

UNIVERSIDADE FEEVALE

TITO ALEXANDRE TAUCHERT

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ELETROCOAGULAÇÃO
APLICADO AO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE CURTUME**

Novo Hamburgo

2012

TITO ALEXANDRE TAUCHERT

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ELETROCOAGULAÇÃO
APLICADO AO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE CURTUME**

Universidade Feevale.

Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas.

Curso de Engenharia Industrial Mecânica.

Trabalho de Conclusão de Curso.

Professor orientador: Dr. Marco Antônio Siqueira Rodrigues

Novo Hamburgo, 2012.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pelo seu amor infinito, e por iluminar o meu caminho durante esta caminhada.

A meus pais, Agildo e Mirna; meus maiores exemplos, obrigado por cada incentivo e orientação, ambos são responsáveis naturais pelo sucesso alcançado e por cada degrau avançado para o resto da minha vida.

A minha esposa Ciriane, minha amada e companheira, e à minha alegre filha Letícia que sempre acreditaram muito no meu trabalho e me ajudaram no que foi preciso, e a meu filho recém-nascido Taylor, que é a maior motivação da minha vida.

A minhas irmãs, Cristina, Annelise e Viviane que sempre me apoiaram e estimularam a continuar sempre estudando e superando todas as dificuldades encontradas pelo caminho.

A minha Avó Materna, Vó Irma que sempre me incentivou e nunca me deixou desistir dos meus objetivos.

Aos meus amigos, compadres, familiares e colegas de trabalho que sempre estiveram no meu lado deixando a vida mais alegre.

Aos meus colegas de curso e disciplinas que compartilharam comigo seus conhecimentos.

Aos professores mestres e doutores que a mim repassaram seus conhecimentos e ensinamentos.

Agradeço à empresa Bombas Beto, e principalmente ao seu Diretor Paulo Roberto Jacobsen por tornar realidade a conclusão do curso, e a realização deste trabalho.

Agradeço por fim, ao amigo e professor Marco Antônio pelo tempo, paciência e inteligência, dedicado à realização deste trabalho.

Minhas ternas gratidões a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para que este sonho pudesse ser concretizado.

RESUMO

A água está presente em diversos setores industriais, sendo os processos produtivos, em sua maior parte, grandes usuários de água. No processo de curtimento de couro são gerados grandes volumes de efluente industriais contendo altas concentrações de poluentes que prejudicam o meio ambiente. No que se refere ao uso racional da água nas plantas industriais, será preciso investir em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, na implantação de sistemas de tratamento avançado de efluentes, em sistemas de conservação, em redução de perdas e no reuso da água. Isto levará a significativos ganhos ambientais, sociais e econômicos. O presente trabalho propõe desenvolver um equipamento de eletrocoagulação para o tratamento de efluentes de curtume. O trabalho investigou a aplicação da eletrocoagulação com eletrodos de alumínio no tratamento de efluente bruto da estação de tratamento de efluente em um curtume da região. Os estudos de aplicação da técnica de eletrocoagulação para tratamento de efluentes são feitos, em sua grande maioria, em nível de bancada. Neste cenário são necessários estudos em nível industrial para o aumento do emprego desta tecnologia pelas indústrias. O efluente bruto do tanque de homogeneização foi bombeado para uma peneira estática e posteriormente ao reator eletroquímico com uma vazão de 6 m³/h. Após o processo de eletrocoagulação o efluente foi bombeado para um de filtro prensa composto de 10 placas paralelas de 630x630 mm com elementos filtrantes com permeabilidade ao ar de 1 a 3cfm. Finalmente o efluente passa por filtro de areia e carvão ativado para um polimento final. Amostras do efluente bruto e tratado foram coletadas para avaliação da eficiência do tratamento e viabilidade de seu reuso. Os parâmetros analisados foram: DQO, Dureza, Cloretos, Nitrogênio Total e Amoniacal. A partir dos resultados apresentados, observa-se que a tecnologia produz uma água tratada de qualidade adequada, permitindo o seu descarte nos corpos hídricos e também possibilitando seu reuso no processo de curtimento do couro, resultando em grande economia, tanto em produtos químicos utilizados nos tratamentos de efluentes convencionais, quanto na diminuição da captação de água.

PALAVRAS CHAVE: Eletrocoagulação, curtume, tratamento de efluente, reuso de água.

ABSTRACT

Water is present in many industrial sectors, and production processes, for the most part, large water users. In the process of tanning leather are generated large volumes of industrial wastewater containing high concentrations of pollutants that harm the environment. With regard to the rational use of water in industrial plants, it will be necessary to invest in research and technological development, the deployment of advanced treatment of wastewater, conservation systems, in loss reduction and water reuse. This will lead to significant environmental gains, social and economic. This paper proposes to develop an equipment electrocoagulation for the treatment of tannery effluents. The paper investigated the application of electrocoagulation with aluminum electrodes for the treatment of effluent treatment plant effluent at a tannery in the region. Studies applying the technique of electrocoagulation for wastewater treatment are made, mostly, at bench. In this scenario studies are needed in industrial level for increased use of this technology by industry. The raw effluent tank was pumped to a homogenization static sieve and subsequently the electrochemical reactor with a flow rate of $6 \text{ m}^3 / \text{h}$. After the process of electrocoagulation the effluent was pumped to a filter press 10 consists of parallel plates of $630 \times 630 \text{ mm}$ filter elements with air permeability of the first 3 cfm . Finally the effluent passes through a sand filter and activated carbon for a final polishing. Samples of raw and treated effluent were collected for evaluation of treatment effectiveness and feasibility of their reuse. The parameters analyzed were: COD, Hardness, Chloride, Ammonium Content and Total Nitrogen. From the results, it is observed that the technology produces a treated water of suitable quality, allowing their disposal in water bodies and also enabling their reuse in the leather tanning process, resulting in great savings, in both chemicals used in Conventional wastewater treatments, as in decreased water uptake.

KEYWORDS: Electrocoagulation, tannery, wastewater treatment, water reuse.

“Ambiente limpo não é o que mais se limpa
e sim o que menos se suja.”

Chico Xavier

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico da distribuição de água no planeta terra	14
Figura 2 – Fluxograma do processo convencional de curtimento do couro	18
Figura 3 – Estação de tratamento convencional, demonstrando as grandes dimensões dos tanques, e da grande área necessária	20
Figura 4 – Interações químicas observadas durante a eletrocoagulação	32
Figura 5 – Estruturas formadas durante a corrosão do alumínio	34
Figura 6 – Desenho esquemático do sistema de tratamento por eletrocoagulação	40
Figura 7 – Tanque de Equalização / Homogeneização	41
Figura 8 – Misturador Submerso Rápido, mod. MSR-7,5 de 7,5CV	42
Figura 9 – Bomba Submersa, série JCS-32 de 3CV utilizada no tanque de equalização	43
Figura 10 – Peneira Estática Hidrodinâmica, modelo PEH-1500, marca BBL	44
Figura 11 – Tanque intermediário de recebimento do efluente peneirado	45
Figura 12 – Entrada do efluente bruto no reator eletroquímico , a uma vazão de 6m ³ /h	46
Figura 13 – Reator Eletroquímico contendo os eletrodos de alumínio	46
Figura 14 – Montagem alternada dos eletrodos empregados no tanque de eletrocoagulação	47
Figura 15 – Retificador elétrico de corrente contínua	48

