA; BARBUSINSKI, 2016). Quando o carbonato é liberado ajuda a remover íons de cálcio e magnésio reduzindo a dureza da água.



O peróxido de hidrogênio presente na estrutura do percarbonato é liberado de maneira mais lenta que o peróxido puro, tornando possível permanecer por mais tempo no meio reacional (PIRES, 2016).

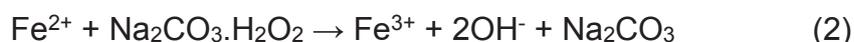
O uso de PCS já foi estudado para a oxidação de moléculas complexas em tratamento de solos contaminados conforme relata Loureiro (2010), que utilizou o PCS como reagente de fenton para degradação de hidrocarbonetos em solo contaminado de uma refinaria de petróleo e na degradação de antraceno e fenantreno (HPA) de acordo com Marcelino, Barbosa Filho e Dutra (2010), De la Calle et al., 2012.

O reagente de fenton foi desenvolvido no final do século 19, e consiste na geração do íon hidroxila, a partir da reação com íons de ferro II. O íon hidroxila ($\bullet\text{OH}^-$) é o principal radical utilizado nos chamados Processos Oxidativos Avançados (POA) cujo uso na degradação de efluentes tóxicos vem sendo desenvolvido nos últimos anos (ARAÚJO et al., 2016).

Essa nova tecnologia vem sendo desenvolvida e existem diversos estudos com grande êxito para a remoção ou degradação de poluentes recalcitrantes, o processo que se baseia na geração de íons hidroxila capazes de atacar os poluentes tem se desenvolvido e novas espécies tem sido desenvolvidas nos processos como radicais superperóxidos ($\text{O}_2\bullet$) e hidroperóxido ($\text{HO}_2\bullet$) (CABRITA, 2015).

Esses radicais têm um ou mais elétrons desemparelhados, e apresentam um potencial bastante elevado, por exemplo, a hidroxila tem potencial de 2,8V, que lhe permite oxidar e decompor nos seus compostos orgânicos perigosos e não perigosos de forma não seletiva (WANG; XU, 2012).

Uma modificação ao processo fenton poderia ser a troca do peróxido de hidrogênio pelo PCS (EQUAÇÃO 2), a reação esperada nesse caso seria:



O reagente de fenton modificado com PCS foi utilizado na descoloração de efluentes oriundos da produção de corantes conforme Pieczykolan, Plonka e Barbusinski (2016). Há outros autores que tratam do uso do PCS em tratamento de efluentes metálicos, como o estudo de Costa (2007) que utilizou o PCS para remoção de manganês em efluentes industriais.

Outra linha de pesquisa é o uso de PCS no tratamento de clorados (também como fonte de $\text{OH}\bullet$ em experimentos fenton modificado), Cravotto et al. (2007) estudaram o uso do PCS em reagente de fenton para destruição de halogenados aromáticos associado ao uso de micro-ondas, Yue-Hua, Chun-Mei & Chang-Hong (2011) estudaram o uso de PCS na descontaminação de compostos clorados em águas subterrâneas, Danish et al. (2017) estudaram sobre a degradação de compostos clorados utilizando o PCS suportado em zeólitas. Zhang et al. (2017) estudaram a ativação de PCS por íons de Fe^{+3} para destruição de moléculas de clorobenzeno.

3. ESTUDO DE CASO

O trabalho foi desenvolvido em uma empresa do segmento moveleiro e linha branca, situada na região da Cidade Industrial de Curitiba (CIC) em Curitiba. A empresa possui três linhas automatizadas de processos galvanicos, onde as peças metálicas recebem acabamentos de zinco, níquel, cobre e cromo com ou sem verniz.

Nas plantas galvanicas, as peças em aço e zamak, uma liga metálica com 95 % de zinco, além de alumínio, magnésio e cobre (PEREIRA et al., 2017) que recebem uma ou mais camadas metálicas através de processos químicos ou eletrolíticos.

A carga orgânica presente nos efluentes galvanicos é constituída por resíduos de massa plástica impregnada no processo de lixamento das peças, “carepa” (óleo presente para proteção de peças cruas de aço), óleos e graxas que possam ser aplicados para proteção das peças após o tratamento e surfactantes presentes nos aditivos dos banhos galvanicos.

O efluente, objeto do estudo, tem origem no descarte das soluções das águas de lavagem dos banhos galvanicos, na água usada para lavagem dos tanques das três linhas citadas e no resíduo líquido oriundo das máquinas vibro rotatórias para remoção de rebarbas de zamak.

Nos processos galvanicos para evitar a contaminação dos banhos metálicos são utilizadas soluções aquosas ácidas ou alcalinas com ou sem aditivos para limpeza das peças, visando retirar resíduos dos processos físicos de preparação como a laminação ou camadas de óxidos que podem se formar no processo de armazenamento ou mesmo resíduos dos banhos contendo sais metálicos, dependendo da etapa do processo (BASTOS; GÖETZ, 2013).

Os processos galvanicos utilizados pela empresa apresentam as seguintes etapas de banhos, para peças de zamak:

- Processo de cromo decorativo - Desengraxe > decapagem > cobre alcalino > cobre ácido > níquel brilhante > cromo decorativo;
- Processo de cobre - Desengraxe > decapagem > cobre alcalino > cobre ácido > cromatizante > verniz brilhante;
- Processo de níquel - Desengraxe > decapagem > cobre alcalino > níquel brilhante
- Processo de cromo acetinado - Desengraxe > decapagem > cobre alcalino > níquel fosco > cromo decorativo > verniz fosco;

- Processo de zinco - Desengraxe > zinco > cromatizante;
- Processo de latão - Desengraxe > decapagem > cobre alcalino > níquel brilhante > latão > verniz brilhante;

Para as peças de aço, tem as seguintes etapas,

- Processo de cromo decorativo - Desengraxe > decapagem > cobre alcalino > cobre ácido > níquel brilhante > cromo decorativo;
- Processo de níquel - Desengraxe > decapagem > cobre alcalino > níquel brilhante
- Processo de zinco - Desengraxe > zinco > cromatizante;

O cromatizante ou passivador é um composto à base de cromo que ajuda na manutenção da cor do produto e na proteção das peças, e podem variar desde azul (que contém cromo trivalente e cobalto), amarelo (cromo hexavalente) e preto (contém cromo hexavalente e prata), usados na linha de zinco.

O conteúdo dos tanques de lavagem entre os banhos é trocado de acordo com o ritmo de produção, de uma até três vezes ao dia, dependendo da quantidade e do tipo de material base (substrato) que é processado na linha. As trocas das águas de lavagem são realizadas quando há manutenção nos tanques e eventualmente alguma substituição por tempo de trabalho ou ainda por tratamento contra contaminação.

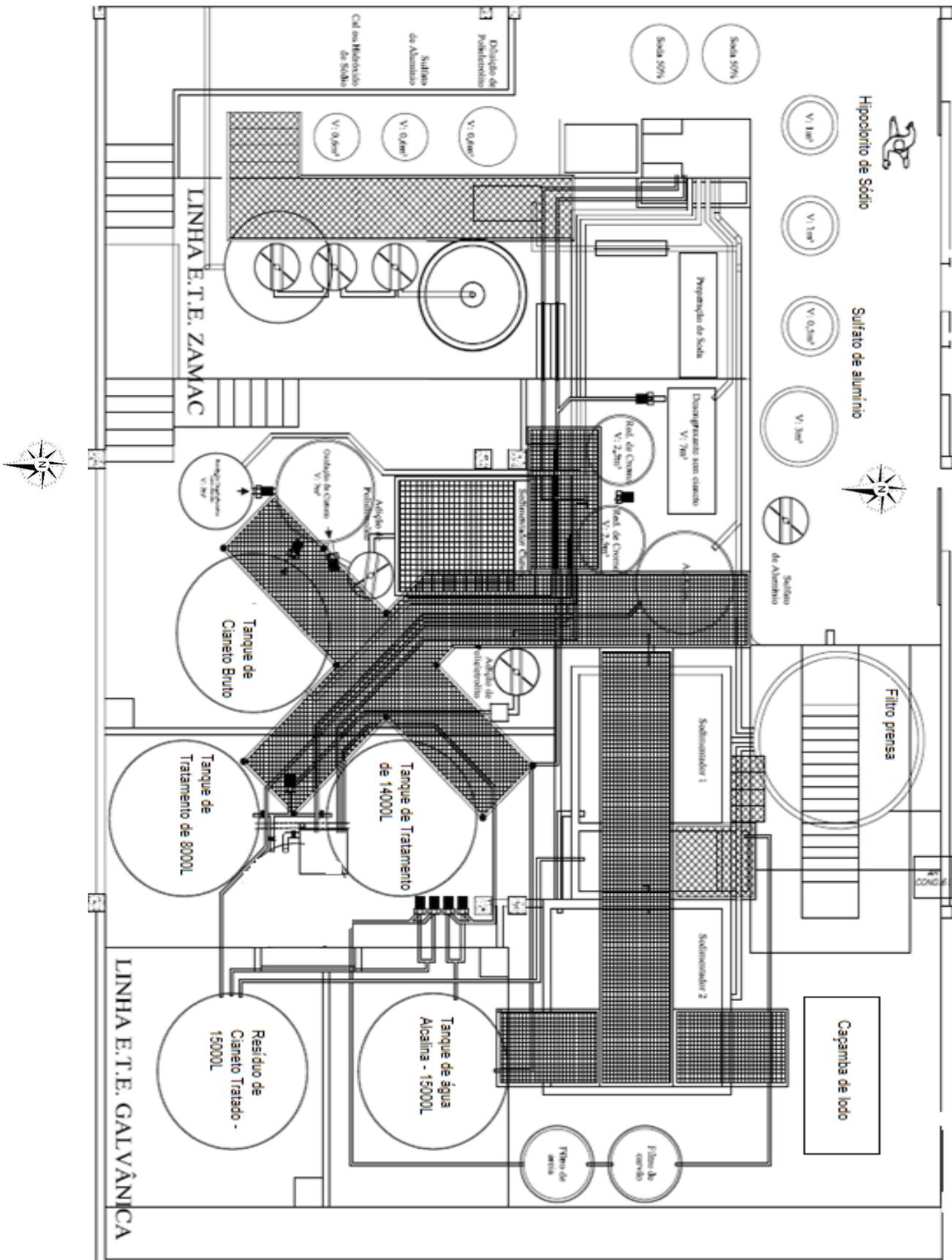
Em certos casos, como nos banhos de cobre alcalino cianídrico e latão que são diluídos para redução da contaminação por carbonato de sódio, o material descartado vai direto para tratamento na estação.

3.1 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os efluentes galvânicos são encaminhados para a estação de tratamento por meio de tubulação subterrânea e por canaletas de escoamento utilizadas para limpeza das linhas de produção galvânicas, e são tratadas com um procedimento desenvolvido para cada tipo de efluente, o processo de tratamento utilizado na empresa é o de precipitação química, a estrutura da ETE está FIGURA 4, cujo tratamento foi objeto deste estudo.

Todos os processos de tratamento de efluentes são realizados por bateladas dentro da própria estação da empresa em três turnos, seis dias por semana, que geram aproximadamente entre 80 a 100 m³ de efluentes/dia, gerando entre 20 a 25 toneladas de lodo galvânico por mês.

FIGURA 4 - ESTRUTURA DA ETE



Escala 1:10.000 FONTE: Autor, 2019.

Esses processos galvânicos geram diferentes tipos de efluentes líquidos:

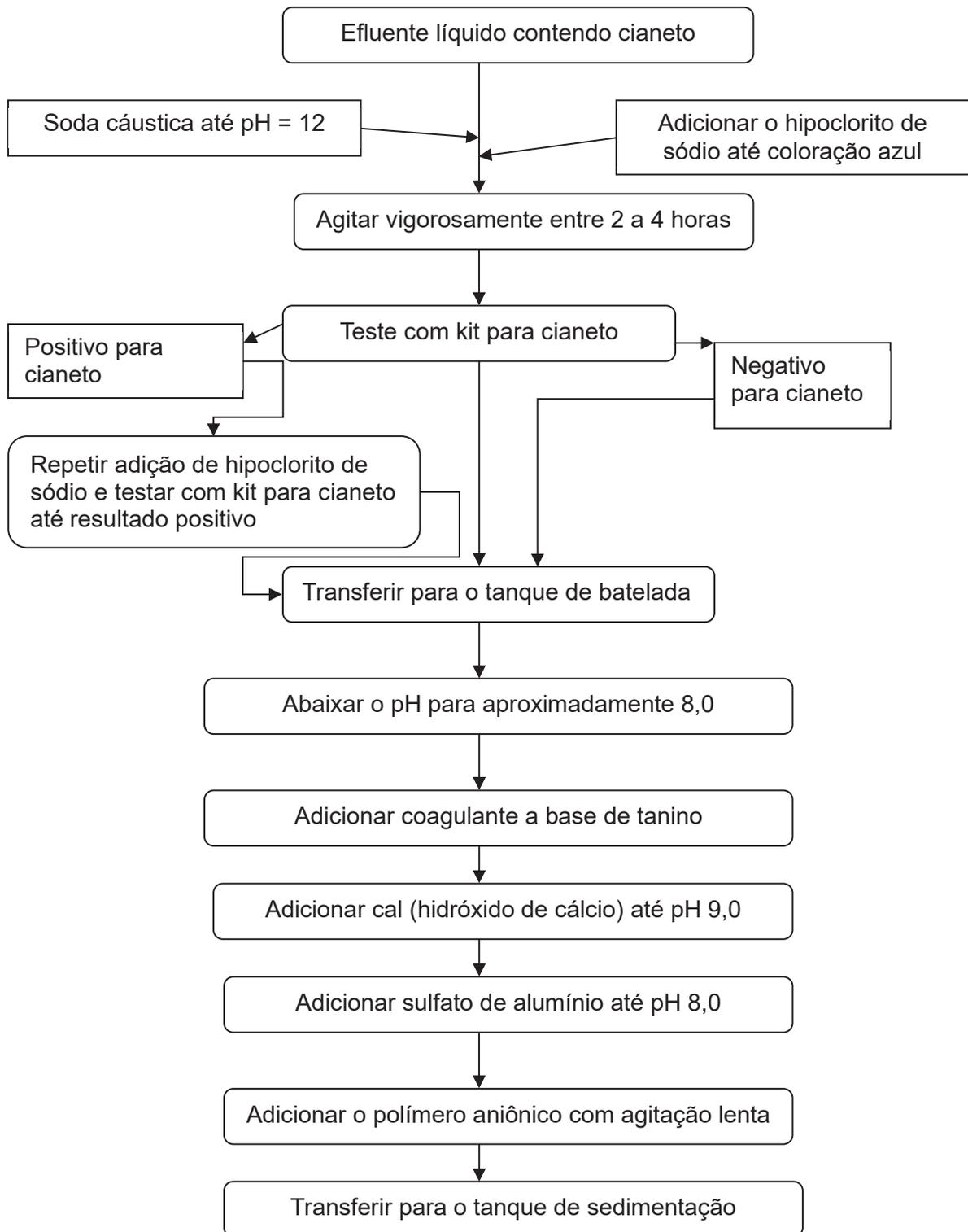
- efluentes contendo cianeto;
- efluentes contendo metais pesados;
- efluente do processo de eliminação de rebarbas de zamak;
- efluente alcalino ou efluente com água de neutralização

Dentro da empresa, as principais fontes de resíduos com cianeto são as águas de lavagem de banhos de cobre alcalino cianídrico (que contém cianetos de sódio e de cobre) e latão (que contém cianetos de sódio, zinco e cobre), as diluições destes banhos para redução de contaminantes (principalmente carbonato), redução de matéria orgânica (proveniente de aditivos) e desengraxantes cianídricos (contém cianeto de sódio).

As peças de zamak não podem entrar em contato direto com os banhos ácidos (como os banhos de cobre ácido e de níquel, processos sequentes do cobre alcalino cianídrico) assim precisam receber uma camada de cobre para proteção da peça, que é aplicada pelo banho de cobre cianídrico.

Na ETE, esses efluentes são tratados inicialmente com o uso de hipoclorito de sódio em meio alcalino (pH variando entre 11,5 e 12,8) para oxidar o ânion cianeto que é degradado para cianato conforme sugere o fluxograma na FIGURA 5. Nessa condição a solução passa de amarelo para azul, e depois de 2 a 4 horas com agitação a ar vigorosa, é realizado um teste para avaliar a concentração de cianeto.

FIGURA 5 - TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO CIANETO



FONTE: Autor, 2018.

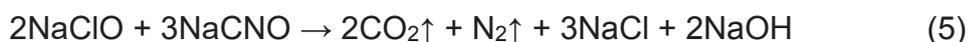
Nessa parte do processo o cianeto é convertido para cianato, conforme as EQUAÇÕES 3, 4 e 5.

Inicialmente o cianeto (CN^-) se oxida para em cloreto de cianogênio (CNCl) (EQUAÇÃO 3) que será convertido em cianato (CNO^-) (EQUAÇÃO 4).



No caso do resultado do teste for positivo para cianeto, a solução receberá mais hipoclorito de sódio e será avaliada novamente após 2 horas; no caso do resultado do for negativo para cianeto então a solução é transferida para o tanque de tratamento por batelada para a remoção dos metais pesados (cobre e zinco). Nessa parte do processo coleta-se as amostras para testes no laboratório.

Depois da solução ser transferida, adiciona-se ácido sulfúrico para redução do pH, para aproximadamente 8,0. Nessa fase os gases resultantes da decomposição do cianeto (gás carbônico e nitrogênio) são liberados (OLIVEIRA; CUNHA, 2007) (EQUAÇÃO 5).



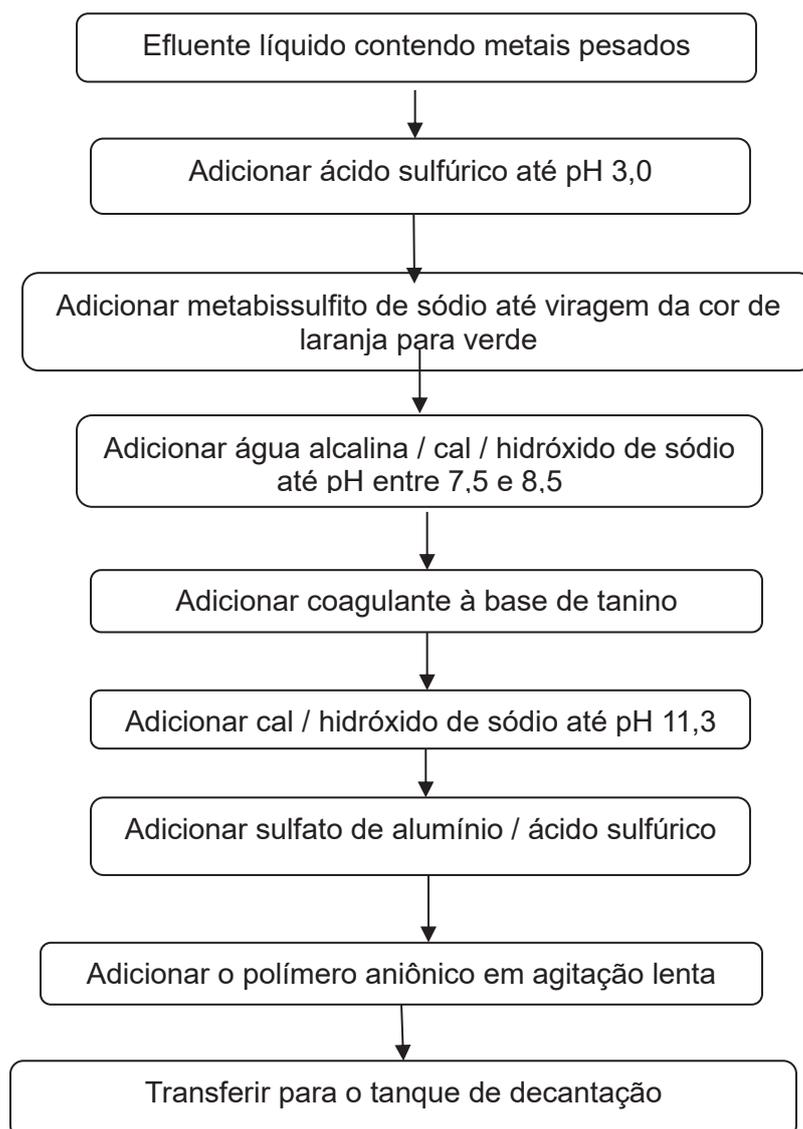
Após essa etapa adiciona-se o coagulante à base de tanino. Como esse produto é ácido, a tendência do pH é ser reduzido. Depois de meia hora adiciona-se cal hidratada até pH 9,0, e após meia hora de agitação, adiciona-se sulfato de alumínio contendo ácido sulfúrico para ajustar o pH entre 8,0 e 8,5, que é ideal para precipitação de cobre.

Observação: quando ocorre a manutenção (diluição) no tanque do banho de latão que também contém cianeto, a adição de cal hidratada deve ir até o pH 10, para melhorar a remoção dos íons de zinco.