Figura 16 – Barramento de alumínio para a condução de energia elétrica aos eletrodos	49
Figura 17 – Motobomba JC-10 de 10CV, que possibilita a agitação por meio da recirculação de efluente no tanque de eletrocoagulação	49
Figura 18 – Tubulação perfurada para distribuição e agitação do efluente no reator de eletrocoagulação	50
Figura 19 – Motobomba JC-5 de 5CV de recalque do efluente do reator eletroquímico ao decantador	51
Figura 20 – Decantador existente na estação de tratamento de efluentes do curtume	52
Figura 21 – Filtro-prensa utilizado para remover umidade do lodo formado na eletrocoagulação	54
Figura 22 – “Tortas” de lodo já devidamente acondicionadas em estrado de madeira e prontas para descarte	55
Figura 23 – Tanque de acúmulo de efluente clarificado	55
Figura 24 – Filtros de areia (à esquerda) e carvão ativado (à direita) para polimento do efluente tratado por eletrocoagulação	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros do CONSEMA 128 de 2006 empregados no estudo.....	35
Tabela 2 – Diferentes parâmetros analisados do efluente.....	38
Tabela 3 – Remoção de diferentes parâmetros do efluente.....	60

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 REUSO DE ÁGUA	14
2.2 EFLUENTES DE CURTUME.....	17
2.3 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE EFLUENTES.....	19
2.3.1 GRADEAMENTO E PENEIRAMENTO	21
2.3.2 REMOÇÃO DE GORDURAS.....	21
2.3.3 OXIDAÇÃO DE SULFETOS	22
2.3.4 EQUALIZAÇÃO E HOMOGENEIZAÇÃO.....	23
2.3.5 AJUSTE DE PH.....	24
2.3.6 COAGULAÇÃO.....	24
2.3.7 FLOCULAÇÃO.....	25
2.3.8 DECANTAÇÃO PRIMÁRIA.....	25
2.3.9 TRATAMENTO BIOLÓGICO	27
2.3.10 TRATAMENTOS TERCIÁRIOS	28
2.3.11 DISPOSIÇÃO DE EFLUENTES.....	29
2.4 DEFICIÊNCIAS DO TRATAMENTO CONVENCIONAL	29
2.5 TRATAMENTO ELETROQUÍMICO	29
2.6 PARÂMETROS DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES	34
3. METODOLOGIA.....	36
3.1 A EMPRESA	36
3.2 SISTEMA DE TRATAMENTO.....	36
3.3 PARÂMETROS ANALISADOS.....	37
3.4 EXPERIMENTOS.....	37
4. RESULTADOS E AVALIAÇÕES	39
4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA	39
4.1.1 TANQUE DE EQUALIZAÇÃO / HOMOGENEIZAÇÃO.....	40
4.1.2 PENEIRAMENTO	42
4.1.3 REATOR ELETROQUÍMICO	45
4.1.4 DECANTADOR.....	50
4.1.5 FILTRO-PRENSA	51
4.1.6 FILTROS DE AREIA E CARVÃO ATIVADO	55
4.2 AVALIAÇÕES DO DIMENSIONAMENTO E MONTAGEM DO SISTEMA	56
4.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES	58
4.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES	59
5. CONCLUSÃO.....	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento natural, é uma dádiva divina, e, portanto é significado de vida e sem ela o planeta e os seres humanos não vivem daí o termo “água fonte de vida“. Preservar este elemento faz parte do nosso compromisso com o desenvolvimento e a preservação do meio-ambiente. A grande importância da água para o nosso planeta é inigualável, e o ser humano começou a utilizar a água para diversos fins muito além do uso como necessidade básica e uso doméstico. Após a invenção da roda d'água para movimentação de antigos moinhos, surgiram às máquinas a vapor d'água como o grande propulsor da revolução industrial, e mais recentemente a água é utilizada para mover turbinas e gerar eletricidade em hidrelétricas. Hoje em dia a água está presente em diversos setores da nossa vida: agrícolas, industriais e comerciais. Não é, pois, novidade afirmar que os processos produtivos industriais, em sua maior parte, são grandes usuários de água, por isso, corresponsáveis pelo bom uso da mesma, bem como o seu tratamento.

No que se refere ao uso racional da água nas plantas industriais, será preciso investir em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, na implantação de sistemas de tratamento avançado de efluentes, em sistemas de conservação, em redução de perdas e no reuso da água. Isto levará a significativos ganhos ambientais, sociais e econômicos. O reaproveitamento ou reuso da água é o processo pelo qual a água tratada é reutilizada. Essa reutilização ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. (MIERZWA & HESPANHOL, 2005). Pelas leis brasileiras e internacionais, o manejo e o tratamento dos efluentes industriais são de responsabilidade das fontes geradoras, mesmo assim algumas empresas ainda desconsideram questões ambientais. O fato mais preocupante é que ainda hoje se percebe que efluentes industriais são lançados de forma inadequada, ocasionando a

contaminação do solo, ar e dos recursos hídricos. Considerando-se a biodiversidade e o porte do parque industrial brasileiro, pode-se afirmar que, em termos ambientais, a quantidade e a qualidade dos efluentes gerados assumem importância considerável no processo de degradação do meio ambiente, assim sendo, há uma necessidade da aplicação de novas tecnologias que possam reduzir os índices de poluição industrial. (DANTAS NETO, 2008).

Tratamentos físico-químicos convencionais de efluentes de curtume consistem de pré-tratamento, coagulação/floculação, sedimentação e manipulação do lodo. Em adição a este tratamento físico-químico, métodos de tratamentos secundários e terciários tais como filtros biológicos, lodos ativados e etc, têm sido utilizados (MURUGANANTHAN, et al. 2004). O tratamento de efluente envolve adição de produtos químicos como: coagulantes, floculantes e removedores de cor, etc. Tratamentos com polímeros podem causar impactos ao meio ambiente devido à toxicidade de algumas das espécies químicas usadas, e os coagulantes à base de sulfatos elevam a concentração desse íon no efluente final, podendo alterar a qualidade da água do corpo receptor (CRESPILO & REZENDE, 2004).

A tecnologia de tratamento físico-químico pelo processo eletrolítico é uma alternativa promissora, possibilitando ampliar a capacidade de tratamento dos sistemas físico-químicos tradicionais, pois utiliza os mesmos fundamentos básicos de coagulação-floculação. (SILVA, 2002). Entretanto, os estudos de aplicação da técnica de eletrocoagulação para tratamento de efluentes são feitos, em sua grande maioria, em nível de bancada. Neste cenário são necessários estudos em nível industrial para o aumento do emprego desta tecnologia pelas indústrias. A proposta deste trabalho foi desenvolver e aplicar um sistema de eletrocoagulação no tratamento de efluente de curtume, avaliando a qualidade do efluente tratado, buscando uma água tratada com características que possibilitam o seu descarte nos recursos hídricos e também o seu reuso no processo produtivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Reuso de água

A disponibilidade de água doce na Terra excede, em muito, a demanda humana (DANTAS NETO, 2008). Até poucas décadas atrás, a água era um exemplo de “bem não econômico”, isto é, aquele que é tão abundante e inesgotável, que não tinha valor econômico. É claro que existe muita água no planeta, na natureza tem-se a seguinte situação, em termos de porcentagem de disponibilidade: 97% de água salgada, enquanto que dos 3% de água doce 1,75% encontram-se nas geleiras, 1,24% constituem as águas subterrâneas, e apenas 0,01% de água potável estão disponíveis, conforme a Figura 1 (IBGE, 2012).