Transfere-se o efluente tratado para o tanque de sedimentação. No canal de alimentação deste tanque adiciona-se uma solução de polímero aniônico para facilitar a decantação. Bombeia-se o lodo acumulado nos tanques de sedimentação para o filtro prensa para adensamento e posterior destinação, enquanto descarta-se a água para o corpo d'água.

O processo dos efluentes contendo metais pesados (FIGURA 6) são gerados nas três linhas galvânicas da empresa, acumulados e tratados em conjunto. Contém principalmente em cromo hexavalente, porém, pode conter também níquel, zinco e cobre, dependendo das linhas em operação.

FIGURA 6 - TRATAMENTO DE EFLUENTES COM METAIS PESADOS



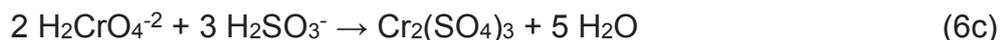
FONTE: Autor, 2018.

O efluente contendo metais pesados é recebido em três tanques de acúmulo e depois transferido para o tanque de equalização onde será tratado, para começar o processo seu pH deve ser menor que 3,0. Caso esteja acima deve ser adicionado ácido sulfúrico para redução do pH.

Depois de ajustado o pH, é adicionado metabissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ – que em água forma bissulfito de sódio), a reação de redução do cromo (EQUAÇÃO 6c) é imediata e a solução passa da cor laranja-avermelhada (característica do cromo hexavalente) para o azul esverdeado (do cromo trivalente).



A reação de redução dá-se em meio ácido, ao que bissulfito de sódio converte-se em ácido sulfuroso e bissulfato de sódio. (OLIVEIRA, CUNHA, 2007)



Depois de 15 minutos, ajusta-se o pH para a faixa de precipitação do cromo entre 7,5 – 8,5. Ao atingir essa faixa adiciona-se o coagulante à base de tanino para ajudar na precipitação do cromo e do cobre.

Normalmente nessa parte do processo, realiza-se um teste de sedimentação para verificar se todo o cromo foi convertido. Dessa maneira retira-se uma amostra do efluente do tanque e coloca-se a amostra em um béquer, o qual coloca-se uma pequena quantidade polímero aniônico para forçar a sedimentação.

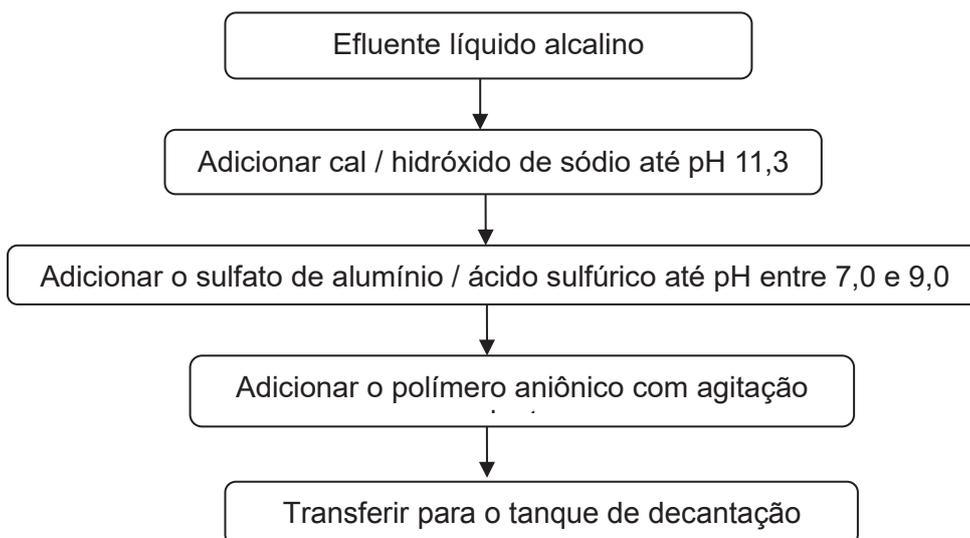
Observa-se no líquido se o clarificado apresenta uma coloração amarela. Caso positivo, repete-se a etapa de acidificação do meio e adiciona-se mais metabissulfito para redução do cromo presente na solução.

Logo após adicionou-se cal hidratada ou soda caustica (líquida a 50%) para elevar o pH para próximo a 10 que é a faixa ideal para remoção de zinco e níquel. O efluente deve ficar sob agitação por mais meia hora. Adiciona-se então o ácido sulfúrico ou sulfato de alumínio para reduzir e deixar o pH na faixa entre 5,0 e 9,0, que é a faixa permitida para a liberação do efluente.

Transfere-se o efluente tratado para o tanque de sedimentação. No canal de alimentação deste tanque adiciona-se uma solução de polímero aniônico para facilitar a decantação. Bombeia-se o lodo acumulado nos tanques de sedimentação para o filtro prensa para adensamento e posterior destinação, enquanto descarta-se a água para o corpo d'água.

O tratamento de água de neutralização ou alcalina (FIGURA 7) deverá ser realizado quando há um excesso deste tipo de efluente nos tanques da ETE.

FIGURA 7 - TRATAMENTO DE EFLUENTES ALCALINOS



FONTE: Autor, 2018.

Este efluente é composto pela presença de desengraxantes e decapantes alcalinos, assim como neutralizantes contendo soda cáustica (hidróxido de sódio). Acumula-se o efluente em um tanque de 15000 L. Normalmente utiliza-se esse efluente para elevar o pH durante os processos de tratamento numa forma de diminuir o uso de soda cáustica.

Quando o efluente alcalino está em excesso transfere-se para o tanque de equalização, adiciona-se cal hidratada e após meia hora reduz-se o pH com o uso de sulfato de alumínio para melhorar a floculação. Em alguns casos pode ser necessária a aplicação do coagulante para melhorar a formação dos flocos.

No final da operação, transfere-se o efluente tratado para o tanque de sedimentação. No canal de alimentação deste tanque adiciona-se uma solução de polímero aniônico para facilitar a decantação. Bombeia-se o lodo acumulado nos tanques de sedimentação para o filtro prensa para adensamento e posterior destinação, enquanto descarta-se a água para o corpo d'água.

O efluente de zamak é composto pela água utilizada para limpeza das peças brutas de zamak que são submetidas a um tratamento físico. Onde as peças depois de retiradas das injetoras são colocadas em máquinas de vibro acabamento (FIGURA 8) com abrasivos a base de cerâmica e plástico (chips) (FIGURA 9) para remoção de rebarbas que ficam após serem retiradas dos moldes de fundição.

FIGURA 8 - MÁQUINA DE VIBRO ACABAMENTO



FONTE: ROSLER, 2019.

FIGURA 9 - CHIPS DE CERÂMICA



FONTE: ROSLER, 2019.

No efluente estão presentes pequenas partículas em suspensão e as pequenas quantidades de desmoldantes, detergentes e desengraxantes até a estação de tratamento.

As FIGURA 10 e FIGURA 11 mostram o tratamento dado aos efluentes de zamak que são provenientes da área de remoção de rebarbas da empresa e conduzidos para a estação de tratamento através de tubulação fechada.

O material chega na estação de tratamento e vai primeiro para um tanque de acúmulo onde adiciona-se cal hidratada (quando é necessária adiciona-se antiespumante). Quando o volume do tanque atinge o nível da boia de acionamento, o sistema passa a funcionar automaticamente.

FIGURA 10 - ESTRUTURA DA ETE PARA TRATAMENTO DE ZAMAK

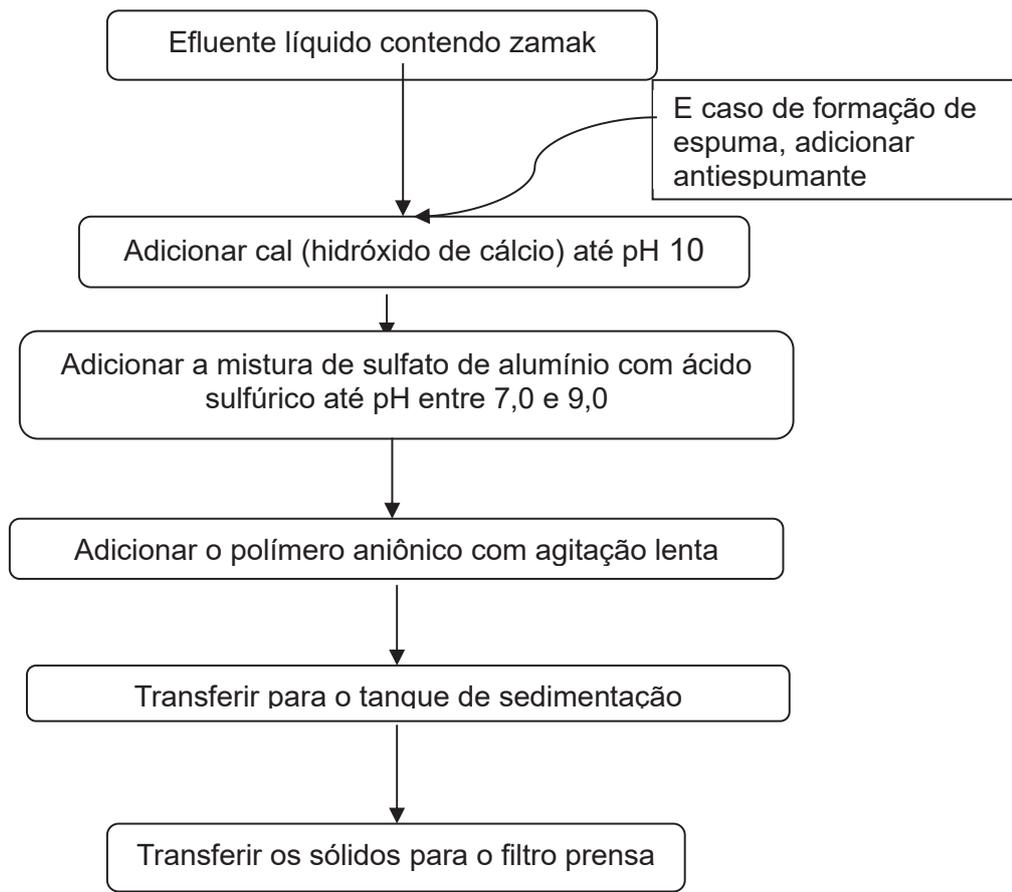


FONTE: AUTOR, 2019.

No sistema de tratamento indicado na FIGURA 10, transfere-se o efluente para outros três tanques de tratamento. O primeiro tanque funciona para homogeneizar a solução que recebeu a cal hidratada; o segundo tanque recebe a adição de uma solução de sulfato de alumínio e ácido sulfúrico para reduzir o pH, e posteriormente é transferido para o terceiro tanque, onde recebe uma solução de polímero aniônico para formação dos flocos.

Depois de receber o floculante, transfere-se a solução por gravidade para o tanque de sedimentação. Quando o nível do tanque de recebimento de efluentes bruto diminui e a boia do tanque de recebimento atinge a posição vertical, desliga-se o bombeamento e o sistema fica em repouso.

FIGURA 11 - TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ZAMAK



FONTE: Autor, 2018.

Após a etapa de floculação, transfere-se o efluente tratado para o tanque de sedimentação, e transfere-se os sólidos por gravidade diretamente para o filtro prensa para o adensamento do lodo.

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO NOS EFLUENTES GALVÂNICOS

Os efluentes galvânicos foram classificados na empresa em quatro tipos de acordo com sua origem:

- Efluente contendo metais pesados;
- Efluente contendo cianeto;
- Efluente alcalino (água de neutralização);
- Efluente contendo zamak.

Para caracterizar os efluentes foram verificados os seguintes parâmetros expostos no QUADRO 2.

QUADRO 2 – PARÂMETROS PARA OS EFLUENTES GALVÂNICOS

Parâmetro	Equipamento/metodologia
Aspecto	Análise visual
pH de entrada (chegada na ETE)	pHmetro da marca METTLER TOLEDO Modelo Five Easy
Metais presentes	Identificação por processos
Teor de sólidos	Método de secagem em estufa por 1h a 105°C
Materiais sedimentáveis	Conforme o teste com o cone de Imhoff
DQO	Conforme método descrito no item 4.7

FONTE: Autor, 2019.

4.2 PROCEDIMENTO E TESTES

Coleta-se as amostras no período da manhã, quando há maior número de trocas de água dentro das linhas de produção galvânicas, nos tanques de acúmulo e nos tanques de tratamento da estação e para transferir a amostra foi utilizado um coletor.

Para cada ensaio de jar test foram coletados 4 L de amostras por batelada de tratamento, transferindo-se para um balde graduado, e a seguir transferiu-se para cada béquer do ensaio de jar test um volume de 500 mL de amostra bruta.

Os testes na planta foram realizados utilizando os dois tanques de tratamento de 14000 e 8000 L.

De acordo com a Norma Interna da Sabesp 013, pode-se definir os sólidos totais (ST) como o resíduo que resta na cápsula após a evaporação em banho maria de uma porção de amostra e sua posterior secagem em estufa a 103-105°C até peso constante (SABESP, 1999).

Já os sólidos sedimentáveis (SSed) é a porção dos sólidos em suspensão que se sedimenta sob a ação da gravidade durante um período de uma hora, a partir de um litro de amostra mantida em repouso em um cone Imhoff (SABESP, 1999).

4.3 PLANEJAMENTO

Para conseguir uma performance mais próxima dos resultados obtidos na estação de tratamento utilizou-se os mesmos produtos do tratamento diário dos efluentes. No QUADRO 3, apresenta uma relação dos produtos químicos utilizados no trabalho.

QUADRO 3 - RELAÇÃO DOS PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS

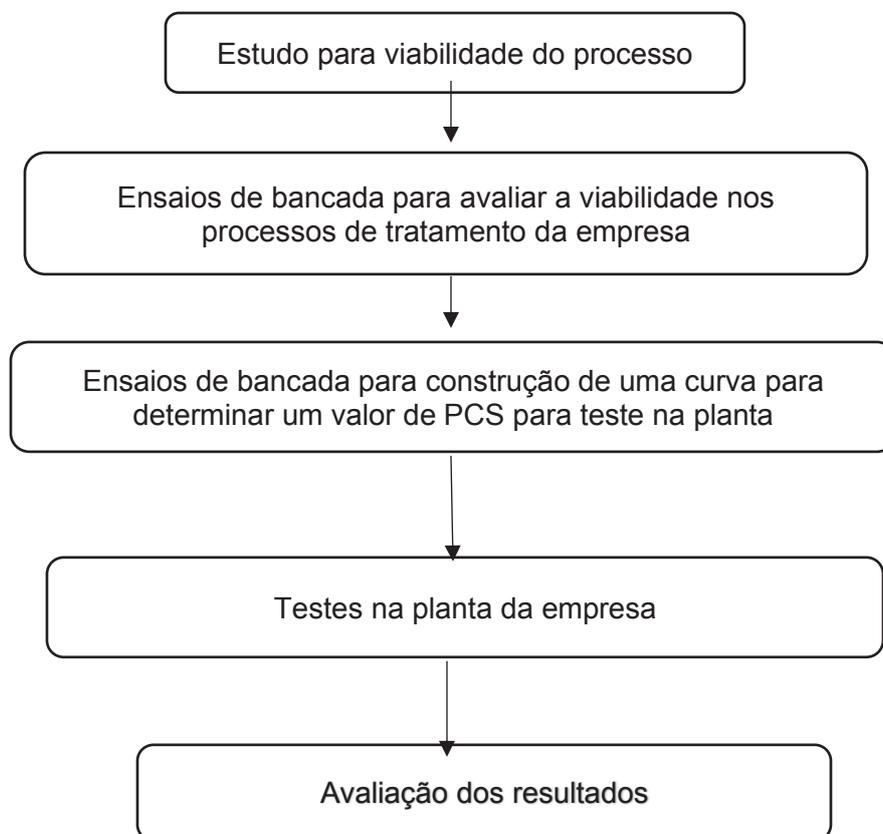
Produto	Função	Fabricante/Fornecedor	Concentração	Validade
Sulfato de alumínio	Floculante	Buschle & Lepper	88%	02/2020
Ácido sulfúrico	Redução de pH	Buschle & Lepper	98%	05/2020
Hidroxido de sódio (soda cáustica)	Alcalinizante	Buschle & Lepper	99%	03/2020
Hidroxido de cálcio (cal hidratada)	Alcalinizante	HIDRA	75%	12/2019
Tanfloc SG (coagulante a base de tanino)	Coagulante	TANAC	6%	08/2019
Polímero (aniônico) FX-AS1	Auxiliar de floculação	FAXON	99%	02/2020
Percarbonato de sódio	Oxidante	BSC (importado da CHINA)	99%	05/2020
Metabissulfito de sódio	Redutor de cromo	GRILLO	99%	12/2020

FONTE: Autor, 2019.

Realizaram-se ensaios preliminares no laboratório com equipamento de jar test para determinar se o PCS poderia ser utilizado como alternativa para reduzir a carga

orgânica. O objetivo foi demonstrar através dos testes de jarros ou jar test que o processo seria viável, conforme esquema indicado na FIGURA 12.

FIGURA 12 - ESQUEMA DE ORGANIZAÇÃO DOS ENSAIOS



Fonte: Autor, 2019.

Pode-se dividir o experimento em três fases. Na primeira fase foram os ensaios de bancada para determinar que o PCS seria capaz de reduzir a carga orgânica, e qual seria a melhor condição (ácida ou alcalina) para remoção da carga orgânica.

Na segunda fase foram realizados ensaios de bancada em triplicata para efluentes de cianeto e metais pesados cuja função foi calcular uma concentração ideal capaz de encontrar o valor determinado pela legislação CEMA nº 70/2009. Foram estudadas variações entre 0 e 500 ppm de PCS nos quatro tipos de efluentes produzidos pela empresa, conforme representado no QUADRO 4.

QUADRO 4 - PLANEJAMENTO DAS ANÁLISES

Ensaio	Condição do Teste	Concentração de PCS (mg/L)	Tipo de efluente
01	pH inicial alcalino	0/100/200/300/400/500	METAIS PESADOS
02	pH inicial ácido	0/100/200/300/400/500	METAIS PESADOS
03	pH inicial alcalino, sem PCS	0	CIANETO
04	pH inicial alcalino, com PCS	500	CIANETO
05	pH inicial ácido, com PCS	500	CIANETO
06	pH inicial alcalino	0/100/200/300/400/500	ZAMAK
07	pH inicial ácido com adição de solução PCS/Sulfato de Alumínio	0/100/200/300/400/500	ZAMAK
08	pH inicial ácido	0/100/200/300/400/500	ZAMAK
09	pH inicial alcalino	0/100/200/300/400/500	ÁGUA DE NEUTRALIZAÇÃO
10	pH inicial ácido	0/100/200/300/400/500	ÁGUA DE NEUTRALIZAÇÃO
11	pH inicial ácido, triplicata	0/100/200/300/400/500	METAIS PESADOS
12	pH inicial ácido, triplicata	0/100/200/300/400/500	CIANETO
13	Teste na ETE em pH inicial ácido	Valor determinado pela curva	METAIS PESADOS
14	Teste na ETE em pH inicial ácido	Valor determinado pela curva	CIANETO

FONTE: Autor, 2019.

Conforme a remoção da carga orgânica pelo aumento da concentração de PCS foi verificada, realizaram-se ensaios variando as concentrações do oxidante para obter uma curva capaz de calcular a quantidade de percarbonato necessária para atingir o valor indicado para lançamento de efluentes tratados pelo Instituto de Águas do Paraná.

A terceira fase consistiu na elaboração das curvas através do programa Excel®, após realizar os cálculos para conseguir um valor capaz de alcançar o melhor resultado para remoção da DQO dentro da estação de tratamento.

Além de estudar a viabilidade do processo, o jar test foi utilizado para verificar se o percarbonato de sódio poderia de alguma maneira dificultar a disposição do lodo e

se apresentaria alguma alteração significativa na quantidade produzida. Depois de tratado, o efluente foi encaminhado para tanques de sedimentação onde o lodo decanta.

4.4 TESTES DE JARROS (JAR TEST)

O jar test ou teste de jarros é um procedimento muito utilizado em estações de tratamento para determinar os parâmetros. Para os testes na planta para avaliar possíveis resultados, foram realizados ensaios de bancada em todos os efluentes resultantes dos processos de fabricação: metais pesados, cianetos, alcalinos e efluentes de zamak.

Para cada tipo de efluente resultante dos processos galvânicos foi realizado um ensaio o qual avalia-se a condição mais viável para tratar cada efluente. Depois escolhe-se o melhor método, para realizar os ensaios de bancada. Este método é utilizado para determinar a equação da reta cujo cálculo indicará um valor de DQO para tornar possível o tratamento do efluente galvânico para remoção da carga orgânica dentro dos limites de lançamento indicados na legislação.

No equipamento de jar test, agita-se as soluções com intensidade igual por pás rotativas e velocidade controlada, com o uso de temporizados e iluminação própria.

4.5 ENSAIOS COM EFLUENTE CONTENDO METAIS PESADOS

Para o estudo da remoção da carga orgânica por meio da adição de PCS no processo de tratamento do efluente galvânico, realizou-se ensaios de jar test de acordo com seguinte sequência.

O primeiro ensaio, foi realizado simultaneamente em 6 béqueres (Ensaio 01 – QUADRO 4), para a determinação do efeito da adição de PCS no efluente galvânico em pH alcalino (11,3). Realizou-se todo o tratamento para forçar a sedimentação do lodo, verificou-se no efluente galvânico bruto o pH inicial, e após adicionou-se hidróxido de sódio para elevar o pH e permitir o uso do coagulante (pH entre 7,0 e 8,5).

Depois de 15 minutos adicionou-se cal hidratada até pH entre 10 e 11. Depois de meia hora, reduziu-se o pH com ácido sulfúrico para valores entre 5 e 9, conforme a Resolução da CEMA nº 70/2009. Na sequência, adicionou-se polímero aniônico 1 % para forçar a floculação. Desligou-se a agitação e o transferiu-se o volume do béquer para uma proveta graduada.

Já no segundo ensaio, realizado simultaneamente em seis béqueres (Ensaio 02 – QUADRO 4), adicionou-se o PCS no efluente bruto com pH ácido (2,12). Neste efluente

realizou-se a dosagem de metabissulfito de sódio sólido para a conversão de Cr^{6+} em Cr^{3+} . Verificou-se essa alteração pela mudança de cor do efluente de alaranjado para verde (FIGURA 13), depois elevou-se o pH utilizando-se hidróxido de sódio, até atingir o pH variando entre 7,0 e 8,5, para adição do coagulante.

FIGURA 13 - CROMO – ESTADOS DE OXIDAÇÃO



Fonte: Autor, 2019.

Depois de 15 minutos adicionou-se cal hidratada até atingir o pH entre 10 e 11. Agitou-se a solução por mais 15 minutos, depois o reduziu-se o pH com ácido sulfúrico e então adicionou-se o polímero aniônico para floculação. Desligou-se a agitação e transferiu-se o volume para uma proveta para a determinação do volume de lodo.

Depois realizou-se um terceiro ensaio, com seis béqueres de amostra, com efluentes de metais pesados repetindo a melhor condição encontrada para remoção da carga orgânica (Ensaio 11 – QUADRO 4) antes de realizar o teste na estação de tratamento de efluentes.

4.5.1 Ensaios com efluente contendo cianeto

Outro processo no qual testou-se a utilização do PCS foi o tratamento de cianeto, oriundo dos processos de fabricação de cobre alcalino e latão, além de desengraxantes químicos. Nesta sequência, o efluente galvânico contendo cianeto foi pré-tratado utilizando-se hipoclorito de sódio 12% em pH acima de 12, para conversão dos ânions cianeto em cianato.

Depois escolheu-se três métodos para determinação da melhor sequência para o tratamento do cianeto. No primeiro método (Ensaio 3 – QUADRO 4) testou-se o tratamento sem PCS. No segundo método (Ensaio 4 – QUADRO 4), testou-se com adição de PCS em pH alcalino e no terceiro método (Ensaio 5 – QUADRO 4) testou-se com adição de PCS em pH ácido

Depois realizou-se um novo ensaio a partir da melhor condição dos métodos realizados anteriormente, com efluentes de cianeto, em triplicata, variando as concentrações de PCS repetindo-se a melhor condição encontrada para remoção da carga orgânica (Ensaio 12 – QUADRO 4). Realizou-se depois testes na planta da empresa.

4.5.1.1 Ensaio sem PCS

Neste ensaio (Ensaio 3 – QUADRO 4) com efluentes de cianeto, transferiu-se 500 mL do efluente bruto de cianeto para um béquer de 600 mL, após acionar a agitação mecânica do jar test fez-se o ajuste do pH para 12 com a adição de hidróxido de sódio 50 %, adicionou-se 20 mL de solução de hipoclorito de sódio 12 % até a solução ficar na coloração azul.

Após 2 horas, realizou-se o teste para determinação de cianeto com o kit próprio (Quantofix Cyanid, marca Macherey-Nagel GmbH & Co. KG). Após a confirmação de resultado negativo para cianeto adicionou-se 25 mL de sulfato de alumínio em ácido sulfúrico 15 % até pH 6,5. Depois homogeneizou-se a solução e adicionou-se 30 g de cal hidratada (hidróxido de cálcio) até pH 8,5 e adicionou-se também mais 2 mL de polímero aniônico 1 %. Desligou-se a agitação para deixar o lodo sedimentar no béquer. Após 30 minutos retirou-se uma alíquota para avaliar o clarificado.

4.5.1.2 Ensaio com PCS em pH alcalino

Neste ensaio (Ensaio 04 – QUADRO 4), transferiu-se 500 mL do efluente bruto de cianeto para um béquer de 600 mL, e acionou-se a agitação mecânica do jar-test, fazendo-se o ajuste do pH para 12 com a adição hidróxido de sódio 50 %. Depositou-se 20 mL de solução de hipoclorito de sódio 12% até a solução ficar com uma coloração azul.

Após 2 horas, realizou-se um teste para determinação de cianeto com o kit próprio (Quantofix Cyanid, marca Macherey-Nagel GmbH & Co. KG). Após a confirmação

de resultado negativo para cianeto, adicionou-se 25 mL de ácido sulfúrico 98% até pH 6,5. Homogeneizou-se a solução e depois adicionou-se 4 mL de coagulante à base de tanino (Tanfloc® SG), deixou-se reagir por 15 minutos

Após adicionar-se 30 g de cal hidratada (hidróxido de cálcio) até pH 10,5, depois adicionou-se 500 mg de percarbonato de sódio, e depois de meia hora reduziu-se o pH com 15 mL de sulfato de alumínio até pH 8,5 e depois adicionou-se 2 mL de polímero aniônico 1%. Desligou-se a agitação para deixar o lodo sedimentar no béquer. Após 30 minutos retirou-se uma alíquota para avaliar o clarificado.

4.5.1.3 Ensaio com PCS em pH ácido

Neste ensaio (Ensaio 05 – QUADRO 4), transferiu-se 500 mL do efluente bruto de cianeto para um béquer de 600 mL, e acionou-se a agitação mecânica do jar-test. Realizou-se um ajuste do pH para 12 com a adição hidróxido de sódio 50 %, e adicionou-se 20 mL de solução de hipoclorito de sódio 12 % até a solução ficar na coloração azul.

Após 2 horas, realizou-se um teste para determinação de cianeto com o kit próprio (Quantofix Cyanid, marca Macherey-Nagel GmbH & Co. KG), após a confirmação de resultado negativo para cianeto adicionou-se 7,5 mL de ácido sulfúrico 98% até pH 3,0. Homogeneizou-se a solução e adicionou-se 500 mg de percarbonato de sódio e deixou-se reagir por 15 minutos, e após adicionou-se 50 g de cal hidratada (hidróxido de cálcio) até pH 9,5. Depois reduziu-se o pH com 15 mL de sulfato de alumínio até pH 8,5 e depois adicionou-se 2 mL de polímero aniônico 1%. Desligou-se a agitação para deixar o lodo sedimentar no béquer. Após 30 minutos foi retirada uma alíquota para avaliar o clarificado.

4.5.2 Ensaio com efluente de zamak

4.5.2.1 Ensaio com PCS em pH alcalino

O efluente galvânico resultante do processo de remoção de rebarbas foi encaminhada para um tanque onde recebeu cal hidratada (para pH próximo de 10). Depois adicionou-se PCS e após o sistema semiautomático injetar uma solução aquosa contendo sulfato de alumínio e ácido sulfúrico (Ensaio 6 – QUADRO 4), onde o pH é reduzido para a faixa de 7,0 - 9,0 e adicionou-se polímero aniônico 1 % que fez a floculação. Quando se desligou a agitação, transferiu-se o volume para uma proveta para determinação do volume de lodo.

4.5.2.2 Ensaio com PCS/sulfato de alumínio

Um segundo ensaio com efluente de zamak (Ensaio 7 – QUADRO 4) foi realizado simulando a adição de PCS juntamente com uma solução de sulfato de alumínio e ácido sulfúrico, com as seguintes condições:

Encaminhou-se a solução resultante do processo de remoção de rebarbas para um tanque onde recebeu cal hidratada (para pH próximo de 10) e injetou-se manualmente uma solução preparada com 7,5 g de PCS, 37,5 mL de sulfato de alumínio e avolumou-se para 100 mL de água. Abaixou-se o pH para a faixa de 7,0 - 9,0 e depois adicionou-se polímero aniônico 1% que faz a floculação. Desligou-se a agitação e transferiu-se o volume para uma proveta para determinação do volume de lodo.

4.5.2.3 Ensaio com pH inicial ácido

Uma terceira condição (Ensaio 8 – QUADRO 4), foi testada. Depois de receber a solução direta do rotofinish, adicionou-se ácido sulfúrico até pH 3,0, nesse momento adicionou-se o PCS, depois adicionou-se 6,3 g de hidróxido de cálcio até pH 10,0, deixou-se reagir por aproximadamente 30 minutos, depois de adicionou-se sulfato de alumínio, até pH na faixa de 7,5 - 8,0. Após o ajuste do pH adicionou-se 1,5 mL de polímero aniônico a 1%. Quando se desligou a agitação, transferiu-se o volume para uma proveta para determinação do volume de lodo.

4.5.3 Ensaio com efluentes alcalinos

4.5.3.1 Ensaio com pH alcalino

Neste ensaio (Ensaio 9 – QUADRO 4), adicionou-se a solução hidróxido de cálcio (cal hidratada), e depois agitou-se a solução durante 30 minutos, adicionou-se o PCS e deixou-se reagir por 30 minutos, depois adicionou-se sulfato de alumínio até o pH ser reduzido até 7,0. Quando se desligou a agitação, transferiu-se o volume para uma proveta para determinação do volume de lodo.

4.5.3.2 Ensaio com pH inicial ácido

Um segundo ensaio com a água de neutralização (Ensaio 10 – QUADRO 4) foi realizada. Reduziu-se o pH inicial para abaixo de 3, utilizando ácido sulfúrico e depois

de adicionou-se o PCS, elevou-se o pH entre 7,0 e 9,0 com cal hidratada, ficando em agitação por 30 minutos. Quando se desligou a agitação, transferiu-se o volume para uma proveta para determinação do volume de lodo.

4.6 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE LODO

Cada béquer utilizado no ensaio de jar test recebeu uma alíquota de 500 mL de efluente bruto. O efluente bruto foi tratado com o mesmo procedimento de tratamento realizado na estação, transferiu-se o volume tratado para provetas graduadas de 500 mL.

Depois de 30 minutos de repouso, realizou-se a medição do volume para cada amostra pela leitura direta do volume na proveta. O valor obtido foi aplicado na Equação 7 para obtenção do volume em mL/L.

$$V_{\text{lodo}} = V_{\text{medido}} * 2 \quad (7)$$

Sendo:

V_{ssed} : volume de lodo (sedimentado) por litro (mL/L);

$V_{\text{lodomedido}}$: volume de lodo medido na proveta (mL);

2: fator para ajustar o volume do lodo medido para 1 L;

4.7 ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA DQO

A determinação da concentração da DQO pode ser estabelecida como a medida da quantidade de oxidante químico necessário para oxidar a matéria orgânica de uma amostra (BADO; PERCIO; LINDINO, 2012).

No presente trabalho, além de calcular a DQO nos processos de tratamento de efluentes galvânicos, através da determinação da DQO foi possível estabelecer a viabilidade do processo.

Para as análises de DQO coletou-se alíquotas do efluente galvânico bruto e clarificado de cada jarro obtido nos ensaios de jar test. Para a determinação da DQO utilizou-se a técnica de Refluxo Fechado – Standard Methods 5220-D (APHA, 2006),

Conforme os resultados obtidos de concentração de DQO no efluente galvânico bruto e clarificado, calculou-se a eficiência do tratamento através da Equação 8.

$$\eta = [(C_i - C_f)/C_i] * 100 \quad (8)$$

Sendo:

η : eficiência do tratamento (%);

C_i : concentração de DQO na amostra bruta (mg/L);

C_f : concentração de DQO na amostra clarificada (mg/L);

4.8 DETERMINAÇÃO DO VALOR TEÓRICO DE PCS

A partir dos dados obtidos nos ensaios de jar test, plotou-se uma curva com os resultados de concentração de DQO em função da concentração de PCS.

Através da aplicação de regressão linear, conforme Equação 9, a quantidade teórica de PCS necessária para obtenção de 100 mg/L de DQO calculou-se (o limite de emissão conforme licença ambiental de operação da indústria objeto deste estudo exige uma DQO máxima de 100 mg/L).

$$y = a \cdot x + b \quad (9)$$

Sendo:

y: Concentração de DQO (mg/L);

a: Coeficiente angular da reta de melhor ajuste;

b: Coeficiente linear da reta de melhor ajuste;

x: Concentração de PCS (mg/L).

4.9 TRATAMENTO DO EFLUENTE COM PCS EM ESCALA PLENA

Depois dos ensaios de jar test realizou-se a dosagem do PCS sólido em escala plena, ou seja, na ETE da empresa. Neste teste, os dois tanques de tratamento foram preenchidos ao mesmo tempo com a mesma mistura de efluentes galvânicos. No primeiro tanque de 14000 L de capacidade não se utilizou o PCS. Já no segundo tanque de 8000 L de efluente aplicou-se as quantidades de PCS determinadas pelos cálculos indicados nos resultados da seção 5.2.

Para realização dos testes na ETE utilizou-se os efluentes contendo metais pesados e cianeto.

No tratamento do efluente de metais pesados, para a coagulação e floculação, em ambos os tanques foram adicionados hidróxido de sódio 50 % em solução, coagulante à base de tanino, metabissulfito de sódio, cal hidratada e ácido sulfúrico a 98 %.

No tratamento do efluente contendo cianeto, para a coagulação e floculação, em ambos os tanques se adicionou cal hidratada, sulfato de alumínio e ácido sulfúrico a 98 %.

Depois de realizado o tratamento retirou-se 1 L de efluente de cada tanque transferindo-o para leitura do volume de lodo decantado em proveta de 500 mL, e, por fim, retirou-se uma alíquota do efluente clarificado onde foi medida a concentração de carga orgânica através da DQO.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES GALVÂNICOS

Os efluentes produzidos nas linhas de tratamento de superfície foram separados em quatro tipos: metais pesados, cianeto, alcalinos e zamak. Cada um tem características diferentes de entre si, conforme o QUADRO 5.

QUADRO 5 - CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS DOS EFLUENTES

Item	Metais Pesados	Cianetos	Alcalinos	Zamak
Aspecto	Líquido laranja ou verde	Líquido amarelado	Líquido amarronzado	Líquido cinza
pH (entrada na ETE)	< 3,0	>9,0	> 12,0	> 8,0
Metais presentes	Cr, Ni, Cu, Zn	Cu (eventualmente Zn)	Normalmente sem metais	Zn
Sólidos Totais (105°C)	12 %	8 %	5 %	12 %
Sólidos sedimentáveis sem tratamento	3 mL/L	7 mL/L	12 mL/L	5 mL/L
DQO (mg/LO ₂)	1100 - 1300	1800 - 2000	1200 - 1400	600 - 800

FONTE: Autor, 2019.

A cor do efluente bruto de metais pesados pode variar de acordo com a concentração de cromo, podendo chegar a quase laranja avermelhado, devido à alta concentração de cromo hexavalente e quando não há cromo hexavalente no efluente, ocorre a predominância é da cor verde das águas de lavagem contendo níquel.

Os efluentes contendo cianeto são levemente amarelados, porém em contato com o hipoclorito, forma-se um complexo com os íons de cobre torando a solução azulada. Os efluentes de zamak são levemente acinzentados por causa da cor das peças que sofrem o processo de limpeza, enquanto os efluentes alcalinos são amarronzados, normalmente por causa da mistura de resíduos dispersos.

O pH de entrada dos efluentes contendo metais pesados é ácido porque boa parte dos processos que estão presentes na produção como os banhos de níquel, cromo e cobre sem cianeto são ácidos assim como suas águas de lavagem, enquanto os demais efluentes avaliados tem pH alcalino na entrada na estação.

A baixa quantidade de substâncias não voláteis e sólidos sedimentáveis sem tratamento evidencia o grande volume de água que é usado em processos galvânicos. Isso se reflete quando observamos o lodo galvânico depois do processo de adensamento no filtro prensa, no qual o material ainda tem quase 60 % de umidade (VAZ, 2009).

Os efluentes alcalinos apesar de serem compostos basicamente de desengraxantes e soda caustica tem uma grande quantidade de água, enquanto os efluentes das máquinas vibratórias (efluente contendo zamak) normalmente não usam aditivo, e quando necessário usam pequenas quantidades de detergentes para auxiliar na limpeza de alguns modelos de peças e também tem uma quantidade de substâncias insolúveis em água.

Os valores de DQO para os efluentes brutos são diferentes entre si. O efluente de metais pesados tem carga orgânica formada por aditivos dos banhos galvânicos, por exemplo, aditivos para linhas de cromo podem conter substâncias como tensoativos e sais dos ácidos alquilpolissulfônicos de cadeia longa (LÄSER; WEISS; HONSELMANN, 2013); aditivos para níquel e cobre podem conter sacarina e álcool propargílico (SARTORI; DIVINO; AMADORI, 2007), além de tensoativos, enquanto os efluentes de cianetos têm alto valor de DQO por causa dos desengraxantes contendo cianeto.

A DQO indica a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica por via química, seu tempo de resposta do ensaio é mais rápido que a DBO₅, que indica a quantidade de oxigênio necessária para estabilização da matéria orgânica carbonada decomposta aerobiamente por via biológica, e o resultado da análise de DQO sai em pelo menos três horas enquanto a DBO₅ leva cinco dias para o resultado (BADO; PERCIO; LINDINO, 2012).

Na estação de tratamento também são tratados os efluentes gerados nos lavadores de gases das linhas de cromagem (quatro no total, cada um com volume de 4000 L), e quando é realizada limpeza dos pisos das linhas de produção, o efluente gerado também é encaminhado para estação de tratamento.

5.2 AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS EM ENSAIOS DE JAR TEST

5.2.1 Teste com efluente contendo metais pesados

O primeiro ensaio com jar test realizado foi com metais pesados em pH alcalino (11,3), realizado após o tratamento do efluente.

As dosagens aplicadas de PCS variaram entre 0 e 500 mg/L, foram realizadas para cada ensaio. Neste ensaio o pH inicial estava em 5,24 (como esse efluente não tinha cromo hexavalente no momento da coleta, não foi necessária a aplicação de metabissulfito).

O resultado do primeiro ensaio não foi muito satisfatório, pois observou-se que a eficiência na remoção da DQO não foi significativa, e a remoção da matéria orgânica não ocorreu de forma linear (TABELA 1). Nos resultados obtidos verificou-se que houve uma remoção na quantidade de matéria orgânica removida com o aumento da concentração de PCS, porém, a remoção não aumenta com a concentração do oxidante.

Já no segundo ensaio, o PCS foi adicionado no efluente bruto com pH ácido (2,12). Entretanto neste efluente foi necessária a dosagem de 300 mg/L de metabissulfito de sódio sólido para a conversão de Cr^{6+} em Cr^{3+} (essa alteração é verificada pela mudança de cor do efluente de alaranjado para verde). E quando foi adicionado o PCS não conseguiu oxidar o cromo trivalente para voltar a ser hexavalente.

Essa diferença de comportamento pode ser observada na remoção da DQO enquanto nos jarros com adição de PCS em pH alcalino (jarros de 1 a 7), a remoção para 500 mg/L foi de apenas 7%, para o mesmo valor de PCs em pH ácido essa remoção foi de quase 73%.

Os ensaios de jar test foram realizados para verificar a viabilidade do processo antes de ser testado na ETE (escala plena). As condições de clarificação obtidas nos ensaios de jar test realizados com e sem a adição de PCS no efluente em pH alcalino (11,3) e no pH ácido (2,12) também são descritos pela TABELA 1.

Observando os resultados obtidos na primeira parte da TABELA 1 (jarros 1 a 7), a redução na concentração de DQO foi menor que nos demais ensaios. Entretanto, o pH alcalino (11,3) não favoreceu as reações de oxidação do PCS com a matéria orgânica. Tal característica era esperada, pois reações de oxidação são preferencialmente catalisadas em meio ácido, e não alcalino (NOGUEIRA et al., 2007).

TABELA 1 – ADIÇÃO DE PCS EM EFLUENTES COM METAIS PESADOS

Amostra pH 11,3*	PCS (mg/L)	DQO (mg/LO ₂)	Eficiência (%)	Volume de Iodo (mL/L)	Amostra pH 2,12*	PCS (mg/L)	DQO (mg/LO ₂)	Volume de Iodo (mL/L)	Eficiência (%)
1	0	341	-	400	8	0	511	380	-
2	50	263	23	300	9	50	536	350	-
3	100	274	20	415	10	100	382	300	25
4	200	286	16	440	11	200	342	320	33
5	300	319	6,5	430	12	300	234	340	45
6	400	299	12	430	13	400	377	340	26
7	500	319	7	400	14	500	139	380	73

*Momento da adição do PCS

FONTE: Autor, 2018.