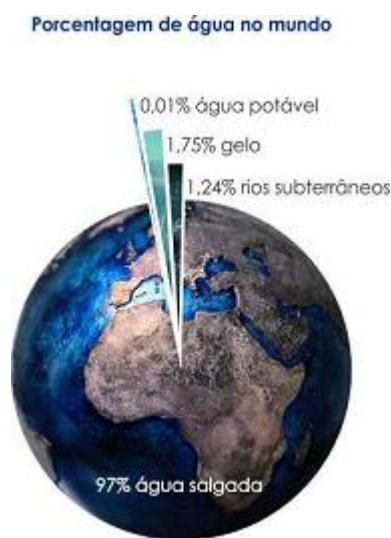


Figura 1 – Gráfico da distribuição de água no planeta terra.

Fonte: IBGE, 2012

O Brasil possui grande quantidade de água em seu território, contendo cerca de 8% da água doce disponível no mundo. Desses 8%, a Amazônia, com apenas 5% da população brasileira, possui 80% da água doce, enquanto o restante do país, com 95% da população

dispõe de somente 20% da água doce. Dessa forma verificamos que a água doce disponível está "mal distribuída", Existem partes da Terra realmente com falta crônica desse precioso líquido (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Grandes populações vivem em áreas que recebem abundantes precipitações pluviométricas, enquanto outras vivem em regiões semiáridas ou mesmo áridas (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Infelizmente, pelo mau uso, degradação, e pouco planejamento dos órgãos responsáveis em preservar os recursos hídricos, intensifica-se uma situação de possível falta de água, em curto prazo, tanto para abastecimento doméstico, quanto ao uso industrial.

Portanto, é absolutamente urgente e grande a necessidade do bom uso da água e do desenvolvimento de processos para tratá-la adequadamente. Para que se possa reutilizá-la subentende-se desenvolver novas tecnologias, e instalar equipamentos para aplicações de menor ou maior capacidade.

Reaproveitamento ou reuso da água é o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim. Essa reutilização pode ser direta ou indireta, decorrente de ações planejadas ou não, de acordo com as necessidades locais e momentâneas.

Segundo MANCUSO & SANTOS (2003), os conceitos de reuso de água são:

- Reuso indireto não planejado da água: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada, conduzindo até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição, autodepuração).

- Reuso indireto planejado da água: ocorre quando os efluentes, depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. O

reuso indireto planejado da água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam aos requisitos de qualidade do reuso objetivado.

- Reuso direto planejado das águas: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação.

- Reciclagem de água: é o reuso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Essas compõem-se, assim, uma fonte suplementar de abastecimento do uso original. Este é um caso particular do reuso direto planejado.

Reuso não potável para fins industriais: na maioria das vezes, os efluentes são tratados para serem dispostos no meio ambiente até níveis compatíveis com a legislação local. O reuso de água para fins industriais consiste na utilização industrial desse efluente, em vez de seu lançamento no meio ambiente. Evidentemente a finalidade à qual se dará ao uso desse efluente tratado determinará os processos e as operações unitárias adicionais necessárias para o condicionamento desse efluente. Uma particularidade, incluída nessa classificação, é a da reciclagem. Aqui podem ser enquadrados os casos de reuso interno nas instalações industriais, com o objetivo de atender as demandas da própria indústria ou controlar a poluição (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Segundo ASANO (1991), os fatores que motivam a recuperação e o reuso de águas podem ser:

- A redução da poluição dos cursos d'água.
- A disponibilidade de efluentes tratados com elevado grau de qualidade.

-A promoção, em longo prazo de uma fonte confiável de abastecimento de água.

-O gerenciamento da demanda de água por um período de seca, no planejamento global dos recursos hídricos.

- O encorajamento da população para conservar a água e adotar práticas de reuso.

É importante ressaltar que o objetivo principal pela opção do reuso deve ser avaliado após a aplicação de medidas de otimização do uso da água para minimizar desperdícios, já que podem afetar o volume e as características dos efluentes gerados.

Assim sendo, o reuso é a utilização dos efluentes tratados nas respectivas estações ou unidades de tratamentos, bem como pelo uso direto de efluentes em substituição à fonte de água normalmente explorada, quando a mesma estiver dentro dos padrões definidos.

De uma forma geral, os efluentes gerados nos curtumes, quando tratados em estações de tratamento convencionais, acabam sendo lançados no meio ambiente, sendo muito difícil o seu reaproveitamento. A seguir é apresentada uma breve revisão a respeito dos efluentes gerados pelos curtumes.

2.2 Efluentes de curtume

Os despejos dos curtumes originam-se de descargas intermitentes dos banhos e das diversas operações de lavagens das peles. Estas descargas são em sua grande maioria instantâneas e de características diversas, conforme as operações às quais se referem (CETESB, 1989).

Os curtumes são normalmente classificados em função da realização parcial ou total das etapas que compreendem o processo de transformação de peles em couros, que normalmente é dividido em três etapas principais, conhecidas por ribeira, curtimento e acabamento.

O curtume integrado realiza todas as operações descritas na Figura 2, desde o recebimento da pele crua (pele fresca ou salgada) até o couro totalmente acabado. O curtume “*wet-blue*” processa a pele pós-ribeira até o curtimento ao Cromo, o “*wet-blue*” passa por todas as etapas iniciais de preparação da pele até o curtimento, onde o cromo é o agente curtidor, seguindo para o descanso / enxugamento após o curtimento. O curtume de semi-acabado utiliza o couro “*wet-blue*” como matéria prima e o transforma em couro semi-acabado, também chamado de “*crust*”. O curtume de acabamento transforma o couro “*crust*” em acabado. (CLASS & MAIA, 1994).

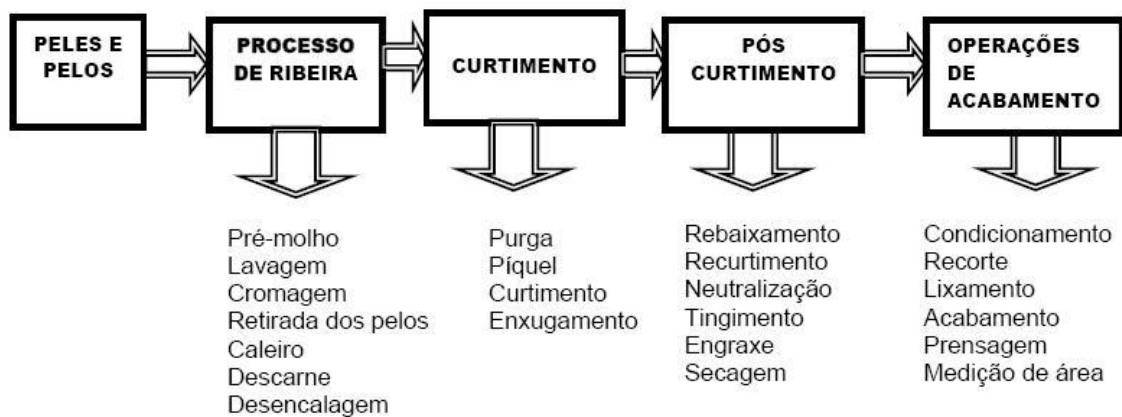


Figura 2 – Fluxograma do processo convencional de curtimento do couro.

Fonte: SURESH et al., 2001.

As principais características dos efluentes gerados pelo processo de curtimento do couro são: alta dureza, sulfetos livres, elevado pH, cromo potencialmente tóxico, matéria orgânica (sangue, soro, produtos de decomposição de proteínas), traduzida por elevada DBO, elevado teor de sólidos suspensos (principalmente pelos, graxas, fibras, proteínas, sujeira), coloração devida ao curtimento e a cores variadas do tingimento, elevada salinidade (sólidos

dissolvidos totais) e elevada demanda química de oxigênio (BRAILE & CAVALCANTI, 1993).