Segundo observado na TABELA 1, a melhor condição para dosagem de PCS foi encontrada no efluente bruto com pH ácido (2,12), isso também foi observado por Pignatello (1992), Marcelino, Barbosa Filho e Dutra (2010) e Fioreze, Santos e Schmachtenberg (2014), que afirmam que em pH ácido os reagentes oxidantes apresentam maior eficiência de degradação de compostos orgânicos. Esta característica também é observada em alguns processos oxidativos avançados como o fenton e a fotocatalise conforme resultados obtidos pelos mesmos autores.

É possível verificar na TABELA 1 que conforme o aumento da quantidade de PCS adicionado no efluente em pH 2,12, aumentou-se a quantidade de matéria orgânica consumida, o que indica que o aumento da quantidade de PCS aumenta a disponibilidade de oxigênio para atacar os compostos orgânicos causando diminuição da DQO do efluente bruto. Ainda assim o melhor resultado da TABELA 1, com dosagem de PCS 500 mg/L foi uma concentração de DQO 139 mg/L ainda acima do valor indicado pela legislação estadual que estabelece o limite de 100 mg/L para o lançamento dos efluentes das indústrias galvânicas (PARANÁ, 2009).

Para determinar a curva que irá indicar um valor teórico realizou-se um novo ensaio em triplicata, e os resultados obtidos estão apresentados na TABELA 2, para uma amostra bruta com DQO = 1274 mg/LO₂.

TABELA 2 – AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DA DQO

Concentração de PCS (mg/L)	Teste 1 DQO (mg/L O ₂)	Eficiência (%)	Teste 2 DQO (mg/L O ₂)	Eficiência (%)	Teste 3 DQO (mg/L O ₂)	Eficiência (%)	Valores médios de DQO (mg/LO ₂)	Desvio
0	1274	-	1274	0	1274	0	1274	0
100	1007	21	941	26	842	34	930	59
200	866	32	746	41	755	41	789	51
300	733	42	681	47	724	43	712	21
400	712	44	675	47	686	46	691	14
500	618	51	658	48	595	53	623	23

FONTE: Autor, 2019.

Essa remoção da DQO conforme o aumento da concentração de PCS, também foi verificada por Viisima e Goi (2014), quando estudaram o comportamento do percarbonato para o tratamento de remediação do solo.

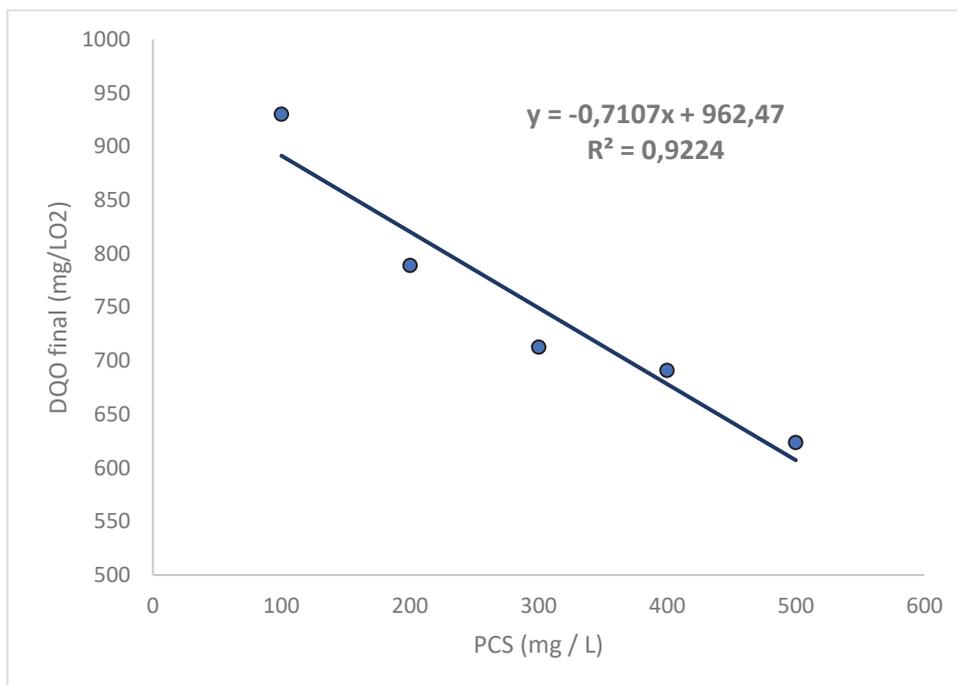
A partir dos valores médios obtidos nos testes em triplicata realizou-se o cálculo do valor de PCS com o objetivo de atingir o valor do limite citado na legislação. (100 mg/LO₂ – PARANÁ, 2016)

Para determinar o gráfico entre a concentração de PCS e sua correlação com a DQO, os dados foram trabalhados com o formato de dispersão (Excel), que é ideal para calcular o valor da reta. Utilizou-se os valores médios das análises de DQO, num processo semelhante ao estudo de Aquino, Silva, Chernicharo, 2006.

Eliminando o ponto (0,1274) obteve-se uma inclinação linear na qual foi possível determinar o valor da concentração de PCS para que fosse possível atingir o limite de lançamento.

Como o gráfico (FIGURA 14) apresentou uma linha de tendência com valor de $R^2 > 0,9$, assim foi calculado o valor de PCS pela equação da reta encontrar o valor de 1354 mg/L para quando $y = 0$, ou seja, eliminar toda carga orgânica. Para o valor de $y = 100$ mg/L que atenderia o parâmetro de lançamento da legislação a dosagem seria de 1213 mg/L. Tal dosagem foi testada na estação de tratamento e será discutida no item 5.3.

FIGURA 14 – REMOÇÃO DA DQO EM EFLUENTES DE METAIS PESADOS



FONTE: Autor 2018.

O PCS em meio aquoso libera peróxido de hidrogênio que é um forte oxidante que dissolve rapidamente na água, principalmente em meio ácido, reagindo também com agentes redutores presentes nos efluentes industriais onde não ocorre a liberação de calor e subprodutos que podem ser gasosos causando pressurização de recipientes fechados (PIRES, 2012). Nos ensaios em jar test e nos testes na estação de tratamento foi possível observar uma forte efervescência, porém, não foi observado nenhum aumento significativo da temperatura.

Essa efervescência foi observada em todos os ensaios realizados em condições ácidas, onde a parte do carbonato dissolvido é liberado na forma de gás carbônico e ocorre a liberação de oxigênio no meio conforme a EQUAÇÃO 10 (Yue-Hua et. al, 2011).

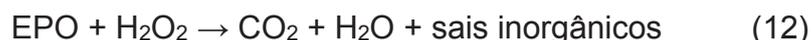
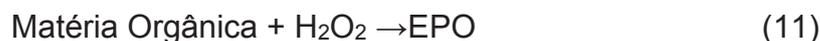


Em geral, os compostos orgânicos, têm algum poder redutor e podem reagir com os compostos desta classe. A reatividade varia muito com a identidade do composto orgânico. Alguns agentes oxidantes inorgânicos (como o PCS) podem ainda reagir violentamente com metais ativos, cianetos, ésteres e tiocianatos.

Segundo Jardim e Canela (2007), o processo de oxidação da matéria orgânica transforma as matérias altamente tóxicas, em moléculas mais simples e menos tóxicas.

Nas reações de oxidação, o oxidante, no caso o peróxido presente na estrutura do PCS ganha elétrons, enquanto o EPO (Espécies parcialmente oxidadas - MATTOS et al., 2003), perde elétrons se oxidando e conseqüentemente se desestabilizando.

Essa oxidação dos compostos orgânicos pode ser representada por duas fases, conforme as equações 11 e 12:



Durante o processo de degradação da matéria orgânica podem ocorrer reações paralelas que competem pelo PCS dissolvido, como a formação de ácido carbônico (H_2CO_3). Entretanto, ao se dissociar, parte do carbonato (CO_3^{2-}) reage com os cátions presentes e é incorporada no lodo, e parte se mantém dissolvida no clarificado final. (YUE HUA et al, 2011)

Segundo o Departamento de Recursos Naturais do Estado de Wisconsin/EUA (2012) a presença de carbonato no lodo ou no clarificado final não causa toxidez residual e nem bioacumulação nos organismos, tornando-o compatível para biorremediação. Alguns autores sugerem que o radical carbonato possa ser um oxidante (BONINI, 2004; PIRES, 2012)

Isto é uma vantagem, principalmente se comparada com a utilização de derivados de cloro para a oxidação de matéria orgânica em efluentes, já que o cloro pode promover a formação de compostos organoclorados (trihalometanos, por exemplo), que são mais tóxicos que os subprodutos formados pelo PCS (ZARPELON; RODRIGUES, 2010).

Outra vantagem desse processo de tratamento é que para ocorrer não há necessidade de se utilizar nenhuma forma de energia extra (UV, por exemplo), pois trata-se de uma oxidação simples, e não avançada.

De acordo com vários autores Krishnan et al., 2016; Cabrita, 2015; Martins et al., 2011; O'Shea e Dionysiou, 2012; Fioreze, 2012; Nascimento et al., 2017, o princípio básico dos chamados POA – Processos oxidativos avançados, envolvem a produção do radical hidroxila ($\text{OH}\cdot$) que pode ser gerado a partir de peróxido de hidrogênio, ozônio, ou outros oxidantes em combinação com radiação UV, luz ou catalizadores.

Algumas novas técnicas estão sendo desenvolvidas e novas espécies como $\text{O}_2\cdot$ (superperóxidos), $\text{HO}_2\cdot$ (hidroperóxidos) ou ainda $\text{RO}\cdot$ (alcóxilo), estão sendo testadas, mas os processos ainda são em sua maioria baseados na hidroxila (CABRITA, 2015).

Assim para ativar a ação do PCS, o composto orgânico foi colocado diretamente em contato com o oxidante em meio ácido, segundo Fukomoto et al., 2018, as reações de oxidação quebram insaturações em alcenos, alcinos, alcadienos, derivados de benzeno, entre outros. O oxigênio liberado durante a decomposição do peróxido ataca as ligações “pi” e “sigma” e por fim forma a hidroxila com os hidrogênios presentes no meio reacional.

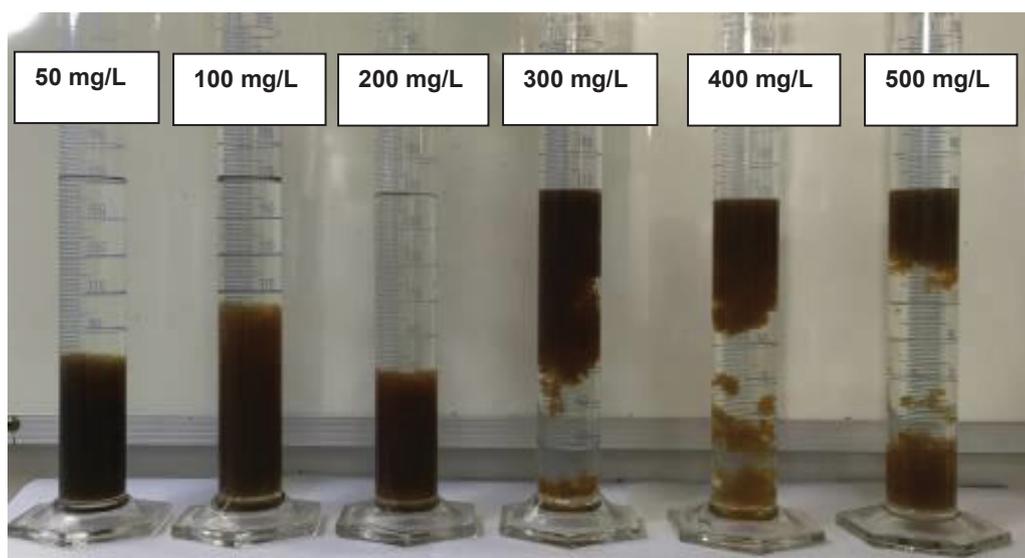
No caso dos derivados de benzeno, como por exemplo os hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA), Cale et al. (2018) indicou que o percarbonato funciona muito bem, quando utilizado para remediação de áreas contaminadas por estas substâncias.

Na FIGURA 15, é possível observar que a adição do PCS realizada em pH 11,3, desestabilizou a floculação de lodo. Inclusive, quando o PCS foi adicionado após as etapas de coagulação e floculação, uma parte do lodo começou a flotar depois de alguns minutos.

Uma das possíveis causas da flotação do lodo pode ser o excesso de oxidantes (HUBBARD-HALL, 2019), porém, como não foi observado quando o PCS é colocado no efluente bruto em pH ácido, essa hipótese foi descartada.

Observou-se também na FIGURA 15 que em dosagens acima de 300 mg/L de PCS, todas as provetas apresentaram flotação do lodo, esse efeito pode ser uma indicação de excesso do PCS, que causa liberação excessiva de gases como o gás carbônico e o oxigênio (dissociado do peróxido) que infla a massa de lodo.

FIGURA 15 - AMOSTRAS COM PCS EM PH ALCALINO (METAIS PESADOS)

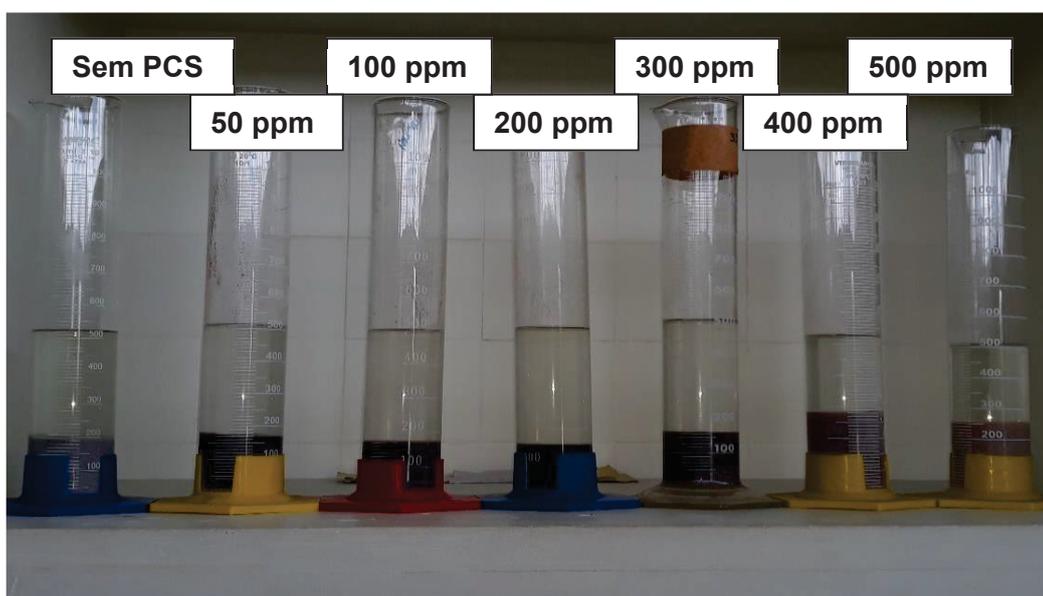


FONTE: Autor, 2017.

Outro fator que pode contribuir para a flotação de lodo neste ensaio de jar test é a pequena área de superfície do copo de béquer e posteriormente na proveta, que facilita a retenção do gás oxigênio dentro da vidraria.

No segundo ensaio para efluentes contendo metais pesados, que foi realizado com a adição do PCS no efluente bruto (em pH 2,12 – FIGURA 16) não foi verificada flotação de lodo, neste caso como o PCS foi adicionado no início do processo de tratamento (onde o pH é menor 3), a sua decomposição ocorreu de forma mais acentuada.

FIGURA 16 - AMOSTRAS COM PCS EM PH ÁCIDO (METAIS PESADOS)



FONTE: Autor, 2018.

E houve um maior tempo de reação neste ensaio, permitindo que parte dos gases formados durante a decomposição do percarbonato na reação fosse liberada antes da formação dos flocos, interferindo na sua formação e estabilização.

5.2.2 Testes com efluente contendo cianeto

Outro processo no qual foi testada a utilização do PCS foi o tratamento de cianeto, oriundo dos processos de fabricação de cobre alcalino e latão, além de desengraxantes químicos, nesta sequência, o efluente contendo cianeto é pré-tratado utilizando hipoclorito de sódio 12% em pH acima de 12.

Assim, antes de passarem por processos que envolvem adição de ácido, esses efluentes são testados com kits próprios para identificação de cianeto.

Para determinar qual o método a ser utilizado, foram testadas três diferentes condições para realizar o tratamento dos efluentes contendo cianeto. Os ensaios foram realizados com uma amostra bruta com DQO de 11179 mg/LO₂, e o seu resultado é apresentado no QUADRO 6.

QUADRO 6 - TESTE DO TRATAMENTO DE CIANETO

Amostra	DQO_F (mg/LO₂)	Volume de lodo (mL/L)	Eficiência de redução
Ensaio sem cianeto (nº 3 – no QUADRO 4)	1673	360	85,0 %
Ensaio com cianeto (nº 4 – no QUADRO 4) – meio alcalino	879	330	92,1%
Ensaio com cianeto (nº 5 – no QUADRO 4) – meio ácido	509	300	95,4 %

FONTE: Autor, 2019.

No QUADRO 6 apesar de não ter alcançado o valor ideal (abaixo de 100 mg/LO₂), a maioria dos processos alcançam mais de 85% de eficiência na redução da matéria orgânica.

Depois de testar os processos, a condição que apresentou o melhor resultado foi aquela onde PCS foi adicionado em meio ácido (número 5), para determinar a curva que indicaria a concentração de PCS suficiente para determinar uma remoção da DQO em efluentes contendo cianeto.

Na amostra que foi testada com a variação das quantidades de PCS, o valor da DQO (1685 mg/L) para o ensaio em triplicata para cálculo do valor mínimo para atender a legislação foi muito inferior a amostra testada para escolher a melhor condição (11179 mg/L), isso aconteceu porque no momento da coleta da primeira a estação recebeu um grande volume de desengraxantes cianídricos, o que aumentou a concentração da matéria orgânica.

No caso do efluente contendo cianeto de maneira análoga ao verificado no tratamento dos efluentes contendo metais pesados podemos afirmar que ao adicionar o percarbonato no pH alcalino (11,37) não foi verificado uma redução significativa da concentração da DQO.

Por outro lado, quando adicionado em pH ácido, o PCS funcionou exatamente como o previsto quebrando a matéria orgânica, reduzindo a concentração da DQO em quase 60% na concentração mais alta.

Repetindo a condição na qual, o PCS é adicionado ao efluente de cianeto em meio ácido foi realizada o ensaio em triplicata para determinação da curva, cujos resultados estão colocados na TABELA 3.

TABELA 3 – REMOÇÃO DA DQO (EFLUENTE COM CIANETO)

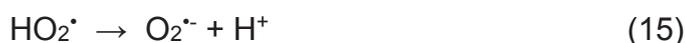
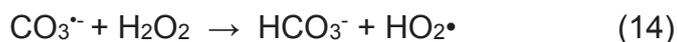
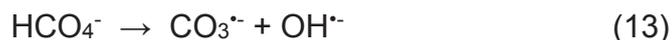
Concentração de PCS (mg/L)	Amostra 1 DQO (mg/L O ₂)	Eficiência (%)	Amostra 2 DQO (mg/L O ₂)	Eficiência (%)	Amostra 3 DQO (mg/L O ₂)	Eficiência (%)	Valores médios DQO mg/LO ₂	Desvio
0	1685		1685		1685		1685	
100	1485	12	1399	17	1461	13	1448	+/- 33
200	1148	32	1203	29	1166	31	1172	+/- 20
300	941	44	985	42	999	41	975	+/- 23
400	754	55	761	55	749	56	755	+/- 4
500	531	68	514	69	535	68	527	+/- 8

FONTE: Autor, 2019.

Esse resultado mostra que o PCS tem comportamento semelhante aos demais peróxidos que dissolvem completamente em meio ácido liberando o íon hidroxila que será responsável pelo ataque a matéria orgânica (NOGUEIRA, 2007).

No estudo realizado utilizando amostras de corantes extraídos da fabricação de tecidos, tipo Jeans, também foi observado que o comportamento do PCS em meio ácido (entre 4 e 7) era melhor que os resultados observados em pH alcalinos (ARAÚJO; RODRIGUES, 2019).

No estudo de Almojil (2015), quando dissolvido o PCS em meio ácido libera um ânion, o peróximonocarbonato (HCO_4^-), que é altamente reativo nos sistemas aquosos liberando o radical O_2^{\bullet} , sugerindo a formação de superperóxidos, através das reações.



Observando a FIGURA 17 no ensaio realizado com concentração de PCS igual a 500 mg/L, verificou-se que na proveta que continha o PCS, não houve de redução

significativa de volume do lodo, por outro lado não houve a flotação do lodo. A solução tratada com PCS ficou mais clara, diferente da solução sem PCS que está levemente azulada (à esquerda).