O volume de efluentes gerado pelos curtumes normalmente é aproximado ao total de água captada. Porém, em termos de vazões efetivas de geração e de lançamento (regime de geração e de lançamento), estas dependem dos procedimentos operacionais da estação de tratamento de efluentes de cada curtume. Os efluentes lançados pelos curtumes podem causar diversos inconvenientes, requerendo tratamento prévio em grau elevado para a redução da carga poluidora (CETESB, 1989).

Em seguida está apresentado o processo de tratamento convencional de efluentes de curtume.

2.3 Tratamento convencional de efluentes

O tratamento convencional de efluentes consiste em várias etapas em sequência e de uma maneira em geral vem sendo feito da mesma maneira durante os últimos 20 anos (FORNARI, 2008). Não houve grandes mudanças e nem melhorias, existindo uma grande carência de pesquisas relacionadas ao assunto. Um grande problema do tratamento convencional é a área livre necessária. Para se ter uma ideia desta dimensão é apresentada na Figura 3 uma estação de tratamento de efluentes convencional de curtume.



Figura 3 – Estação de tratamento convencional, demonstrando as grandes dimensões dos tanques, e da grande área necessária.

Fonte: CBH-PARANAÍBA, 2012.

O tratamento convencional de efluentes de curtume consiste em pré-tratamentos (gradeamento e peneiramento, remoção de gordura e oxidação de sulfetos), tratamentos primários (equalização e homogeneização, ajuste de pH, coagulação e floculação e decantação primária), tratamentos secundários ou biológicos (lodos ativados, valos de oxidação, lagoas aeradas ou facultativas, etc.) e tratamentos terciários, utilizados principalmente para remoção do cromo (FORNARI, 2008).

Será apresentado a seguir, uma breve descrição para cada etapa de tratamento de efluentes nas indústrias de curtimento de couro.

2.3.1 Gradeamento e peneiramento

Os equipamentos desta etapa são projetados para remover os resíduos sólidos grosseiros dos efluentes, como carnaças, raspas, serragens e pedaços de pele provenientes das operações de descarnagem, divisão e rebaixamento do couro.

O gradeamento pode ser feito por meio de grades de barras paralelas posicionadas transversalmente no canal de chegada do efluente na estação de tratamento, perpendiculares ou inclinadas, dependendo do dispositivo de remoção do material retido, portanto podendo ser com limpeza manual ou mecânica. A abertura das malhas da grade varia de acordo com os objetivos da operação de remoção desses sólidos, e devem permitir o escoamento sem produzir grandes perdas de carga. (VON SPERLING, 2005).

No sistema de grades passam materiais sólidos longos, finos e fibras conseguem passar flutuando através da grade, portanto o sistema de grades tem sido cada vez mais complementado com peneiras. O peneiramento depende do tipo de peneira utilizada, e as aberturas da malha empregada ou das chapas perfuradas situam-se na faixa de 5 mm e 0,15 mm. É evidente que quanto menor a abertura entre as malhas, maior o risco de obstrução e oclusão bem como, de perda de pressão frente às redes de aberturas maiores. Quanto maior for a retirada dos componentes sólidos do efluente que devem ser eliminados na primeira etapa de tratamento, menor será a quantidade de lodos residuais, e menor será a chance de entupimento de bombas que conduzem o efluente aos diversos equipamentos da estação de tratamento de efluentes (VON SPERLING, 2005).

2.3.2 Remoção de gorduras

Na remoção de gorduras a separação é realizada em caixas separadoras de gordura, onde o material flotado é retido por chicanas, ou por sistema de flotação que é composto por um tanque geralmente com forma retangular e com fundo inclinado contendo, na sua parte

interna, uma calha ou tubos coletores para a fase líquida clarificada e uma rampa para descarga do material flotado, sendo dotado de sistema de geração de microbolhas, composto por bomba e injetores de ar. Na parte superior possui um raspador de superfície “*skimmer*”, que faz a remoção mecanizada do material flotado, sendo este raspador constituído por duas correntes transportadoras, montadas em paralelo, nas quais estão fixadas as lâminas raspadoras, geralmente em borracha.

A operação de remoção de gorduras deve ser realizada somente com as águas do setor de ribeira, antes de misturá-las com as demais águas do curtimento. Sua remoção, além de reduzir a carga orgânica dos efluentes, também possibilita o aproveitamento desse material.

2.3.3 Oxidação de sulfetos

Para evitar a liberação do ácido sulfídrico (H_2S), o sulfeto existente nos despejos das operações de ribeira, deve ser removido antes de ser misturado com os demais efluentes.

O tratamento químico com sulfato ferroso é a técnica mais antiga para remover sulfeto das águas residuárias. A adição deste produto causa a precipitação de sulfetos de ferro e hidróxido ferroso. A precipitação do hidróxido também causa uma diminuição no pH, e a cal livre precipita sob a forma de sulfato de cálcio.

A oxidação catalítica pelo oxigênio do ar é o processo atualmente mais econômico e o mais utilizado: Consiste em injetar oxigênio no efluente, com equipamentos de aeração e condições operacionais adequadas. A operação é acelerada com a utilização de um catalisador como o sulfeto de manganês ou de cobalto, sendo, o primeiro, o mais empregado. Com o uso do catalisador se pode reduzir o tempo de oxidação de 20 para 8 horas. (SCHNEIDER, 2009).

A oxidação química por peróxido de hidrogênio é o único processo em que se obtém oxidação completa e irreversível dos sulfetos, porém, é raramente utilizada devido ao alto custo do produto (CETESB, 1989).

Após os tratamentos preliminares específicos para os efluentes oriundos das diversas etapas do processo produtivo, todos os efluentes são reunidos em um tanque de equalização e/ou homogeneização, seguindo para o tratamento primário.

2.3.4 Equalização e homogeneização

Os efluentes são enviados, normalmente, de forma intermitente durante a jornada de trabalho da empresa, para que ocorra uma equalização / homogeneização do efluente devido a grande variedade nas características dos efluentes gerados nas diferentes etapas do processo industrial. (SCHNEIDER, 2009).

A equalização dos efluentes dos curtumes é uma operação aconselhável, tendo em vista a intermitência, o volume e as concentrações variáveis dos banhos descartados. Ela permite regularizar a vazão e uniformizar a carga orgânica das águas residuárias da indústria, possibilitando os processos de tratamentos contínuos e evitando sobrecargas no sistema de tratamento. A homogeneização dos efluentes ácidos e alcalinos provoca neutralização e floculação de parte dos sólidos presentes nestes efluentes e favorece a precipitação de hidróxidos de cromo, cal, proteínas, corantes, etc. (SCHNEIDER, 2009).

O processo deve ser projetado de maneira a não permitir sedimentação dos sólidos e fermentação anaeróbia no tanque de homogeneização, devendo estar previstos misturadores mecânicos, difusores, ou aeradores superficiais para otimizar a mistura dos efluentes e também uniformizar perfeitamente os resíduos (CETESB, 1989).