FIGURA 17 - AVALIAÇÃO DO LODO COM PCS (EFLUENTE COM CIANETO)



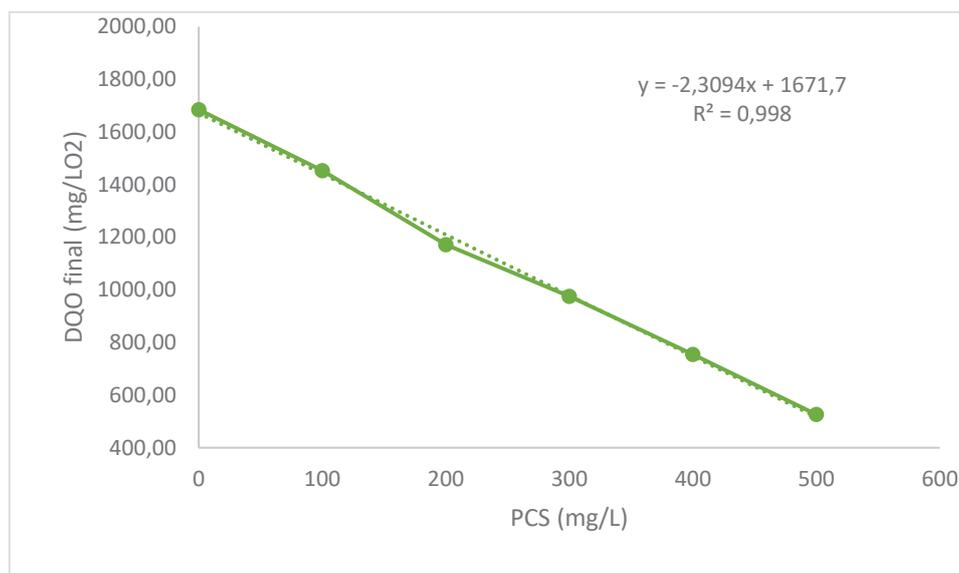
Efluente de cianeto com PCS (À direita) e sem PCS (À esquerda)
FONTE: Autor, 2018.

Quando ao final do tratamento, a cor azul persiste no efluente final, o tanque recebe um “retrabalho”, utilizando de uma pequena quantidade de coagulante para remoção dos íons de cobre responsáveis pela cor azulada dos efluentes.

Assim como no tratamento de efluentes de metais pesados, no efluente de cianeto também foi observada a redução da carga orgânica com o aumento da concentração de PCS.

Os resultados apresentados pela FIGURA 18 mostram que para trabalhar com o PCS no efluente de cianeto, foi necessário adaptar o processo de tratamento utilizado na empresa, no original não há a redução do pH da mistura até o pH próximo a 3, vale ressaltar que antes dessa operação, o todo o cianeto precisou ser eliminado com o uso do hipoclorito de sódio, porém, nessa etapa (que é realizada com a adição de ácido sulfúrico) ocorre a liberação do gás cloro, o que traz um certo desconforto durante o processo.

FIGURA 18 - REMOÇÃO DA DQO EM EFLUENTES CONTENDO CIANETO



FONTE: Autor, 2018.

A partir dos dados obtidos na FIGURA 18 foi possível calcular através da sua equação da reta. Assim quando y é igual a zero, a concentração de PCS é de 723 mg/L, enquanto para chegar ao valor do limite de lançamento (100mg/L) seriam necessários 680,5 mg/L de PCS.

De uma maneira geral, o percarbonato de sódio pode oxidar os compostos orgânicos sob condições ácidas e alcalinas, mas a eficiência de oxidação é maior com um valor mais baixo de pH (SILVA et al., 2011; PIECZYKOLAN; PLONKA; BARBUSINSKI, 2016).

Ao adicionar o PCS na fase do pH ácido, o produto fica em mais tempo em contato com a carga orgânica do meio, o que fornece uma maior redução. Por outro lado, com a adição em pH alcalino o meio se torna menos agressivo para a matéria orgânica. Isso pode ser explicado uma vez que a quantidade de peróxido diminui com o aumento do pH, e no pH alcalino diminui a formação do ácido carbônico (YUE HUA et al., 2011).

O que é um pouco diferente do processo de lavagem de roupas onde o PCS trabalha em meio alcalino, porém, ali o tipo de gordura é basicamente de origem orgânica (óleos, gordura vegetal) diferente dos aditivos presentes em banhos galvânicos que são à base de hidrocarbonetos e sais de cadeia longa, como os alquilbenzenosulfonatos (RCS, 2013).

5.2.3 Teste com efluente de zamak

Para determinar qual seria o melhor processo foram realizados três ensaios diferentes para tratar o efluente de zamak.

No ensaio 6 (QUADRO 4) foi realizado conforme o tratamento da linha, e a adição de PCS foi realizada com o pH alcalino, antes da adição de sulfato de alumínio, já no ensaio 7 (QUADRO 4) foi realizado simulando a adição de percarbonato juntamente com a solução de sulfato de alumínio e ácido sulfúrico, com as seguintes condições, o efluente contendo zamak recebeu a adição de cal hidratada, depois foi adicionada uma mistura preparada com 7,5 g de PCS, 37,5 mL de sulfato de alumínio e foi avolumada para 100 mL de água.

Como os resultados não foram os esperados foi realizado o ensaio 8 (QUADRO 4) foi realizado com a redução do pH inicial para abaixo de 3,0.

Os ensaios de jar test foram realizados para verificar a viabilidade da adição de PCS no processo contendo zamak, para verificar a possibilidade de realizar o teste em escala real. As condições de clarificação obtidas nos ensaios de jar test realizados são descritos pela TABELA 4, onde é possível observar o comportamento do PCS.

Quando foi preparada a solução PCS/Sulfato de alumínio apresentou uma forte efervescência, o que prejudicou a análise por que não foi possível estabilizar a solução, o que tornaria impossível para colocar em processo, assim para zamak, foi observada a condição da TABELA 4.

Até por esse motivo, o tratamento tradicional foi mais eficiente que a adição da solução de sulfato de alumínio/percarbonato de sódio, indicado aqui pelo valor de "0" PCS

Foi realizado mais um ensaio acidificando o meio inicial antes de adicionar o PCS. Porém, esse procedimento é muito diferente do processo utilizado pela empresa. Nesse ensaio, observou-se que o valor do tratamento com PCS foi menor que o valor sem adição de PCS assim como no tratamento em que o PCS foi adicionado em pH ácido.

TABELA 4 - COMPARATIVO DOS ENSAIOS COM EFLUENTE COM ZAMAK

	DQO _F (mg/LO ₂)	Eficiência (%)	Volume de lodo (mL/L)	DQO _F (mg/LO ₂)	Eficiência (%)	Volume de lodo (mL/L)	DQO _F (mg/LO ₂)	Eficiência (%)	Volume de lodo (mL/L)
Condição da adição de PCS	pH alcalino			Solução com PCS/(Al ₂ SO ₄) ₃			pH ácido		
Amostra Bruta	427		-	427		-	935		-
0 mg/L PCS	95	78	340	88	79	260	189	80	350
100 mg/L PCS	82	81	320	394	8	140	168	82	300
200mg/L PCS	87	80	320	385	10	180	137	85	250
300 mg/L PCS	87	80	300	297	30	220	128	86	240
400 mg/L PCS	86	80	300	204	52	300	112	88	220
500 mg/L PCS	81	81	300	153	64	300	95	90	200

Fonte: Autor, 2019.

Nos três ensaios realizados com efluente de zamak foi verificada uma pequena diferença do comportamento do PCS em relação ao meio no ensaio 6 (QUADRO 4) em que o PCS foi adicionado em pH alcalino, não há interferência no processo de tratamento, o oxidante foi adicionado logo após a adição de cal no meio em pH 10,78.

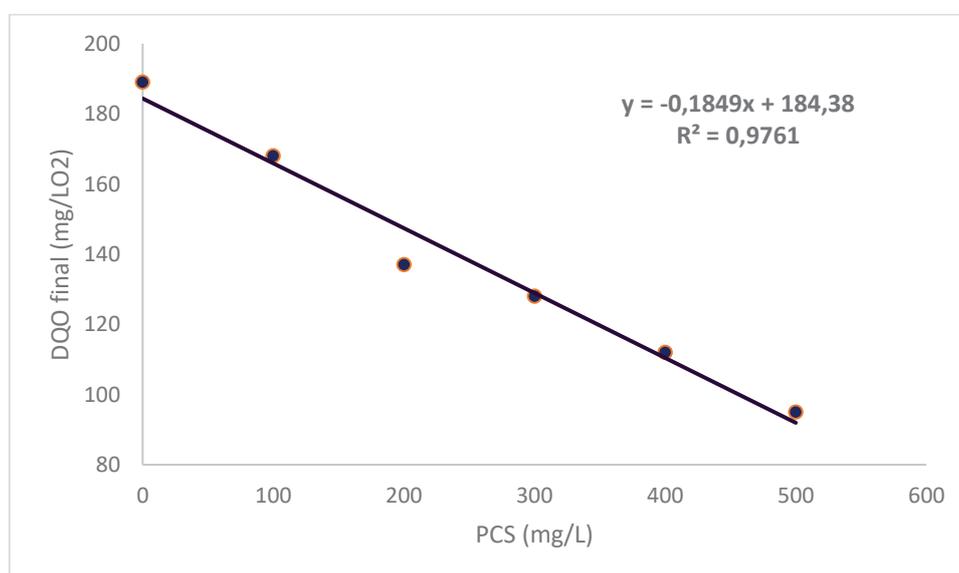
Mas não houve uma grande diferença em relação a eficiência do processo com e sem o PCS. Quando comparamos a adição de 500 mg de PCS em pH alcalino e o valor da adição zero é possível verificar uma pequena diferença na redução, algo em torno de 10% de melhora da adição em pH ácido da adição em pH alcalino. (SILVA et al., 2011)

Como o processo de adição do pH alcalino quase não apresentou variação na remoção da carga orgânica, no ensaio 7 (QUADRO 4) que foi realizado alterando o processo, montando uma mistura de PCS e sulfato de alumínio, para que fosse adicionado na mesma concentração que o ensaio 6, porém, a mistura entre o PCS e o sulfato de alumínio em meio ácido não é estável o que dificulta a sua utilização, e também apresentou resultados irregulares, por último no ensaio 8 (QUADRO 4) foi realizada uma alteração no processo tradicional que inclui redução do pH abaixo de 3,0, adição de PCS,

aumento do pH com cal e depois sulfato seguido da adição de polímero. O que foi observado foi uma redução gradual de carga orgânica conforme FIGURA 19.

Podemos salientar que o tipo de efluente contendo zamak tem menor carga orgânica, o que facilitaria sua facilidade para remoção. O PCS em pH ácido libera completamente o peróxido de hidrogênio na sua estrutura que aí consegue reduzir a carga orgânica de maneira efetiva (PERRUCCI; RODRIGUES; SILVA, 2017). Em pH alcalino, também ocorre a reação do percarbonato de sódio com a carga orgânica, porém, isso ocorre de maneira muito lenta, o que inviabiliza o processo porque seria necessária deixar o tanque com o efluente parado por horas (SILVA et al., 2011).

FIGURA 19 - REMOÇÃO DA DQO EM EFLUENTES CONTENDO ZAMAK



FONTE: Autor, 2018.

Como o efluente tem baixa concentração de matéria orgânica, calculando através da equação da reta encontrada no gráfico, conseguiu atingir o valor do limite de lançamento de DQO quando a concentração de PCS for igual a 456 mg/L.

Como a resposta dos ensaios não apresentou grandes diferenças em termos da redução da carga orgânica, optou-se em não realizar o teste na planta, e para sua realização seria necessária mexer na estrutura de trabalho da estação de tratamento da empresa, o que no momento é inviável.

5.2.4 Teste com água de neutralização

O tratamento de água de neutralização é um processo onde o efluente é uma mistura aquosa contendo desengraxantes, decapantes alcalinos e outras águas contendo hidróxido de sódio, aqui foram realizados dois ensaios para testar as condições.

E assim como nos demais efluentes, os ensaios de jar test foram realizados para verificar a viabilidade da adição de PCS no processo contendo efluente alcalino, e as condições de clarificação obtidas nos ensaios de jar test realizados com e sem a adição de PCS no efluente.

Os efluentes alcalinos normalmente são usados para aumento do pH, durante os processos de tratamento de efluentes de metais pesados e cianídricos, porém, em determinados momentos dependendo da demanda das linhas de produção, pode ser liberada uma grande quantidade deste efluente (até 12000 L). Quando isso acontece o mesmo é tratado de acordo com o procedimento descrito no item 3.4.3.1, porém, nesse caso foi feito um ensaio no jar test para uso do PCS, uma vez que para adequar esse procedimento, precisaríamos usar em linha de uma grande quantidade de ácido, assim sendo os resultados obtidos foram os descritos na TABELA 5.

TABELA 5 - COMPARATIVO DOS ENSAIOS COM EFLUENTE ALCALINO

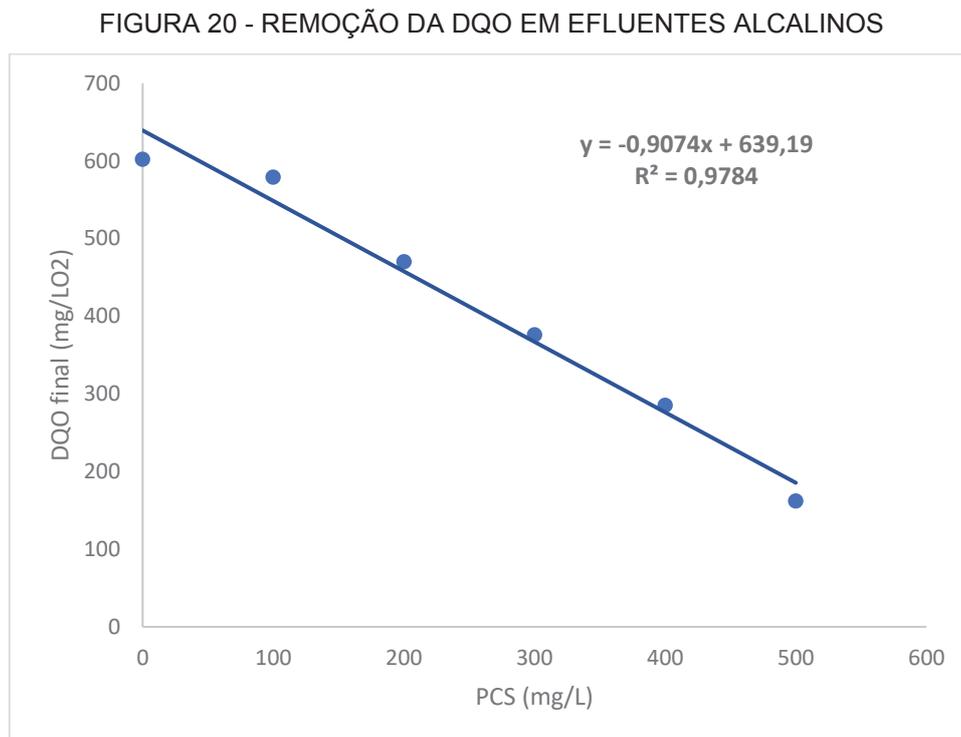
Amostra	PCS (mg/L)	DQO (mg/LO ₂)	Eficiência (%)	Volume de lodo (mL/L)	Amostra	PCS (mg/L)	DQO (mg/LO ₂)	Eficiência (%)	Volume de lodo (mL/L)
Condição de Aplicação do PCS – Alcalina pH 11,3					Condição de Aplicação do PCS – Ácida pH 2,78				
1	0	820	15	330	7	0	602		410
2	100	699	16	320	8	100	579	4	400
3	200	688	8	300	9	200	470	22	340
4	300	755	14	280	10	300	376	38	310
5	400	703	5	250	11	400	285	53	220
6	500	775	15	245	12	500	162	73	250

FONTE: Autor, 2018.

Para o ensaio 10 com reagente alcalino foi feito com uma correção do pH antes da adição do PCS, adicionou-se 3,0 mL de ácido sulfúrico. Isso representa uma adição de até 160 L do ácido sulfúrico na planta, e esse valor pode ser variável dependendo da concentração do efluente.

O caso dos resíduos alcalinos há uma grande diferença do procedimento com PCS que apresentou uma remoção de 73% quando tem o pH reduzido para abaixo de 3, enquanto o pH alcalino tem remoção de 5% com maior concentração de PCS.

A FIGURA 20 mostra os resultados obtidos, a partir da TABELA 5, (a partir da amostra 6) tem-se uma remoção gradual da carga orgânica em relação a carga original, isto pode ser explicado por que o material oriundo de desengraxantes alcalinos tem uma carga orgânica de fácil degradação, diferente de alguns aditivos orgânicos ou que os mesmos já estejam em processo de degradação.



FONTE: Autor, 2018.

No caso do resíduo alcalino, quando utilizou-se a equação da reta encontrou-se para o valor do limite de lançamento de 100 mg/LO₂, o valor da concentração de PCS igual a 594 mg/L. Enquanto para zerar a matéria orgânica seriam necessários 704 mg/L de PCS.

Porém, de maneira análoga, ao tratamento de cianeto e zamak, o procedimento para que fosse criada a condição ideal para adição do PCS, porém como já foi explicado

anteriormente esse tipo de tratamento aparece em menor quantidade na ETE, então os testes práticos (realizados diretamente na ETE) foram realizados com os efluentes com metais pesados e cianetos.

5.3 AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS NA ETE

Depois de realizados os ensaios com o jar test foi determinado um valor para reduzir a carga orgânica até o limite de lançamento foram realizados dois testes na ETE da empresa, com efluentes de metais pesados e com efluentes contendo cianeto.

Para realizar os testes na estação da empresa foram realizados os dois tanques de tratamento, um tanque de 14000 L, onde foram realizados os testes com o tratamento sem PCS e o segundo de 8000 L, onde foram realizados os testes com PCS.

5.3.1 Efluentes com metais pesados

Observando os valores de redução de carga orgânica em relação ao aumento da concentração de PCS nos ensaios de jar test foram realizados testes com dosagens de 500 mg/L de PCS, equivalente ao melhor ensaio de jar test obtido, e 1298 mg/L de PCS, valor intermediário entre a quantidade teórica de PCS para atingir uma concentração de DQO de 100 mg/L no efluente clarificado e a quantidade para zerar a carga orgânica. No teste com efluentes de metais pesados cujos resultados são apresentados na TABELA 6, para estes testes os dois tanques foram preenchidos simultaneamente.

TABELA 6 - RESULTADOS DOS ENSAIOS NA ETE (METAIS PESADOS)

Tipo do teste	Parâmetro	Concentração de DQO (mg/L)	Eficiência na remoção da DQO (%)	Volume de lodo (mL/L)
Teste com 500 mg/L de PCS	Efluente bruto	888	---	---
	Efluente tratado sem adição de PCS	561	36,8	240
	Efluente tratado com 500 mg/L de PCS	342	61,4	150
Teste com 1298 mg/L de PCS	Efluente bruto	686	---	---
	Efluente tratado sem adição de PCS	248	63,8	260
	Efluente tratado com 1298 mg/L de PCS	117	83,0	160

FONTE: Autor, 2019.

Com base na TABELA 6 foi possível afirmar que o PCS contribuiu positivamente na redução de carga orgânica, o que foi indicado pela análise de DQO entre as amostras tratadas com e sem a adição de PCS. O processo de quebra da carga orgânica apresentou uma melhora de aproximadamente 25% na sua eficiência em relação ao teste com 500 mg/L de PCS e aproximadamente 20% em relação ao teste com 1298 mg/L de PCS.

O teste com 1298 mg/L de PCS chegou ao valor de 117 mg/L de DQO, ainda não atende a legislação específica cujo limite é 100 mg/L (PARANÁ, 2016). A não obtenção do resultado esperado pode ser fundamentada pela curva de calibração para o cálculo não ser a ideal, outro motivo pode estar relacionado ao fato de que os efluentes utilizados para os testes de jarros têm a mesma origem do material tratado na empresa, porém, tem concentrações de poluentes distintas dos que foram utilizados na planta, porque foram coletados em dias diferentes.

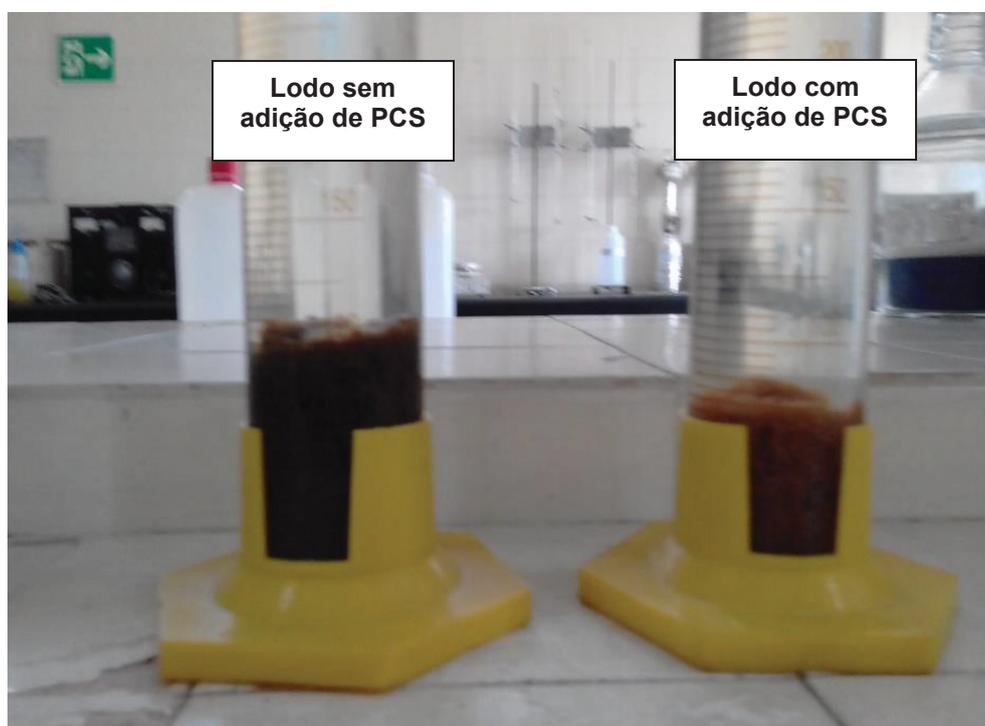
A oxidação da matéria orgânica (M.O.), ocorre conforme descrito na EQUAÇÃO 17:



E sua transformação em gás carbônico e água, porém, nem sempre é fácil, a estrutura de alguns compostos orgânicos pode ser grande e altamente polar, o que dificulta o rompimento da estrutura. (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013). Aqui reside a dificuldade de se determinar qual é a matéria orgânica presente, muitas vezes por falta de informações protegidas por serem segredos industriais ou a falta de recursos para determinar a identidade destes componentes.

No teste realizado em escala plena com efluentes de metais pesados, conforme FIGURA 21 também não foi verificada flotação nos lodos obtidos.

FIGURA 21 - AMOSTRAS DO LODO NO ENSAIO NA ETE



FONTE: Autor, 2019.

Nesse caso essa diferença da quantidade de lodo pode estar ligada a estrutura dos tanques de tratamento terem uma área muito maior e uma agitação mais vigorosa que o aparelho de jar test, que podem liberar os gases formados durante a decomposição do PCS mais rapidamente.

Nos estudos de Cravotto et al., 2007, Danish et al., 2017, apesar de funcionar na remoção de matérias orgânicas para moléculas mais complexas como clorofenol e derivados de benzeno o percarbonato de sódio sempre foi acrescido com o uso micro-ondas e outros reagentes (como o sulfato ferroso).

Nos testes em escala plena foi verificado que ao contrário, dos ensaios em jar test houve uma pequena diferença na quantidade de lodo em relação à adição do PCS. No teste com 500 mg/L de PCS foram obtidos 150 mL/L de lodo foram formados, enquanto no teste sem adição de PCS 240 mL/L foram formados.

Se os valores verificados nas provetas fossem extrapolados para o tanque de tratamento de 8000 L pode-se dizer que no tratamento convencional serão gerados 1920 L de lodo galvânico, enquanto com a aplicação de PCS serão gerados 1200 L de lodo.

Já no ensaio com 1298 mg/L, foi verificado o mesmo comportamento quanto ao volume de lodo, com uma diferença maior nos volumes de lodo: 160 mL/L no ensaio com PCS e 260 mL/L no ensaio sem PCS.

O resultado é satisfatório e vai de encontro com a necessidade do processo de tratamento de efluentes, pois a flotação do lodo pode atrapalhar o processo de remoção do mesmo para o filtro prensa, e quanto mais o lodo ficar adensado no fundo do tanque melhor será a sua remoção.

5.3.2 Efluente contendo cianeto

Para avaliar a capacidade de redução da carga orgânica no tratamento de efluentes galvânicos, foram realizados dois testes com PCS na ETE da empresa, utilizando efluentes contendo cianeto. Os resultados obtidos foram os mostrados a seguir na TABELA 7.

O teste com efluentes de cianeto seguiu o mesmo processo dos testes com efluentes de metais pesados com os dois tanques para tratamento preenchidos simultaneamente.

TABELA 7 - RESULTADOS DOS ENSAIOS NA ETE (CIANETO)

Tipo do teste	Parâmetro	Concentração de DQO (mg/L)	Eficiência na remoção da DQO (%)	Volume de Lodo (mL/L)
Teste com 500 mg/L de PCS	Efluente bruto	2683	-	-
	Efluente tratado sem adição de PCS	271	89,89	420
	Efluente tratado com 500 mg/L de PCS	168	93,74	400
Teste com 1907 mg/L de PCS	Efluente bruto	1964	-	-
	Efluente tratado sem adição de PCS	261	86,71	360
	Efluente tratado com 1907 mg/L de PCS	106	94,60	330

FONTE: Autor, 2019.

Observando os resultados obtidos na TABELA 7 que incluem os dois testes, é possível afirmar que o PCS funcionou ainda que numa escala menor entre os valores obtidos com e sem PCS, no segundo teste na estação ficou-se muito próximo do valor da legislação estadual (100 mg/L), isso indica que o percarbonato auxiliou na remoção de carga orgânica.

O teste com reagente de cianeto utilizando uma concentração de 1907 mg/L de PCS chegou ao valor de 106 mg/L de DQO, ainda não atende a legislação específica cujo limite é 100 mg/L (PARANÁ, 2016).

A maior remoção da DQO em relação aos metais pesados pode ser explicada por que na primeira parte do tratamento de efluentes de cianeto é utilizado hipoclorito de sódio, que também é um forte oxidante, com a adição posterior do PCS potencializa a redução de carga orgânica.

Assim como nos testes de metais pesados, essa não conseguiu obter o valor para atingir o limite de lançamento, isto pode ser fundamentada pela curva de calibração para o cálculo não ser a ideal, ou pelo fato de que os efluentes utilizados para os testes de jarros têm a mesma origem do material tratado na empresa, porém, tem concentrações de poluentes distintas dos que foram utilizados na planta, porque foram coletados em dias diferentes, e mesmo utilizando um valor quase três vezes maior que o indicado pela curva não foi possível atingir o limite de lançamento.

Uma possibilidade dessa diferença pode estar ligada ao fato do peróxido de hidrogênio depois de dissolvido reagir com moléculas de cloro, presente a partir do hipoclorito de sódio usado para conversão do cianeto em cianato (POMBO, DUTRA, 2008).

Nos testes em escala plena foi verificado que ao contrário, dos ensaios em jar test houve uma pequena diferença na quantidade do lodo em relação à adição do PCS. No teste com 500 mg/L de PCS foram obtidos 400 mL/L de lodo foram formados, enquanto no teste sem adição de PCS 420 mL/L foram formados, essa diferença pode ser explicada por que nos tratamentos que envolvem efluentes contendo cianeto utiliza-se uma quantidade muito maior de cal hidratada para formação de flocos, o que também aumenta o volume de lodo.

Se os valores verificados nas provetas fossem extrapolados para o tanque de tratamento de 8000 L pode-se dizer que no tratamento convencional serão gerados 3360 L de lodo galvânico, enquanto com a aplicação de PCS serão gerados 3200 L de lodo.

Já no ensaio com 1907 mg/L, foi verificado o mesmo comportamento quanto ao volume de lodo, com uma diferença menor nos volumes de lodo: 350 mL/L no ensaio com PCS e 360 mL/L no ensaio sem PCS.

Nesse processo, quando o pH é reduzido para meio ácido grande parte do cloro utilizada na parte de tratamento do cianeto é liberada, o que causa um desconforto por causa do forte odor do cloro, e obriga os operadores a utilização de EPIs adequados.

Por outro lado, não houve muita variação na compactação do lodo galvânico, simulado pelo volume de lodo obtido nas provetas, isso é importante, porque uma das etapas do tratamento é a sedimentação do lodo nos tanques, e o fato do percarbonato não interferir nesse processo evitaria a fuga do lodo dos tanques de sedimentação, e a contaminação de corpos da água. No início dos testes, quando foram feitas adições no final do processo em pH alcalino (FIGURA 11), observou-se que o lodo flotava na proveta.

No caso do tratamento de cianeto, o percarbonato acaba ajudando de duas maneiras diferentes no processo, na primeira oxidando possíveis ânion de cianeto e hipoclorito que possam estar presentes no meio reacional (POMBO; DUTRA, 2008), e na segunda impedindo a formação de trihalometanos que possam surgir da presença do hipoclorito no processo de oxidação do cianeto.

Uma possibilidade para determinar a quantidade de PCS ideal para o dia a dia no tratamento seria estudar o comportamento dos efluentes na entrada da estação diariamente para ajustar um valor constante para as adições durante o tratamento.

Nesse estudo alguns elementos não foram contempladas algumas características dos efluentes galvânicos como a natureza, como sua composição química, tamanho molecular e mesmo a polaridade da matéria orgânica, e bem como as características da água bruta, entre as quais turbidez e dureza, essas características podem interferir diretamente no processo de tratamento de efluentes.

Durante a execução deste trabalho foram realizados alguns testes na estação de tratamento da empresa, foi necessário para que se obtivesse o resultado conforme proposto com a curva de calibração saindo diretamente dos gráficos de efluentes de cianeto e de metais pesados.

No caso dos efluentes de metais pesados foram realizados testes com diferentes concentrações de percarbonato, 1301, 1265,963, 500 mg/L em todos esses testes foram observados reduções na concentrações de DQO, assim como no caso do cianeto foram realizados ensaios com 1907, 1687, 1308, 500 mg/L e também foram observadas reduções na concentrações de DQO.

No seu artigo de 2006, Aquino, Silva e Chernicharo também se basearam em testes que funcionaram como curvas de calibração para uma determinada concentração de DQO em análises de efluentes aeróbicos e assim realizar análises destes efluentes.

6 CONCLUSÃO

A oxidação direta do efluentes galvânicos com a utilização do percarbonato de sódio ainda é uma novidade na área de tratamento de efluentes, os ensaios em bancada e em escala plena apresentaram uma remoção superior da carga orgânica em relação ao tratamento convencional (sem adição de PCS), o que indica uma alternativa viável para o tratamento.

Os efluentes galvânicos da empresa apresentam características diferentes entre si, de acordo com o seu processo de origem, o que fez com que fossem criados quatro processos diferentes capazes de tratar os efluentes.

Foram observadas remoções de carga orgânica (DQO) nos processos de tratamento de efluentes utilizados pela empresa, porém, somente em dois deles (metais pesados e cianetos) foram realizados na estação de tratamento de efluentes, principalmente por causa do volume de material que é produzido normalmente.

No processo de tratamento de efluentes com metais pesados a remoção de DQO com uso de PCS variou na faixa de 20 a 25% maior em relação ao mesmo tratamento sem o PCS. A remoção da carga orgânica em efluentes contendo cianeto ficou maior entre 5 a 10% em relação ao tratamento sem PCS.

No processo de tratamento de efluente de zamak chegou a quase 10% a mais de remoção de carga orgânica, enquanto em processos com efluentes alcalinos chegou-se a mais de 50% de melhoria no tratamento.

Apesar de não ter alcançado precisamente um resultado capaz de atingir o valor limite de DQO que atendesse o critério de limite de lançamento (a exceção do processo de zamak), é possível ajustar corretamente os valores de PCS para alcançar esses limites, uma vez que a remoção da carga orgânica foi observada, especialmente nos testes na planta.

Nos efluentes galvânicos testados, o uso do percarbonato de sódio desde que aplicado em meio ácido não prejudicou a formação dos flocos e conseqüentemente não interferiu na produção do lodo galvânico. Essa característica também foi observada nos ensaios de bancada e nos testes na estação de tratamento não sendo observada nenhuma interferência no processo de sedimentação do lodo.

7 REFERÊNCIAS

AARÃO, M. B. de O. **Desenvolvimento de um sistema eletroquímico para tratamento do corante alaranjado de metila pelo processo de eletrocoagulação/eletroflotação**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável), Universidade Federal de São João Del-Rei, 2016. Disponível em <<https://bit.ly/2Nsk4uy>> Acesso em: 20 nov. 2019.

ALMEIDA, A. L. M. Leis regulamentam o tratamento para emissão de efluentes, **Revista Meio Filtrante**, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2VN5ZJR>>. Acesso em: 1 dez. 2018.

ALMOJIL, S.F. Degradation of hydrophilic and hydrophobic contaminants in percarbonate systems. Dissertação para o grau de Ph.D, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Washington – EUA, 2015. Disponível em <https://bit.ly/2Oi9CpZ>. Acesso em 15 jan 2020.

ALVES, L. C.; SEO, E. S. M. Caracterização do resíduo sólido proveniente do processo galvânico para valoração econômica ambiental, **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.19 n. 4, p. 423-434, out/dez 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2CbPEqS>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

APHA. **Standard Methods for the Examination of water and wastewater**, 21^a ed. Washington: Publication Office American Public Health Association, APHA, AWWA, WPCP, 2006.

AQUINO, S. F. de; SILVA, S. de Q.; CHERNICHARO, C. A. L. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios. **Eng. Sanit. Ambient.** [online]. 2006, vol.11, n.4, pp.295-304. Disponível em: <<https://bit.ly/2PIE1Dt>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

ARAÚJO, K. S.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A. C.; MALPASS, G. R. P.: Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais, **Revista Ambient. Água**, v. 11, n. 2, Taubaté, abril/junho 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2To5fxS>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

ARAÚJO, P.; KATZ, J. Descarte Zero de Efluentes Galvânicos - Uso do Reator de Eletrocoagulação-Flotação de Alta Eficiência Combinado com Resinas de Troca Iônica para Tratamento de Efluente de Galvanoplastia. Trabalho apresentado no **2nd International Workshop | Advances in Cleaner Production Key Elements for a Sustainable World: Energy, Water and Climate Change**, São Paulo – Brasil –20-22-05-2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2STH9q0>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

ARAÚJO, H.N.; RODRIGUES, E.C. Verificação do perfil espectrofotométrico de soluções aquosas de corantes provenientes da lavagem de tecido jeans utilizando luz ultravioleta e percarbonato de sódio, **Brazilian Journal of Development.**, Curitiba, v. 5, n. 4, p. 2759-2769, abr. 2019. Disponível em <https://bit.ly/394uoRY>. Acesso 14 dez 2019.

AYRES, D. M.; DAVIS, A. P.; GIETKA, P. M. **Removing Heavy Metals from Wastewater**. University of Maryland, agosto 1994. Disponível em: <<https://bit.ly/2XK1Qbi>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

BACHER, L. E.; VENZKE C. D.; GIACOBBO, A.; POZZEBON, S. T.; OLIVEIRA, C. de; CUSTÓDIO, B. C.; RODRIGUES M. A. S.: Avaliação das Tecnologias Osmose Reversa em uma estação de tratamento de água. Trabalho apresentado no **XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS 21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016**. Disponível em: <<https://bit.ly/2EUq7E9>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

BADO, C.; PERCIO, J. E.; LINDINO, C. A. A Demanda Química de Oxigênio – Questionamentos. **Revista Analytica**. n. 62, p. 44-51, 2013. Disponível em <<https://bit.ly/2TpTfem>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

BASTOS, G. L.; GÖETZ, C. M. Estudo da decapagem da carepa utilizando ácido clorídrico e sulfúrico em perfis de aço carbono A-570. Trabalho apresentado no **53º Congresso Brasileiro de Química**, realizado no Rio de Janeiro/RJ, de 14 a 18 de outubro de 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2lbmewx>>. Acesso em: 11 de jun. 2019.

BONINI, M. G.; MIYAMOTO, S; DI MASCIO, P.; AUGUSTO, O. Production of the carbonate radical anion during xanthine oxidase turnover in the presence of bicarbonate. **Journal of Biological Chemistry, Bethesda**, v. 279, n. 50, p. 51836-51843, 2004. Disponível em <https://bit.ly/2u44vCW>. Acesso em 15 dez 2019.

BRASIL Ministério do Meio Ambiente, **Manual de Impactos Ambientais**. Disponível em: <<https://bit.ly/2GNkqKC>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<https://bit.ly/34c5sWm>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

BRASIL, Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://bit.ly/2EjGHPQ>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

CABRITA, T. M. P. Processos físico químicos de tratamento de águas residuais industriais: estado da arte e novas fronteiras. **Dissertação para Mestre em Engenharia do Ambiente da faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova Lisboa, Portugal**, setembro de 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2P5hv2V>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CALLE, R.G. de la, MARIÑOSA, P.C., RIVAS, F.J., GIMENO, O. **Real Soil Treatment by Chemical Oxidation: Aqueous Sodium Percarbonate Application, Recent Advances in Fluid Mechanics and Heat & Mass Transfer**, E-book, Florença, Itália, 23 – 25 agosto 2011. Disponível em <https://bit.ly/2u1utHd>. Acesso 15 jan 2020

CAMPOS, F. Redução de matéria orgânica de lixiviado. **Revista HYDRO**, ano VIII, n. 91, maio de 2014, p. 46-55.

CANELA, M. C.; JARDIM, W. F. Caderno Temático, v. 01 – Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e na remediação de solos. p. 4-7, Laboratório de Química Ambiental, Instituto de Química, UNICAMP. Disponível em: <<https://bit.ly/2R9VCNY>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2009.

Chemistry in your cupboard: Vanish, publicado pela Royal Society of Chemistry e Reckitt Benckiser em 2007 (revisado em 2013). Disponível em: <<https://rsc.li/34d2265>>. Acesso em: 30 ago. 2019.

CORAZZA, G.; VANIEL, A. P. H.; FERRON, F.; DEON, M.: Emprego de serragem no tratamento de efluentes galvânicos ricos em íons Cr (VI), trabalho apresentado no **17º Seminário Interinstitucional De Ensino, Pesquisa e Extensão, 7 – 9 de novembro de 2012, na UNICRUZ** – Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta – RS. Disponível em: <<https://bit.ly/2ETLm9i>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

CRAVOTTO, G.; CARLO, S. DI; ONDRUSCHKA, B.; TUMIATTI, V.; ROGGERO, C. M. Decontamination of soil containing POPs by the combined action of solid Fenton-like reagents and microwaves. **Chemosphere**, v. 69, n. 8, p.1326-1329, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/2XN95PT>>. Acesso em: 1 nov. 2018.

CRQ – Conselho Regional de Química 4ª Região Galvanização e outros processos. Disponível em: <<https://bit.ly/2H914Qi>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

DANISH, M.; GU, X.; LU, S.; BRUSSEAU, M. L.; AHMAD, A.; NAQVI, M.; FAROOQ, U., ZAMAN, W. Q.; FU, X.; MIAOA, Z. An efficient catalytic degradation of trichloroethene in a percarbonate system catalyzed by ultra-fine heterogeneous zeolite supported zero valent iron-nickel bimetallic composite, **Applied catalysis. A, General**. v. 531, p. 177–186, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2Hb4cey>>. Acesso em: 1 nov. 2018.

DNR – WISCONSIN - Department of Natural Resources **Sodium Carbonate Peroxyhydrate Chemical Fact Sheet**. DNR PUB-WT-976, 2012 Disponível em: <<https://bit.ly/2HaoQLA>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

FIOREZE, M.; SANTOS, E. P.; SCHMACHTENBERG, N. Processos oxidativos Avançados: fundamentos e aplicação ambiental. **REGET – Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital**, v. 18, n. 1, p.79-91, abril 2014.

FONSECA, A. M.da; MEIRELES, L. M.; SANTANA, F. H.; SILVA, D. (2018). Estudo da remoção de íons de ferro e manganês da água utilizando peróxido de hidrogênio como agente oxidante. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**. nº4. P.0412-0419. Disponível em: <<https://bit.ly/2K8h4TZ>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

FU, F.; WANG, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. **Journal of Environmental Management**. v. 92, p. 407-418, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/35Zdwdr>>. Acesso em 10 jun. 2019.

FUKUI, V.S.; GOUVEIA, J. L. N. Métodos e processos químicos ambientalmente mais limpos em galvânicas, **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, ano 1, n.2 abril-junho 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2Rt4GAZ>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

FUKUMOTO, A. A. F.; ASSUNÇÃO JÚNIOR, V. G.; FORNACIARI, B.; FURUTA, L. A.; YAMASHITA, C. R. T. Potencial de formação de subprodutos da oxidação em efluentes sanitários tratados. Trabalho apresentado no **XXVII Congresso Internacional de**

Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/20lbkn0>>. Acesso em: 21 set. 2019.

GUIMARÃES, J. R. Processos oxidativos avançados, **Revista TAE [online]**, publicado em 06.02.2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2PrhIMz>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

HUBBARD HALL Smart Solutions to Keep Everything in Solution, 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/36d6h1O>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

IDE, W. R.; RIBEIRO, M. L. Estudo de Coagulação-Floculação visando tratamento de Resíduos Líquidos Perigosos. Trabalho apresentado no **XII Encontro de Iniciação científica da UFMS**, em janeiro de 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2J1xi1z>>. Acesso em: 2 mar. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8501**: Protecção anticorrosiva de estruturas de aço por pintura. Disponível em: <<https://bit.ly/2ELTmbd>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

KRIISHNAN, S.; RAWINDRAN, H.; SINNATHAMBI, C. M.; LIM, J. W. Comparison of various advanced oxidation processes used in remediation of industrial wastewater laden with recalcitrant pollutants. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. 206, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2XmhKsG>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

KUNZ, A.; ZAMORA, P. P.; MORAES S. G. de; DURAN, N. Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Revista Química. Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002. Disponível em: <<https://bit.ly/36UAN1j>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

LÄSER, L.; WEISS, M.; HONSELMANN, F. Aditivo para aplicações de Ácido Crômico. Patente PI 0716255-3 A2 registrada na Alemanha em 03 setembro 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2LSxcIV>>. Acesso em: 03 out. 2019.