Os misturadores mecânicos podem ser submersos ou flutuantes, de superfície, compõem-se geralmente de um motor elétrico de potência adequada ao volume do tanque, e uma hélice do tipo naval que fará a movimentação do fluxo líquido, promovendo a homogeneização. Os aeradores superficiais são semelhantes, porém com a diferença de que possuem o eixo perfurado, causando um efeito de vácuo na hélice que está submersa,

promovendo o arraste do ar atmosférico ao meio líquido. Os difusores podem ser circulares, ou tubulares, são montados no fundo do tanque e podem ser fixos ou removíveis. Um soprador de ar, geralmente de lóbulos tipo *Roots*, sopra o ar por meio de tubulações até os difusores, estes possuem uma membrana de borracha, micro-perfurada a laser, permitindo a passagem de ar, formando micro-bolhas e transferindo o oxigênio ao meio-líquido. A correta combinação destes equipamentos que promoverá uma equalização e homogeneização adequadas à estação de tratamento de efluentes (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

2.3.5 Ajuste de pH

É necessário realizar um controle fixo de pH através de um medidor-controlador automático, de modo a obter uma regulação final de pH, que deve ser de 8,0 a 8,5, para promover uma boa sedimentação primária e não interferir negativamente nos tratamentos biológicos subsequentes.

A necessidade deste ajuste se torna imperiosa quando houver reciclagem dos banhos de caleiro, diminuindo o pH do efluente equalizado a valores abaixo daqueles indicados (JOST, 1990).

2.3.6 Coagulação

A coagulação tem por objetivo aumentar a quantidade de material suspenso que é removida por sedimentação. Consiste essencialmente na introdução de um produto químico capaz de anular as cargas negativas dos colóides presentes nos efluentes, de forma a gerar um coagulado. Quando são adicionados sais de ferro ou alumínio tanto na água quanto no efluente, geralmente ocorrem, concorrentemente, precipitação e coagulação, sendo que no efluente, em face a ocorrência de maior diversidade de constituintes, e em maior concentração, existem mais oportunidades para a precipitação de uma série de compostos que

pode acontecer mais rapidamente do que a coagulação. Este sistema deve ter uma agitação alta de forma que todas as cargas consigam se anular. Os precipitados precisam também ser aglutinados em partículas ou flocos de maior tamanho para que possam ser removidos por alguma operação de separação de sólidos. (SCHNEIDER, 2009).

2.3.7 Floculação

A floculação é uma etapa do processo de tratamento em que, após adicionar os agentes coagulantes, as partículas em suspensão tornam-se pequenos flocos, decantando em seguida. Realizado em um tanque aberto, o processo de floculação se dá quando pás motorizadas promovem a agitação do efluente, de forma muito lenta, propiciando a união das partículas até a formação dos flocos de impurezas. A formação destes flocos é essencial para o processo de decantação, pois a partícula se tornará mais densa que a água, possibilitando a decantação. (SCHNEIDER, 2009).

2.3.8 Decantação primária

Os tanques de decantação podem ser circulares ou retangulares, os efluentes fluem vagarosamente através dos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão, possuindo uma densidade maior do que a do líquido circundante, sedimentem gradualmente no fundo (VON SPERLING, 2005).

Nesta etapa, os flocos formados são sedimentados, permitindo a deposição dos sólidos em suspensão nos efluentes formando um lodo no fundo. A eficiência da sedimentação depende de vários parâmetros sendo a taxa de escoamento superficial e o tempo de detenção, os parâmetros mais importantes no dimensionamento dos decantadores. A concepção física destas unidades também influencia na eficiência de remoção de sólidos. Geralmente os decantadores utilizados são cilíndricos do tipo *Dortmund*, com fundo cônico a 60° com a

horizontal. Podem ser construídos em diversos materiais, como aço carbono, aço inox, PRFV (plástico reforçado com fibra de vidro), ou até mesmo construídos em alvenaria. A decantação primária, desde que devidamente projetada e operada, pode remover até 80% do cromo existente nos efluentes. O lodo gerado neste processo pode ser desaguado através de filtros-prensa para posterior disposição em aterros de resíduos industriais perigosos conhecidos como *ARIP*. (VON SPERLING, 2005).

O filtro-prensa opera de forma intermitente, em ciclos que compreendem as etapas de enchimento, filtração e descarga da torta (VON SPERLING, 2005). Primeiramente um pistão empurra uma placa de aço contra as placas de poliuretano, estabelecendo a prensagem. O lodo líquido é bombeado para câmaras envelopadas por telas filtrantes. O bombeamento do lodo faz com que a pressão aumente no espaço entre as placas e force o lodo a passar através da tela filtrante. Neste momento, os sólidos são retidos sobre o meio filtrante, formando uma torta, em cada câmara. O líquido que passa através das telas filtrantes, se chama de filtrado, sendo recolhido nos canais das placas e pontos de drenagem. Se a operação for correta, e se as condições do lodo estiverem adequadas, como pH, e ausência de gordura, a torta é removida do filtro com facilidade, à medida em que se recue o pistão hidráulico e se proceda à separação das placas. Neste momento, a torta compactada cai da câmara e pode ser conduzida à estocagem ou ao destino final. (VON SPERLING, 2005).

Os filtros-prensa são equipamentos que operam em batelada, o que exige a intervenção de operadores treinados, e que tem como característica principal seu alto grau de confiabilidade. As principais vantagens dos filtros prensa são (VON SPERLING, 2005):

- Torta com alta concentração de sólidos, superior a outros equipamentos mecânicos;
- Elevada captura de sólidos;
- Qualidade do efluente líquido (clarificado);
- Baixo consumo de produtos químicos para acondicionamento do lodo.

2.3.9 Tratamento biológico

Após o tratamento físico-químico, o efluente ainda apresenta uma concentração de matéria orgânica que pode ser degradada por via biológica. O processo mais utilizado na região do Vale dos Sinos para esta degradação biológica é o chamado de Lodos Ativados, que consiste em se provocar o desenvolvimento de uma cultura microbiológica na forma de flocos (lodos ativados) em um tanque de aeração, que é alimentada pelo efluente a tratar. Neste tanque, a aeração tem por finalidade proporcionar oxigênio aos microorganismos e evitar a deposição dos flocos bacterianos e os misturar homoganeamente ao efluente. O oxigênio necessário ao crescimento biológico é introduzido no efluente através de um sistema de aeração mecânica, por sistemas de ar difuso, ou ainda pela introdução de oxigênio puro. O efluente é bombeado continuamente a um decantador (decantador secundário), destinado a separar o efluente tratado do lodo. O lodo é recirculado ao tanque de aeração a fim de manter a concentração de microorganismos dentro de certa proporção em relação à carga orgânica afluente. (VON SPERLING, 2005).

A característica principal deste sistema reside na necessidade de manutenção deste lodo biológico ativo dentro do reator, a qual será responsável pela manutenção de uma relação apropriada entre a matéria orgânica que chega ao sistema e a massa de microorganismos presentes no tanque de aeração. A avaliação da eficiência do tratamento biológico é dada pelos parâmetros de DBO e DQO (THORSTENSEN, 1997).

A escolha do melhor sistema de tratamento depende de fatores como área disponível, porte do curtime e condições de pré-tratamento adotadas. Devido à alta toxicidade destes despejos é recomendado o uso de sistemas de aeração forçada (lagoas aeradas e lodos ativados), ficando o uso de lagoa de estabilização restrito às indústrias de pequeno porte.

2.3.10 Tratamentos terciários

O tratamento terciário pode ser empregado com a finalidade de se conseguir remoções adicionais de poluentes em águas residuárias, antes de sua descarga no corpo receptor e/ ou para recirculação em sistema fechado. Essa operação é também chamada de “polimento”. O efluente líquido tratado é submetido a processos e operações como adsorção sobre carvão ativo, remoção de nitrogênio, remoção de fósforo, remoção de substâncias inorgânicas e outros. O cromo residual também é removido nesta etapa de tratamento, principalmente pelos métodos de adsorção e/ou troca iônica (JOST, 1990).