LISBOA, A.; BARIN, C. S. Eletrodeposição de Ligas Metálicas Nobres para Fabricação de Jóias e Jóias Folheadas”. Disponível em: <<https://bit.ly/2NQoDxN>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

LOUREIRO, M. de A. **Estudo do tratamento por oxidação avançada de solos da refinaria Abreu e Lima-PE contaminados por hidrocarbonetos**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/2H5xriE>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

MARCELINO, M. P. A., BARBOSA FILHO, J. S., DUTRA, F. Uso de percarbonato de sódio como oxidante em remediação de solos contaminados com antraceno e fenantreno. Disponível em: <<https://bit.ly/2SMD7PT>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Solubilidade das substâncias orgânicas, **Química Nova** vol.36 no.8 São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2YvqUnk>>. Acesso em: 20 nov. 2019

MARTINS NETO, H. Tratamento de efluente líquido de galvanoplastia. **Revista TAE**, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2NVRd0O>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

MARTINS, L. M.; SILVA, C. E. da; MOITA NETO, J. M.; LIMA, A. S.; MOREIRA, R. de F. P. M. Aplicação de Fenton, Foto-Fenton e UV/H₂O₂ no tratamento de efluente têxtil sintético contendo o corante Preto Biozol UC, **Eng Sanit Ambient**, v.16, n.3, jul/set 2011, p. 261-270 Disponível em: <<https://bit.ly/2SP6m4S>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

MATTOS, I. L.; SHIRAISHI, K. A.; BRAZ, A. D.; FERNANDES, J. R. Peróxido de hidrogênio: importância e determinação. **Química Nova** vol.26 no.3 São Paulo May/June 2003. Disponível em: <<https://bit.ly/34eZTXH>>. Acesso em: 31 agosto 2019.

MIRANDA, L. A. S. Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento – Guia de Treinamento Profissional, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/2VRuLIR>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

NASCIMENTO, R. F.; ABDALA NETO, E. F.; RIBEIRO, J. P.; OLIVEIRA, A. G.; BARROS, A. L.; BARROS, F. C. F. Processos oxidativos avançados: Fundamentos e aplicações em matrizes ambientais, publicado pela **Imprensa Universitária** da Universidade Federal do Ceará (UFC), 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2QQWnyl>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

NBR 9800/1987 – ABNT. Disponível em: <<https://bit.ly/2ms3Rex>>. Acesso em: 01 set. 2019.

NOGUEIRA, R. F. P.; TROVÓ, A. G.; SILVA, M. R. A. da; VILLA, R. D.: Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e Foto-Fenton. **Revista Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 400-408, 2007. Disponível em <<https://bit.ly/2QS7Vkl>>. Acesso em: 02 jan 2019.

O'SHEA, K. E.; DIONYSIOU, D. D. Advanced oxidation process for water treatment, **Journal of Physical Chemistry Letters**, 2012, nº 08, pg.2112, 2113. Disponível em: <<https://bit.ly/2qmbHbx>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

OLIVEIRA, A. R. Corrosão e tratamento de superfície IFPA Instituto Federal do Pará – Campus Belém, 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2DbVtEx>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

OLIVEIRA, J. M.; CUNHA, C. O. M.; Minimização de efluentes e resíduos na indústria galvânica, **Dossiê Técnico - SENAI-RS - Centro Nacional de Tecnologias Limpas - SENAI/CNTL** dezembro 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/1UrE3Xj>>. Acesso em: 01 abr. 2019.

OLIVIER, S.; SILVA, V. L.; MOTTA, M.; SILVA, J. E. Emprego de planejamento fatorial no desenvolvimento de uma metodologia para extração de Zinco em resíduos galvânicos. **Revista Química Nova**, v. 30, n. 7, p. 1750-1753, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/2VHQqD4>>. Acesso em: 2 jan. 2018.

OTURAN, M. A.; AARON, J. J. Advanced Oxidation Processes in Water/Wastewater Treatment: Principles and Applications. A Review, **Critical Reviews in Environmental Science and Technology** v. 44(23)-December 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2tYPhuZ>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

OXYPER®SHC FISPQ – Ficha de segurança de produtos químicos. Atualizada em 05.ago 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/37vHQOy>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

PARANÁ, Portaria nº 880/2016, publicada pelo Instituto de Águas do Paraná, em virtude da liberação da Outorga de lançamento da empresa Bigfer Paraná.

PARANÁ, Resolução nº 70 de 11 de agosto de 2009, Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais. **Conselho Estadual do Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://bit.ly/2Tzgltn>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

PEREIRA NETO, A.; BRETZ, J. S.; MAGALHÃES, F. S.; MANSUR, M. B.; ROCHA, S. D. F. Alternativas para o tratamento de efluentes da indústria galvânica, **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 13, p. 263-270, 2008. Disponível em <<https://bit.ly/388qC9z>>. Acesso em 21 jan. 2019.

PEREIRA, L.; SEIBEL JÚNIOR, L. F.; PASINI, W. M.; AMARAL, R. F.; BARCELLOS, V. K. Obtenção de ADI por tratamento de austêmpera utilizando banho de zamac 5, apresentado no 72º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao **17º ENEMET – Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas**, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 06 de outubro de 2017, São Paulo, SP, Brasil. Disponível em: <<https://bit.ly/2PhCJJF>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

PERINI, S. J. B. **Tratamento de efluente de processo galvânico a fogo por precipitação química visando o aproveitamento do lodo gerado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/38116D0>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

PERÓXIDOS DO BRASIL Águas e Efluentes Industriais. Disponível em: <<https://bit.ly/2RwUzuN>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

PERRUCCI, C. J.; RODRIGUES, S. G. C.; SILVA, E. P. Aplicação de peróxido de hidrogênio em substituição ao cloro na etapa de pré-oxidação no processo de tratamento de águas de abastecimento como alternativa para a redução da formação de trihalometanos. Trabalho apresentado no **Congresso ABES/Fenasan 2017**, entre 2 a 6 de outubro de 2017, São Paulo/SP Disponível em: <<https://bit.ly/2wPkVwo>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

PIECZYKOLAN, B.; PLONKA, I.; BARBUSINSKI, K. Discoloration of Dye Wastewater by Modified UV-Fenton Process with Sodium Percarbonate, **Architecture Civil Engineering Environment**, n. 04, 2016, p.135-140, The Silesian University of technology. Disponível em: <<https://bit.ly/2HjDxeE>>. Acesso em: 1 ago. 2018.

PIGNATELLO, J. J. Dark and photoassisted Fe³⁺ catalyzed degradation of chlorophenoxy herbicides by hydrogen peroxide, **Environ Science Technology**, v.26, p.944 – 951, 1992. Disponível em: <<https://bit.ly/36VGdJt>>. Acesso em: 01 mai 2018.

PILZ, R. de M. B.; ZERWES, F. V. Construção e Aplicação de reator para tratamento de efluentes contendo corantes. **Revista HYDRO**, ano VIII, n 90, abril de 2014, p. 50-53.

PIRES, A. S.: Determinação de processo oxidativo químico para tratamento off site de solos contaminados por hidrocarbonetos. **Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Avaliação de Impactos Ambientais do Centro Universitário La Salle – UNILASALLE – Canoas**, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2R4ihwr>>. Acesso em: 11 jun. 2019.

POMBO, F. R.; DUTRA, A. J. B. Eletrorrecuperação de cobre e oxidação de cianeto de efluentes cianídricos diluídos gerados por unidade de galvanoplastia, **Matéria (Rio J.)** vol.13 no.3 Rio de Janeiro Setembro. 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/38iSiJM>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

RAMOS, J. B. E.; MIGUÉLEZ, J. R. P. WAO - Oxidação úmida para tratamento do chorume. **Revista HYDRO**, ano XII, n. 138, abril de 2018, p. 18-21.

RASCHLE, L. H. **Avaliação de desempenho para estações de tratamento de efluentes industriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2EZLUue>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

RIZK, M. C.; GIMENES, M. L.; LENZI, E. Aplicação de precipitação química, troca metálica e reagente Fenton no tratamento de efluentes fotográficos Fenton no tratamento de efluentes fotográficos. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 29, n. 1, p. 29-35, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/38be5C3>>. Acesso em 2 fev. 2019.

ROSLER - VIBROACABAMENTO. Disponível em: <<https://bit.ly/2OjVk8r>>. Acesso em: 19 jun. 2019.

SABESP, Norma Técnica Interna SABESP - NTS 013 – SÓLIDOS - Método de Ensaio – JUNHO 1999. Disponível em: <<https://bit.ly/37W4ZKr>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SANTOS, J. S. Remoção de manganês de águas e efluentes industriais com utilização do peróxido de hidrogênio. **Dissertação de Mestrado, 2004. Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<https://bit.ly/2Rqo1QZ>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

SARTORI, E. P.; DIVINO, D. F. A.; AMADORI, M. F. Estudo da influência de contaminantes metálicos e orgânicos nos eletrodepósitos de níquel. Publicada na **Revista Synergismus scyentifica** UTFPR, Pato Branco, 02 (1,2,3,4) 2007 Disponível em: <<https://bit.ly/35k5v3F>>. Acesso em: 03 out 2019.

SCARAZZATO, T. Treatment of a cyanide-free copper electroplating solution by electrodialysis: study of ion transport and evaluation of water and inputs recovery. 2017. **Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017**. Disponível em: <<https://bit.ly/2Tn0WBN>>. Acesso em: 11 jun. 2019.

SILVA, D.F dos S.; SOBRINHO, M. A. da M.; LOUREIRO M. de A.; CAVALCANTI, J. V. F. L.; NASCIMENTO, C. W. A. do: Degradação de Matéria orgânica por Oxidação Avançada, via Percarbonato de sódio em Solo Contaminado por derivados de petróleo” - **6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 2011**. Disponível em: <<https://bit.ly/2NUKbcJ>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

SILVA, P. C. F.; MAINIER, F. B. Tratamento eletrolítico de resíduos Líquidos gerados em Indústria Mecânica fabricante de equipamentos para produção de Petróleo. 2005. Disponível em: <<https://bit.ly/2EJNzCI>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

Sodium Percarbonate (CAS No. 15630-89-4) Publicado pela **HERA - Human & Environmental Risk Assessment on ingredients of European household cleaning products** em agosto de 2002. Disponível em: <<https://bit.ly/2MU6rpt>>. Acesso em: 30 ago. 2019.

Sodium Percarbonate. Disponível em: <<http://www.solvaynorthamerica.com>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

Sodium Percarbonate, Technical Data Sheet, Shangyu Jiheua Chemical Co. Ltd. Disponível em: <<https://bit.ly/2LgZXPo>>. Acesso em: 31 ago. 2019.

Tendências em tratamento de superfície na indústria, E-book disponibilizado pelo site **FEIMEC/A VOZ DA INDÚSTRIA**, publicado em 30 de agosto de 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2T8G3dy>>. Acesso em: 05 jan 2020.

TOMACHUK, C. R.; BALLESTER, M.; FREIRE, C. M. A.; FRATESI, R.; BELLUCCI, F. Resistência à corrosão de revestimentos de Zinco com diferentes tratamentos de cromatização, **Revista Matéria – COPPE – UFRJ**. Disponível em: <<https://bit.ly/2DIHmXT>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

VALENZUELA, J. Formas de eliminar os poluentes em soluções líquidas, publicado em 9 de dezembro de 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2Ny4PB8>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A. da ; BARBEIRO, T. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/2UtLMbJ>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

VAZ, L. G. L. Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento de efluente gerado na galvanoplastia. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE**, dezembro 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2s3iVlf>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

VIISIMAA, M.; GOI, A. Use of Hydrogen Peroxide and Percarbonate to treat Chlorinated Aromatic Hydrocarbon – contaminated soil, **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 22(1), p. 30-39, 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2IY5Rpq>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

WANG, J. L.; XU, L. J. Advanced oxidation processes for Wastewater treatment: Formation of hydroxyl radical and application. **Journal Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, Volume 42(3), pp.251 – 325, 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2qD3EHC>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

YUE-HUA, Z; CHUN-MEI, X.; CHANG-HONG, G. Application Sodium Percarbonate to Oxidative Degradation Trichloroethylene Contamination in Groundwater. **Procedia Environmental Sciences**. v. 10, 1668-1673, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2EMrbsK>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

ZARPELON, A, RODRIGUES, E.M. Os trihalometanos na água de consumo humano – **Sanare – Revista Técnica da Sanepar**, v. 17. Disponível em <https://bit.ly/37PQffA>. Acesso em 20 jan 2020.

ZEMPULSKI, L. N.; ZEMPULSKI, M. F. Dossiê técnico: Oxidação Negra. Instituto de Tecnologia do Paraná, 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/2Utv5Nu>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

ZHANG, A. B. S.; HU, A. X.; LI, A. L.; HUANGFU, A. X.; XU, A. Y.; QIN, A. Y.: Activation of sodium percarbonate with ferrous ions for degradation of chlorobenzene in aqueous solution: mechanism, pathway and comparison with hydrogen peroxide. **Environmental Chemistry**, v. 14(8), p. 486-494, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2VJYBis>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

ZONFRILLI, F.; GERMANÀ, S.; GUIDA, V. Thermal stability of dry detergent formulation containing sodium percarbonate. **Associazione Italiana Di Ingegneria Chimica (AIDIC)**, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2tRHEGQ>>. Acesso em: 1 mai. 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Condições para jar test.

TABELA 1 - CONDIÇÕES DO ENSAIO DE JAR TEST PARA AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS EM RESIDUOS COM METAIS PESADOS EM PH ALCALINO (11,3)

Item/Jarro	1	2	3	4	5	6	7
pH inicial	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24
NaOH (mg/L)	180	180	180	180	180	180	180
pH	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65
Tanino (mg/L)	200	200	200	200	200	200	200
pH	8,05	8,05	8,05	8,05	8,05	8,05	8,05
NaOH (mg/L)	90	90	90	90	90	90	90
pH	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3
PCS (mg/L)	0	50	100	200	300	400	500
H ₂ SO ₄ (mg/L)	450	552	552	772,8	662,4	2024	1472
pH	6,20	6,08	6,02	6,08	6,30	6,14	6,11
Polímero Aniônico (mg/L)	150	150	150	150	150	150	150

FONTE: Autor, 2018.

TABELA 2 - CONDIÇÕES DO ENSAIO DE JAR TEST PARA AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS EM RESIDUO COM METAIS PESADOS EM PH 2,12.

Item/Jarro	1	2	3	4	5	6	7
pH inicial	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12
PCS (mg/L)	0	50	100	200	300	400	500
NaOH (mg/L)	135	135	135	135	135	135	135
pH	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85
Tanino (mg/L)	200	200	200	200	200	200	200
pH	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68
NaOH (mg/L)	75	75	75	75	75	75	75
pH	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24
H ₂ SO ₄ (mg/L)	7,38	7,38	7,38	7,38	7,38	7,38	7,38
pH	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05
Polímero Aniônico (mg/L)	150	150	150	150	150	150	150

FONTE: Autor, 2018.

TABELA 3 - CONDIÇÕES DO ENSAIO DE JAR TEST PARA AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS NO EFLUENTE GALVANICO CONTENDO CIANETO.

Item/Jarro	1	2	3	4	5	6
pH inicial	11,73	11,73	11,73	11,73	11,73	11,73
H ₂ SO ₄ 20% mL	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
pH	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66
PCS (mg/L)	0	100	200	300	400	500
NaOH 50% (mL)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
pH	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
Tanino (mg/L)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
pH	7,35	7,35	7,35	7,35	7,35	7,35
Ca(OH) ₂ (mg/L)	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
pH	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36
pH	8,63	8,63	8,63	8,63	8,63	8,63
Polímero Aniônico (mg/L)	200	200	200	200	200	200

FONTE: Autor, 2019.

TABELA 4 - CONDIÇÕES DO ENSAIO DE JAR TEST PARA AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS NO EFLUENTE GALVANICO CONTENDO ZAMAK

Item/Jarro	1	2	3	4	5	6
pH inicial	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Al ₂ (SO ₄) ₃ (mL)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
pH	8,24	8,24	8,24	8,24	8,24	8,24
PCS (mg/L)	0	100	200	300	400	500
Polímero Aniônico (mL)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
pH	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6

FONTE: Autor, 2018.

TABELA 5 - CONDIÇÕES DO ENSAIO DE JAR TEST PARA AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS NO EFLUENTE GALVANICO CONTENDO ZAMAK (COM PCS EM SOLUÇÃO DE ÁCIDO E SULFATO).

Item/Jarro	1	2	3	4	5	6
pH inicial	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Solução de PCS/Al ₂ (SO ₄) ₃ (mL)	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Ca(OH) ₂ (mg/L)	135	135	135	135	135	135
pH	8,98	8,52	8,99	8,5	8,2	8,7
H ₂ SO ₄ 20% (mL)	0,75	2,8	2,2	1,2	0,9	0,9
Polímero Aniônico (mL)	150	150	150	150	150	150

FONTE: Autor, 2018.

TABELA 6 - CONDIÇÕES DO ENSAIO DE JAR TEST PARA AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS NO EFLUENTE GALVANICO CONTENDO ZAMAK COM REDUÇÃO DO PH INICIAL).

Item/Jarro	1	2	3	4	5	6
pH inicial	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
H ₂ SO ₄ 20% (mL)	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
PCS (mg/L)	0	100	200	300	400	500
pH	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88
Ca(OH) ₂ (g/L)	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
pH	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
Al ₂ (SO ₄) ₃ (mL/L)	200	200	200	200	200	200
pH	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Polímero Aniônico (mL)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

FONTE: Autor, 2018.

TABELA 7 - CONDIÇÕES DO ENSAIO DE JAR TEST PARA AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS NA ÁGUA DE NEUTRALIZAÇÃO (RESIDUOS DE DESENGRAXANTES COM PH > 12)

Item/Jarro	1	2	3	4	5	6
pH inicial	12,73					
PCS (mg/L)	0	100	200	300	400	500
Ca(OH) ₂ (mg/L)	225					
pH	12,65					
Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	200					
Polímero Aniônico (mg/L)	150					
pH	7,68					

FONTE: Autor, 2018.

TABELA 8 - CONDIÇÕES DO ENSAIO DE JAR TEST PARA AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE PCS NA ÁGUA DE NEUTRALIZAÇÃO (RESÍDUOS DE DESENGRAXANTES COM PH > 12) COM REDUÇÃO DO PH INICIAL.

Item/Jarro	1	2	3	4	5	6
pH inicial	12,73					
H ₂ SO ₄ 98% (mL/L)	3,0					
pH	1,60					
PCS (mg/L)	0	100	200	300	400	500
Ca(OH) ₂ (mg/L)	13,4					
pH	12,30					
Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	17,0					
Polímero Aniônico (mg/L)	150					
pH	8,02					

FONTE: Autor, 2018.

TABELA 9 - CONDIÇÕES DO TESTE COM EFLUENTES DE METAIS PESADOS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

Item	Condições	
pH inicial	2,64	4,33
H ₂ SO ₄ 98% (mL/L)	-	1,5
pH	-	2,88
Na ₂ S ₂ O ₅ (mg/L)	2,5	2,5
PCS (mg/L)	500	1301
Ca(OH) ₂ (mg/L)	10	10
pH	9,88	10,12
Al ₂ (SO ₄) ₃ (mL/L)	6	6
Polímero Aniônico 1% (mL)	20	20
pH	8,02	8,13

FONTE: Autor, 2018.

TABELA 10 - CONDIÇÕES DO TESTE COM EFLUENTES DE CIANETO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

Item	Condições	
pH inicial	12,78	12,65
H ₂ SO ₄ 98% (mL/L)	3,5	4,5
pH	2,85	2,91
PCS (mg/L)	500	1901
Ca(OH) ₂ (mg/L)	14	14
pH	8,95	8,87
Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	12	12
Polímero Aniônico 1%(mL)	20	20
pH	7,9	8,1

FONTE: Autor, 2018.

APENDICE B

Trecho da Portaria 70/2009, sobre as condições de lançamento de efluentes provenientes de empresas do ramo de tratamento de superfície (ANEXO 7).

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam às condições e padrões estabelecidos na sequência, resguardadas outras exigências cabíveis.

I. Para os parâmetros DBO₅, DQO e outros inerentes à atividade ou empreendimento deverão ser atendidos os valores das concentrações constantes da Tabela 1

10) TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE (GALVANOTÉCNICA)	
• DBO ₅ :	50 mg/L
• DQO:	300 mg/L
• Cianeto total:	0,2 mg/L CN
• Cromo total:	0,5 mg/L Cr
• Cádmio total:	0,2 mg/L Cd
• Cianeto total:	0,2 mg/L CN
• Ferro dissolvido:	15,0 mg/L Fe
• Níquel total:	2,0 mg/L Ni
• Cobre dissolvido:	1,0 mg/L Cu
• Zinco total:	5,0 mg/L Zn
• Óleos e graxas:	Óleos minerais: até 20mg/L
• Toxicidade aguda:	FTd para <i>Daphnia magna</i> : 16 (6,25%) FTbl para <i>Vibrio fischeri</i> : 8 (6,25%)

APENDICE C – FISPQ – Percarbonato de Sódio

	FISPQ	Número	062
	FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS	Revisão	01
	<u>PERCARBONATO DE SÓDIO</u>	Data	03/07/13
			Página 1 de 9

1 IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Nome da substância ou mistura (nome comercial): PERCARBONATO DE SÓDIO

Código interno de identificação do produto: (NOVO)

Principais usos recomendados para a substância ou mistura: Em lavanderias, o processo de alvejamento baseado no Oxigênio ativo oferece muitos benefícios. Ao contrário dos produtos a base de cloro, que requerem um ciclo adicional no processo de lavagem, o alvejamento com Percarbonato de Sódio pode ser realizado junto com o processo de lavagem além de não agredir as cores e as fibras dos tecidos. Em casos específicos, o Percarbonato pode ser facilmente formulado para atuar como um poderoso alvejante seguro, removendo as manchas mais difíceis e devolvendo o branco às roupas e enxovais. A quente ou em combinação com o TAED, o Percarbonato forma Ácido Peracético que pode ser utilizado na desinfecção de roupas hospitalares e afins. Inúmeras são as aplicações do Percarbonato em produtos domissanitários.