Em função das necessidades de cada indústria, os processos de tratamento terciário são muito diversificados; no entanto, podem-se citar as seguintes etapas: filtração, cloração ou ozonização para a remoção de bactérias, adsorção por carvão ativado, e outros processos de adsorção química para a remoção de cor, redução de espuma e de sólidos inorgânicos tais como: eletrodialise, osmose reversa e troca iônica (KURITA, 1999).

Um método bastante utilizado é o de empregar filtros de areia e carvão ativado. Existem substâncias que agem como adsorventes, fixando em sua superfície outras substâncias que conferem gosto e odor à água e matéria orgânica dissolvida. Entre as substâncias adsorventes cita-se a turfa, cinza, areia, carvão vegetal, casca de extração do tanino, flocos de hidróxido férrico, permutadores iônicos granulados, carvão ativado, etc. (NUNES, 2008).

O carvão ativado é uma substância adsorvente, possuindo uma elevada área superficial muito porosa, com a grande vantagem de ser regenerável, ou seja, é possível reativar seu poder de adsorção. Além de remover as substâncias citadas acima, remove também cor (característica física, devido à existência de matéria dissolvida), fenóis, nutrientes (fosfatos, nitratos) sólidos em suspensão, matéria orgânica não biodegradável, etc. (NUNES, 2008).

2.3.11 Disposição de efluentes

As formas mais comuns de disposição final de efluentes tratados são os cursos de água, o mar e em alguns casos o solo, sendo a vazão de lançamento controlada por um medidor, geralmente calhas do tipo *Parshall*, para acompanhamento e verificação constante da vazão de efluentes lançados. O medidor *Parshall* é utilizado para medição de vazão de líquidos fluindo por gravidade em canais abertos. (VON SPERLING, 2005).

2.4 Deficiências do tratamento convencional

O método tradicional de tratamento de efluentes é baseado na transferência da fase líquida para a fase sólida, envolvendo etapas como: redução/oxidação, precipitação–coprecipitação e filtração. Este tratamento apresenta baixa eficiência de remoção de poluentes, entre eles o nitrogênio, cor, etc. Além disso, o custo muito elevado de implantação, a grande quantidade de produtos químicos utilizados e o resíduo gerado (lodo) no tratamento tornam importante a busca por alternativas de tratamento que proporcione que os padrões de emissão sejam atingidos e, ainda, que o efluente tratado possa ser reutilizado no processo produtivo (SCHNEIDER, 2009).

2.5 Tratamento eletroquímico

As primeiras tentativas de utilização da eletricidade na depuração de esgotos sanitários urbanos remontam ao fim do século XIX (DI BERNARDO & DANTAS, 2005). Tratando-se de uma tecnologia mantida arquivada e esquecida durante os últimos 90 anos (DI BERNARDO & DANTAS, 2005), ao menos nos termos das aplicações práticas e efetivas, evidenciam-se as mais favoráveis e amplas perspectivas para incorporação de vários recursos técnicos e científicos atualmente disponíveis. No estágio atual do desenvolvimento da tecnologia eletrolítica no Brasil, esta é efetivamente aplicada apenas no tratamento de esgotos

sanitários e, além disso, em instalações com capacidade nominais variando entre 2 a 15 L/s (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Os processos eletroquímicos surgem como métodos alternativos ao tratamento de efluentes industriais, pois apresentam a vantagem de possibilitar a recuperação/reutilização da água tratada, devido à maior qualidade do efluente tratado obtido. Entre os processos eletroquímicos a eletrocoagulação é definida pela desestabilização de espécies químicas suspensas ou dissolvidas presentes nas soluções, que ocorrem pela aplicação da diferença de potencial elétrico, através dos eletrodos. Como consequência da eletrocoagulação espécies catiônicas são produzidas pelo ânodo, reagindo com os coloides presentes no efluente, e precipitando-os na forma de hidróxidos.

As considerações econômicas sobre os processos eletrolíticos limitam-se aos aspectos dos investimentos para implantação e das principais despesas operacionais com consumo de energia elétrica e com desgaste de eletrodos.

Outras considerações sobre a relação custo/benefício dependeriam da definição do objetivo específico e prioritário do tratamento a ser adotado em cada local. Se o “benefício” for a remoção de metais pesados ou fósforo, por exemplo, a análise será muito favorável aos processos eletrolíticos comparados com qualquer processo biológico convencional em nível secundário de tratamento (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

O investimento para implantação de uma depuradora eletrolítica completa pelo processo normal corresponderia a menos de 10% daquele exigido por uma estação de tratamento convencional por lodos ativados de mesma capacidade nominal (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Para que tenham condições equivalentes de atendimento, a capacidade nominal da estação eletrolítica deverá ser três vezes maior que a biológica. Nessas condições, os investimentos para implantação de uma depuradora eletrolítica serão apenas 70% menores

que os necessários a uma instalação biológica de mesma capacidade de atendimento efetivo (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Segundo Henriques, (2004), essa alternativa explora os fenômenos físicos e químicos que ocorrem em tanques com eletrodos inseridos, possibilitando a ocorrência de várias reações de oxirredução, além da liberação de gases, da migração de íons, da flotação, da corrosão dos eletrodos e das reações secundárias. O conjunto dessas ações leva à formação de lodo, sendo este separado do líquido, através de decantação.

A eletrocoagulação envolve a geração de coagulantes através da oxidação eletrolítica de um ânodo de material apropriado, levando à geração de hidróxidos metálicos insolúveis capazes de remover poluentes pela complexação superficial ou atração eletrostática (HENRIQUES, 2004). A figura 4 ilustra a natureza complexa do processo de eletrocoagulação.

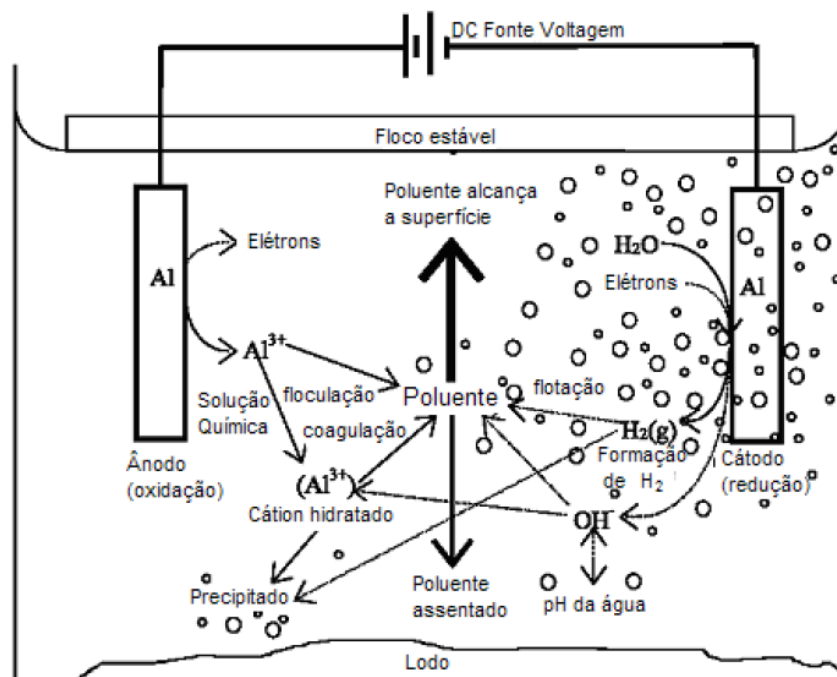


Figura 4 – Interações químicas observadas durante a eletrocoagulação.

Fonte: HOLT, 2002.

Primeiramente ocorrem reações eletrolíticas na superfície do eletrodo, seguido de formação de coagulantes na fase aquosa e adsorção de poluentes solúveis ou coloidais nos coagulantes, com remoção por sedimentação ou flotação (KOBYA et al., 2003).

As vantagens relacionadas ao sistema de eletrocoagulação são as seguintes (MOLLAH et al., 2004):

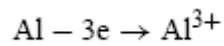
- Requer equipamento simples e fácil de operar;
- O lodo formado tende a ser rapidamente decantado e é de fácil desidratação, visto que ele é composto por uma série de hidróxidos e óxidos metálicos, diferentemente do lodo gerado com os coagulantes convencionais;
- A eletrocoagulação gera efluentes com uma menor quantidade de sólidos dissolvidos, comparado com tratamentos químicos;
- Evita a adição de substâncias químicas, diminuindo a possibilidade de poluição secundária (elevação da concentração de sulfatos, por exemplo, de matéria orgânica, polímeros) ;
- As bolhas de gases produzidos durante a eletrólise podem favorecer o processo de eletroflotação, onde as partículas sólidas são carregadas para o topo da solução. Assim, tem-se uma maior facilidade de concentração, coleta e remoção dos poluentes.

Dentre as limitações do processo temos que (MOLLAH et al., 2004):

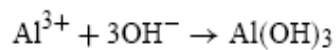
- Os eletrodos são eletro-dissolvidos e precisam ser constantemente substituídos;
- O alto consumo de energia elétrica eleva o custo operacional do processo;
- Uma camada de óxido pode ser formada na superfície do cátodo, levando à perda de eficiência do processo (como pode ocorrer com o alumínio, por exemplo);
- Alta condutividade do efluente é requerida;

As reações que acontecem no ânodo e cátodo são mostradas abaixo (CHEN, 2003.):

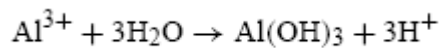
Para o ânodo de alumínio:



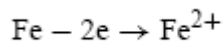
Em condições alcalinas:



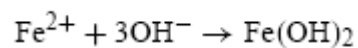
Em condições ácidas:



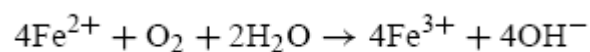
Para o ânodo do ferro:



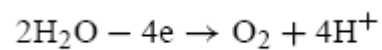
Em condições alcalinas:



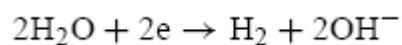
Em condições ácidas:



Além disso, há uma reação da evolução do oxigênio:



A reação no cátodo:



A figura 5 mostra os íons de alumínio hidrolisado que podem formar grandes redes que adsorvem os contaminantes.

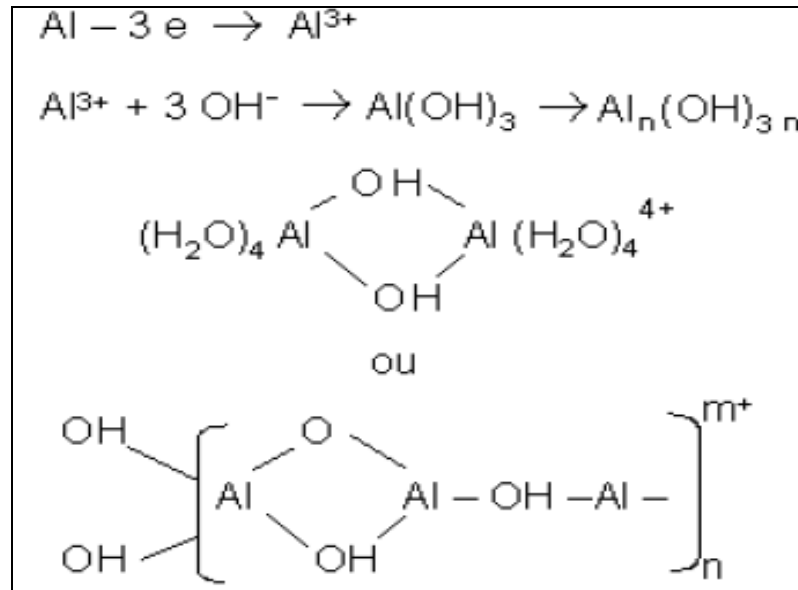


Figura 5 – Estruturas formadas durante a corrosão do alumínio.

Fonte: MOLLAH, 2004

O pH é um fator importante, que exerce influência no desempenho do processo eletroquímico, pois determina a especificação do íon metálico, influência nos estados das outras espécies em solução e na solubilidade dos produtos formados. A densidade de corrente é a razão entre a corrente liberada pelo eletrodo e a área do mesmo. O suprimento de corrente nos sistemas de eletrocoagulação determina a quantidade de Al^{3+} liberados dos respectivos eletrodos (HENRIQUES, 2004).

2.6 Parâmetros de lançamento de efluentes

Considerando a necessidade de preservar a qualidade ambiental, de saúde pública e dos recursos naturais, quanto ao lançamento de efluentes líquidos em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul, os padrões de lançamento de efluentes tratados devem estar de acordo com a Resolução CONSEMA 128 / 2006 e são fiscalizados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM).

São vários os parâmetros que definem esta resolução, e referem-se ao lançamento de efluentes nos recurso hídricos. Porém, neste trabalho, além dos parâmetros de lançamentos, foram investigados parâmetros relevantes ao reuso do efluente no processo industrial. Os parâmetros analisados foram: DQO, Dureza, Cloreto, Nitrogênio Total e Amoniacal.

Neste sentido são apresentados na Tabela 1, somente os parâmetros que foram analisados, dentre aqueles que são apresentados na Resolução CONSEMA nº 128 / 2006.

Tabela 1 – Parâmetros do CONSEMA nº 128 / 2006 avaliados no estudo.

Parâmetros	Padrão da Emissão	Faixa de Vazão (m³/dia)
DQO	até 360 mg/L	20 < Q < 100
Nitrogênio total	75% remoção	Q < 100
Nitrogênio amoniacal	até 20 mg/L	Q < 100

Os parâmetros dureza, e cloreto são relevantes apenas no reuso do efluente tratado no processo industrial, dessa forma não existem parâmetros normalizados que estabelecem valores máximos. Portanto, serão avaliados de acordo com o percentual de remoção obtido, e a faixa de concentração para reuso depende de cada curtume, e de cada tipo de couro a ser produzido.

3. METODOLOGIA

3.1 A empresa

A empresa em que o sistema foi instalado é um curtume da região metropolitana de Novo Hamburgo/RS. Este curtume é de recurtimento, e já possuía uma estação de tratamento convencional bastante antiga. A empresa percebeu a necessidade de melhorar o tratamento de efluentes, devido ao potencial de grande impacto ambiental de seus lançamentos na bacia hidrográfica, e verificou no sistema de eletrocoagulação uma alternativa de tratamento e também a possibilidade de reutilizar a água tratada no processo industrial.