Nome da empresa: BSC Química Ltda

Matriz: Brusque
 Rua BA 060, 470 – Bateas – Galpão 7
 Telefone: (47) 3252-6052/ 3251-4400
 Fax: (47) 3251-4401
 e-mail: laboratorio@bscquimicos.com.br

Filial: Maringá
 Estrada Oswaldo de Moraes Correa, 1337 – Zona 41
 Telefone: (44) 3025-6540
 e-mail: bscmaringa@bscmaringa.com.br

Telefone de emergências (PANCARY): 0800-7267-378

2 IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

Natureza química: Sal cristalino.

Teor: >= 92%

Nome químico: Peroxihidrato de carbonato de sódico.

Fórmula: Na₂CO₃.1.5 H₂O₂ (CH₂O₃.3/2H₂O₂.2Na)

Nº CAS: 15630-89-4

Nº CE: 239-707-6

Símbolos: O, Xn.

Frases de Risco: R 8, R 22, R 41.

3 COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES

Olhos: Risco de lesões oculares graves.

Inalação: A inalação de pó do produto pode provocar irritação dos órgãos respiradores.

Ingestão: Nocivo por ingestão.

*Matriz Brusque: Rua BA 060, 470 – Bairro Bateas – Brusque/ SC – CEP: 88355-202 – Fone/ Fax: (47) 3251-4400
 Filial Maringá: Es. Oswaldo de M. Correa, 1337 – Zona 41 – Maringá/ PR – CEP: 87065-50 Fone: (44) 3025-6540*

	FISPQ FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS	Número	062
		Revisão	01
		Data	03/07/13
PERCARBONATO DE SÓDIO		Página 2 de 9	

Favorece a inflamação de matérias combustíveis. Ver também o item 10.

4 MEDIDAS DE PRIMEIROS-SOCORROS

Recomendação em geral: Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

Inalação: Em caso de liberação de pó do produto, possíveis queixas podem acontecer como, irritação grave das mucosas (nariz, garganta, olhos), tosse, espirros e olhos a chorar. Transportar a vítima para um local com ar fresco.

Caso ocorram problemas respiratório: Colocar semi-sentado com o tronco elevado. Chamar imediatamente um médico.

Contato com a pele: Lavar imediatamente com muita água. No caso de queixas permanentes, procurar ajuda médica.

Contato com os olhos: Em caso de fissura aberta da pálpebra, lavar bem profundamente e imediatamente com muita água, pelo menos, durante 10 minutos. A lavagem deve ser continuada com lavagem aos olhos com solução própria. Proteger o olho não afetado.

Chamar ajuda médica e continuar lavando até chegar na clínica. Procurar um especialista.

Ingestão: Não provocar o vômito. Lavar bem a boca com água. Deixar beber imediatamente muita água em goles pequenos (efeito de diluição). Chamar imediatamente um médico.

Indicações para o médico: Terapia como em queimado.

Após a ingestão: Endoscopia inicial para avaliação de eventual formação de lesões da mucosa do esôfago e do estômago. Eventual aspiração de restos remanescentes da substância.

5 MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Meios adequados de extinção: Água, espuma, pó de extinção de fogo, dióxido de carbono (CO₂).

Meios de extinção que não devem ser utilizados por razões de segurança: Compostos orgânicos.

Perigos específicos para combate a incêndios: O produto é um composto peróxido inorgânico com ação oxidante. O produto é comburente.

O contato com as seguintes substâncias pode provocar infecção: Substâncias inflamáveis.

No caso de incêndios nas imediações: perigo de desintegração com liberação de oxigênio.

- Perigo se formação de excesso de pressão e perigo de rebentamento, no caso de desintegração em reservatórios e tubagens fechadas.

- A liberação de oxigênio pode provocar a deflagração de incêndios.

- Em caso de incêndio, separar os recipientes que corram risco e colocá-los num local seguro, se possível sem perigo.

- Proteger contra calor. Proteger da umidade. Manter afastado de matérias combustíveis.

- Proteção dos bombeiros: Utilizar o equipamento de proteção usual para incêndios.

- Outras informações: Evacuar o pessoal para áreas de segurança. Manter afastadas as pessoas não autorizadas. Manter afastadas as pessoas não protegidas.

*Matriz Brusque: Rua BA 060, 470 – Bairro Bateas – Brusque/SC – CEP: 88355-202 – Fone/ Fax: (47) 3251-4400
 Filial Maringá: Es. Oswaldo de M. Correa, 1337 – Zona 41 – Maringá/PR – CEP: 87065-50 Fone: (44) 3025-6540*

	<p style="text-align: center;">FISPQ FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS</p>	Número	062
		Revisão	01
		Data	03/07/13
	<u>PERCARBONATO DE SÓDIO</u>		Página 3 de 9

- Prestar atenção para que haja dispositivos suficientes de retenção da água de extinção de fogo. A água destinada à extinção não deve penetrar na canalização, no sub-solo ou nas águas subterrâneas. A água contaminada de extinção deverá ser eliminada segundo às normas das autoridades locais. Deve-se eliminar, segundo as normas prescritas, os restos do fogo.

6 MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

Precauções individuais: Usar equipamento de proteção pessoal, ver o item 8.

Manter afastadas pessoas não autorizadas. Manter afastadas as pessoas não protegidas.

Precauções ambientais: Observar a proteção das águas subterrâneas (recolher, proteger com diques, cobrir).

Não deixar que o produto entre nos seguintes compartimentos: Águas de superfície e águas subterrâneas.

Métodos de limpeza: Utilizar equipamentos de manuseio mecânicos. Evitar formação de pó. Encher em recipientes de plásticos secos e limpos. Manter ao abrigo de substâncias não toleráveis. Ver o item 10. Manter os recipientes abertos, não fechar hermeticamente do ar. Eliminar o material absorvido segundo as normas prescritas. Ver o item 13. Limpar o resto com muita água.

Conselhos adicionais: Os recipientes defeituosos deverão ser separados imediatamente, se tal for possível sem quaisquer perigos. Proteger contra o calor. Proteger da humidade. Nunca colocar o produto derramado nos recipientes de origem a fim de ser reutilizado (perigo de decomposição).

7 MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

MANUSEIO

Recomendações para um manuseio seguro: Manusear de acordo com as boas práticas industriais de higiene e segurança.

- Usar equipamento pessoal de proteção. Para proteção individual ver item 8.
 - Elaboração de normas de segurança e de serviço (em função do local de trabalho).
 - Evitar o contato com a pele, olhos e vestuário.
 - Evitar formação de pó. No surgimento de pó, usar máscara de pó e óculos protetores.
 - Evitar o contato com impurezas, catalisadores de decomposição, substâncias não toleráveis. Prever a instalação de chuveiro de emergência e lava-olhos.
 - Não comer, fumar e tomar café durante o trabalho.
 - Retirar as roupas sujas e embebidas. Lavar as mãos antes de interrupções e no final do dia de trabalho.
- Proteção preventiva para a pele.
- Não reutilizar produto derramado ou infectado. Nunca colocar produto derramado nos recipientes de origem a fim de ser reutilizado (perigo de decomposição).
 - Orientação para prevenção de fogo e explosão: Proteger contra insolação, calor, temperaturas elevadas. Manter ao abrigo de substâncias inflamáveis. O produto não queima. Prever capacidade de retenção suficiente para a água de incêndio. Ver o item 5.

*Matriz Brusque: Rua BA 060, 470 – Bairro Bateas – Brusque/SC – CEP: 88355-202 – Fone/Fax: (47) 3251-4400
Filial Maringá: Es. Oswaldo de M. Correa, 1337 – Zona 41 – Maringá/PR – CEP: 87065-50 Fone: (44) 3025-6540*

	<p style="text-align: center;">FISPQ FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS</p>	Número	062
		Revisão	01
		Data	03/07/13
PERCARBONATO DE SÓDIO		Página 4 de 9	

ARMAZENAMENTO

Exigências para áreas de estocagem e recipientes: Fresco, seco, limpo.

Utilizar apenas materiais apropriados no transporte, armazenagem, manipulação e reservatórios. Fechar bem o recipiente após retirar o produto.

Armazenar em local fresco e seco. Proteger de fontes de calor e temperaturas elevadas.

Evitar sempre temperaturas de > 40°C. Não fechar o recipiente hermeticamente.

Materiais adequados: Polietileno, polipropileno, cloreto de polivinílico (PVC), sacos de papel com revestimento de polietileno, aços de vanádio (1.4571, passivado), alumínio, passivado, vidro, cerâmica, betão (por ex: armazenamento em silos).

Recomendações para estocagem conjunta: Não armazenar junto com ácidos, álcalis, agentes redutivos, sais metálicos (perigo de decomposição).

Não armazenar junto com: Substâncias inflamáveis (perigo de fogo).

Estabilidade em armazenamento: < 30°C.

8 CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Prestar atenção para que seja feita uma aspiração apropriada e prestar atenção para que haja ventilação no lugar de trabalho ou nas máquinas de trabalho. Evitar a formação de pó. Ver também o item 7.

EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL APROPRIADO

Proteção respiratória: No surgimento de pó, usar meia máscara com um filtro de partículas P2 (Norma Européia EM 143) (Alemanha).

Proteção das mãos: Usar luvas de borracha butílica ou de policloropreno (CR).

Proteção dos olhos: No surgimento de pó, usar óculos de proteção.

Proteção do corpo e da pele: Usar vestuário de proteção adequado. Evitar a contaminação da roupa pelo produto.

Medidas de higiene: Não comer, fumar e tomar café durante o trabalho. Lavar as mãos antes de interrupções e no final do dia de trabalho.

Evitar a contaminação da roupa pelo produto. Retirar roupas sujas ou embebidas. Lavar imediatamente com água o vestuário sujo ou impregnado.

Medidas de proteção: Evitar o contato com a pele, olhos e vestuário. Manusear de acordo com as boas práticas industriais de higiene e segurança. Usar vestuário de proteção e luvas adequadas.

O equipamento de proteção individual deve corresponder aos requisitos da Diretiva 89/686/CEE e alterações (marcação CE).

Deverá ser fixado tendo em consideração o local de trabalho, no âmbito de uma avaliação de risco, em conformidade com a Diretiva 89/686/CEE e alterações.

	<p style="text-align: center;">FISPQ FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS</p>	Número	062
		Revisão	01
		Data	03/07/13
	<u>PERCARBONATO DE SÓDIO</u>		Página 5 de 9

9 PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

Estado físico: Sal, cristalino, de escoamento livre

Cor: Branco

Odor: Inodoro

pH: ca 10,6 (10 g/l) (25°C) meio: água

Temperatura de fusão/intervalo: Não aplicável ca. 60°C decomposição

Temperatura de ebulição/intervalo: Não aplicável

Ponto de inflamação: Não aplicável

Inflamabilidade: Não inflamável

Temperatura de ignição: Não inflamável

Auto-inflamabilidade: Não espontaneamente inflamável

Explosividade: Não aplicável

Pressão de vapor: Não aplicável

Densidade da massa: ca. 1100 kg/m³

Solubilidade em água: ca. 140 g/l (20°C)

Coefficiente de partição (n-octanol/água): Não aplicável

Peso molecular: 157,0 g/Mol

Oxigênio ativo: 13,5%

Outras informações: Comburente (segundo a Diretiva CE 67/548/CEE)

10 ESTABILIDADE E REATIVIDADE

Condições a evitar: Insolação, calor, influência de temperaturas elevadas, humidade.

Materiais a evitar: Impurezas, catalisadores de decomposição, metais, sais metálicos, ácidos, álcalis, agentes redutivos (perigo de decomposição). Substâncias inflamáveis (perigo de fogo).

Produtos de decomposição perigosos: Produtos de desintegração em contato com desintegração térmica, vapor, oxigênio.

Decomposição térmica: > 60°C.

Reações perigosas: Perigo de decomposição com calor. Estável sob as condições recomendadas de armazenamento. O produto é comburente. O contato com as seguintes substâncias pode provocar infecção: substâncias inflamáveis. O produto não queima.

11 INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

Toxicidade oral aguda: DL50 Ratazana (fêmea): 1034 mg/kg. Método: Bibliografia.

Toxicidade dermal aguda: DL50 coelho: > 2000 mg/kg. Método: OECD TG 402 (teste de limite) bibliografia.

Irritação da pele coelho: Ligeiramente irritante. Método: Bibliografia.

Irritação dos olhos coelho: Risco de graves lesões oculares. Método: US-EPA-método.

Sensibilização: Buehler Test porquinhos-da-índia: Não sensibilizante. Método: Bibliografia.

*Matriz Brusque: Rua BA 060, 470 – Bairro Bateas – Brusque/SC – CEP: 88355-202 – Fone/ Fax: (47) 3251-4400
Filial Maringá: Es. Oswaldo de M. Correa, 1337 – Zona 41 – Maringá/PR – CEP: 87065-50 Fone: (44) 3025-6540*

	<p style="text-align: center;">FISPQ FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS</p>	Número	062
		Revisão	01
		Data	03/07/13
	<u>PERCARBONATO DE SÓDIO</u>		Página 6 de 9

Experiência humana: Irritante para olhos e pele. Irritações leves dos olhos e das mucosas são possíveis, quando pó for levantado.

12 INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

INFORMAÇÕES SOBRE ELIMINAÇÃO

Eliminação físico-química: O produto pode ser degradado através de processo abiótico, por exemplo, processo fotolítico ou químico.

Outras informações: Com condições ambientais, tem lugar um rápido hidrólise, redução ou decomposição. O peróxido de hidrogênio desintegra-se muito rapidamente com oxigênio e água.

Bioacumulação: Nenhum.

EFEITOS DE EXOTOXIDADE

Toxicidade para os peixes: CL50 Pimephales promelas: 70,7 mg/l / 96h. Método: Bibliografia.

Toxicidade para os peixes: NOEC Pimephales promelas: 7,4 mg/l / 96h. Método: Bibliografia.

Toxicidade para dáfnia: CE50 Daphnia pulex: 4,9 mg/l / 48h. Método: Bibliografia.

Toxicidade para dáfnia: NOEC Daphnia pulex: 2 mg/l / 48h. Método: Bibliografia.

Toxicidade para algas: CE50 Anabaena sp. (Algae): 8 mg/l / 140h. Ponto final: Taxa de crescimento. Método: Bibliografia.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE A ECOLOGIA

Carência química de oxigênio (CQO): Não aplicável (produto inorgânico).

Carência biológica de oxigênio (CBO): Não aplicável.

AOX: O produto não contém nenhum halogênio ligado organicamente.

Outras informações: Não contém metais pesados e compostos de acordo com a Diretriz CE nº 76/464.

13 CONSIDERAÇÕES SOBRE DESTINAÇÃO FINAL

Produto: Propor a entrega de soluções excedentes e não recicláveis a uma empresa idônea de tratamento de resíduos. Remoção de acordo com as disposições das autoridades locais. Eventualmente contatar as autoridades competentes.

Embalagens não limpas: Os recipientes vazios não devem ser reutilizados e devem ser eliminados segundo as normas das autoridades locais. Propor a entrega de material de embalagem lavado a uma instalação de reciclagem local.

Resíduo: Para este produto não poderá ser fixada nenhuma senha numérica de dejetos segundo o índice europeu de dejetos, pois primeiramente, a finalidade permite uma classificação através do consumidor. A senha numérica de dejetos deve ser determinada segundo o índice europeu de dejetos (decisão da EU sobre o índice de dejetos 2000/532/CE) em consulta com as empresas de descarte / os fabricantes / os serviços públicos.

	FISPQ FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS	Número	062
		Revisão	01
		Data	03/07/13
	<u>PERCARBONATO DE SÓDIO</u>		Página 7 de 9

14 INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

TRANSPORTE RODOVIÁRIO ADR/RID/GGVSE (Alemanha)

Nº da ONU: 1479

Classe de Risco: 5.1

Nº de Risco: 50

Grupo de Embalagem: III

Nome Adequado para Embarque: Sólido Oxidante NE (Percarbonato de Sódio)

TRANSPORTE AÉREO E MARÍTIMO - Código IMDG/GGVSee

Nº da ONU: 1479

Classe de Risco: 5.1

Nº de Risco: 50

Grupo de Embalagem: III

Nome Adequado para Embarque: Sólido Oxidante NE (Percarbonato de Sódio)

TRANSPORTE AÉREO ICAO-TI/IATA-DGR

Nº da ONU: 1479

Classe de Risco: 5.1

Nº de Risco: 50

Grupo de Embalagem: III

Nome Adequado para Embarque: Sólido Oxidante NE (Percarbonato de Sódio)

TRANSPORTE FLUVIAL ADN/ADNR/GGVBinSch (Alemanha)

Nº da ONU: 1479

Classe de Risco: 5.1

Nº de Risco: 50

Grupo de Embalagem: III

Nome Adequado para Embarque: Sólido Oxidante NE (Percarbonato de Sódio)

INSTRUÇÕES DE CARGA / OBSERVAÇÕES

IATA-C: ERG-Code 5L

IATA-P: ERG-Code 5L

IMDG: Intervalo mínimo para os depósitos de combustível e as anteparas das máquinas principais: 1 local de arrumação de contentores. Não expor a temperaturas > 55°C > 30 dias.

IMDG: "Separated from" permanganates.

TRANSPORTE/INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Proteger do calor. Tão fresco quanto possível. Transportar tão seco quanto possível.

	<p style="text-align: center;">FISPQ FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS</p>	Número	062
		Revisão	01
		Data	03/07/13
	PERCARBONATO DE SÓDIO		Página 8 de 9

15 INFORMAÇÕES SOBRE REGULAMENTAÇÕES

Rotulado de acordo com as diretivas da CE.

Base legal/lista: De acordo com a Diretiva 67/548/CEE.

Componentes principais de perigo: Peroxidrato de carbono de sódico.

SÍMBOLOS

O: Comburente

Xn: Nocivo

FRASES DE RISCO

R 8: Favorece a inflamação de matérias combustíveis.

R 22: Nocivo por ingestão.

R41: Risco de lesões oculares graves.

FRASES DE SEGURANÇA

S 3: Guardar em lugar fresco.

S 8: Manter o recipiente ao abrigo da humidade.

S 17: Manter afastado de matérias combustíveis.

S 26: Em caso de contato com os olhos, lavar imediata e abundantemente com água e consultar um especialista.

S 39: Usar um equipamento protetor para os olhos e face.

16 OUTRAS INFORMAÇÕES

A BSC Química Ltda é uma empresa importadora, revendedora e distribuidora de produtos químicos, recomenda a cada cliente ou usuário que receber esta FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICOS (FISPQ) que a estude cuidadosamente e se necessário, consulte um especialista a fim de conhecer os perigos associados ao produto. As informações aqui contidas são meramente orientadoras e são dadas de boa fé, sem que incorra em responsabilidade, expressa ou implícita. Exigências regulamentares estão sujeitas a mudanças e podem diferir de uma região para outra. As informações aqui apresentadas são pertinentes apenas ao produto em seu recipiente original. Uma vez que as condições de uso do produto não estão sob o controle do fabricante e do distribuidor, é responsabilidade do usuário determinar as condições necessárias para seu uso, promovendo treinamentos a todos os usuários.

	<p style="text-align: center;">FISPQ FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS</p>	Número	062
		Revisão	01
		Data	03/07/13
	PERCARBONATO DE SÓDIO		Página 9 de 9

Referências bibliográficas

ABNT NBR 14725-4:2012

ABNT NBR 14725-2:2010

Ficha de informações de segurança de produtos químicos do fornecedor.

LEGISLAÇÃO NACIONAL

Legislação sobre o principal acidente perigoso restrição de emprego: O produto obedece à diretiva CE 96/82/CEE e alterações.

Prestar atenção às limitações sobre as atividades (ocupação) para grávidas e lactantes.

Prestar atenção às limitações sobre as atividades (ocupação) para jovens.

Decreto de interdição de produtos químicos: Respeitar o regulamento de proibição de produtos químicos.

Outra regulamentação: Outros países: Observar as normas nacionais.

Legendas e abreviaturas

Europa (EINECS/ELINCS): Y

USA (TSCA): Y

Canadá (DSL): Y

Austrália (AICS): Y

Japão (MITI): Y

Filipinas (PICCS): Y

China: Y

Coréia (TCCL): Y

Suíça: Y