3.2 Sistema de tratamento

Para a instalação do sistema de tratamento, foram utilizados:

- um tanque de homogeneização / equalização, já existente no curtume;
- dois misturadores submersos mod. MSR-7,5 de 7,5CV, para homogeneização;
- duas motobombas submersas mod. JCS-32 de 3CV para recalque do efluente bruto e peneirado;
- uma peneira estática hidrodinâmica;
- um tanque para armazenamento;
- um reator eletroquímico contendo 60 eletrodos em alumínio;
- uma fonte de corrente elétrica;
- uma motobomba centrífuga JC-10 de 10 CV para recirculação e agitação do efluente;
- uma motobomba centrífuga JC-5 de 5CV para recalque de efluente;
- um decantador tipo *Dortmund*, já existente no curtume;
- um filtro-prensa de placas tipo câmara;
- um filtro de areia e carvão ativado com bomba de alimentação.

3.3 Parâmetros analisados

A Tabela 2 apresenta os parâmetros analisados, para monitoramento e avaliação da eficiência do processo de eletrocoagulação empregado.

Tabela 2 – Parâmetros analisados, sua unidade, metodologia utilizada na determinação e o limite de detecção do método utilizado.

Parâmetro	Unidade	Metodologia	Limite de detecção
Cloretos	mg/L	Titulometria	-
DQO	mgO ₂ /L	Titulometria	-
Dureza	mgCaCO ₃ /L	Complexometria/ EDTA	-
Nitrogênio total	mg/L	Titulometria	0,5
Nitrogênio amoniacal	mg/L	Nesslerização	0,5

3.4 Experimentos

O efluente bruto do tanque de homogeneização foi bombeado para a peneira estática de perfis trapeziformes e posteriormente ao reator eletroquímico com uma vazão de 6 m³/h. Após o processo de eletrocoagulação o efluente foi bombeado para o decantador, para sedimentação do lodo. Após esta sedimentação o lodo formado é bombeado ao filtro-prensa de placas paralelas de 630x630 mm com elementos filtrantes com permeabilidade ao ar de 1cfm a 3cfm. Os efluentes clarificados do decantador e do filtro-prensa escoam por gravidade até um tanque de acúmulo de clarificado. Finalmente, para um polimento final, o efluente clarificado é filtrado em filtros de areia e carvão ativado. A descrição detalhada do equipamento está apresentada no capítulo 4.

Foram coletadas cinco amostras do efluente bruto e tratado para análise e avaliação da eficiência do tratamento. Os parâmetros analisados foram: DQO, Dureza, Cloreto, Nitrogênio Total e Amoniacal.

4. RESULTADOS E AVALIAÇÕES

À partir dos experimentos e testes realizados do sistema, podemos descrever à seguir cada equipamento utilizado de uma forma detalhada. Na sequência será feita uma avaliação dos equipamentos.

4.1 Descrição do sistema

O sistema consiste de uma peneira, um reator eletroquímico, uma fonte de corrente elétrica, um decantador tipo *Dortmund*, um filtro-prensa, um filtro de areia e carvão ativado além de tanques para armazenamento, misturadores submersos, motobombas para recalque e recirculação de efluente.

A Figura 6 apresenta o desenho esquemático indicando o fluxo do efluente na parte principal do sistema de tratamento, que são o reator eletroquímico, o decantador e o filtro-prensa.

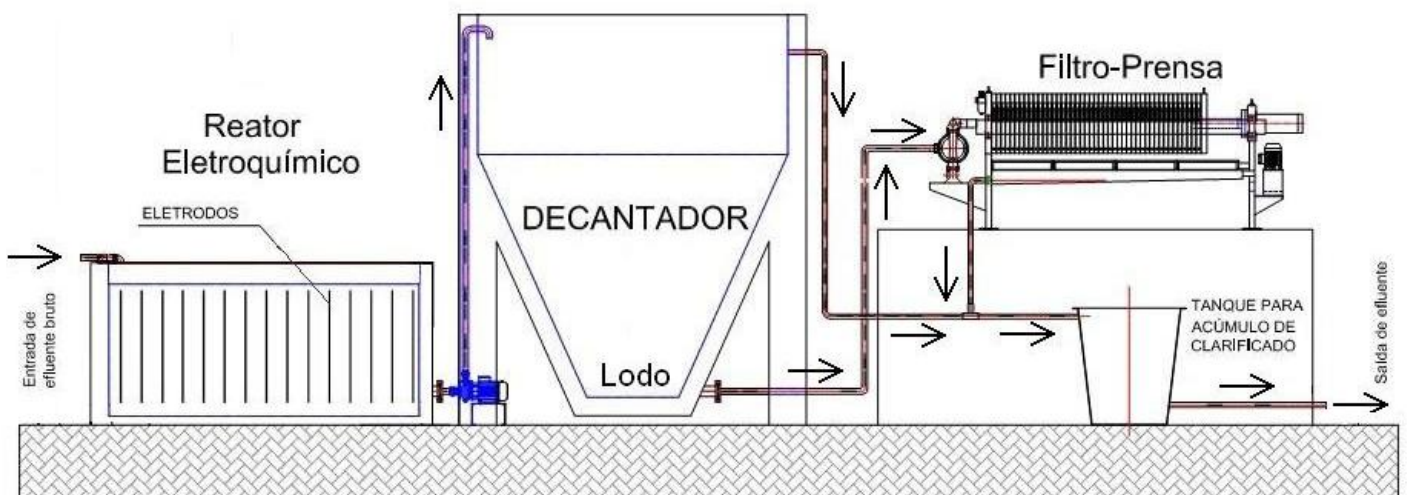


Figura 6 – Desenho esquemático do sistema de tratamento por eletrocoagulação.

Fonte: O Autor.

Os demais equipamentos que compõem este sistema serão apresentados detalhadamente a seguir.

4.1.1 Tanque de equalização / homogeneização

Inicialmente todo o efluente gerado pelo curtume foi conduzido por canaletas existentes no setor de produção e encaminhados até a estação de tratamento. O efluente seguiu até o tanque de equalização / homogeneização. A Figura 7 mostra uma imagem do tanque existente no curtume.



Figura 7 – Tanque de Equalização / Homogeneização.

Fonte: O Autor.

Na figura 7 pode-se notar a elevada turbidez do efluente e a coloração bastante escura. Verifica-se também a tubulação por onde o efluente bruto escoava até este tanque. Foram coletadas as amostras do efluente bruto neste tanque. Este tanque promove a equalização do efluente, e possui dois equipamentos utilizados para a homogeneização dois misturadores submersos rápidos, modelo MSR-7,5, marca BBL, que estão instalados no fundo do tanque. A Figura 8 mostra uma imagem de um misturador.



Figura 8 – Misturador Submerso Rápido, mod. MSR-7,5 de 7,5CV.

Fonte: O Autor.

Estes misturadores possuem motores elétricos totalmente selados, de potência 7,5CV e rotação de 1750rpm, com grau de proteção IP-68, o que permitem o seu uso completamente submersos no líquido. O motor elétrico fornece torque através de um eixo para uma hélice do tipo naval, que proporciona um fluxo ao líquido e promove a agitação e consequente homogeneização do efluente. Os dois equipamentos são dispostos em posição opostas no tanque, porém de sentido contrários de forma que um impulsiona o líquido à sua frente e o outro aumenta o fluxo do líquido e assim por diante, de forma contínua, até que o efluente esteja 100% homogeneizado, sem a formação das chamadas “zonas mortas” que prejudicam o bom funcionamento do sistema.

No fundo deste tanque há uma bomba centrífuga submersa (Figura 9) modelo JCS-32 de 3CV de potência, marca BBL, com rotação de 3500rpm, com motor elétrico totalmente

selado com grau de proteção IP-68, o que permitem o seu uso completamente submerso no efluente. O diâmetro da saída de recalque é de 3”.



Figura 9 – Bomba Submersa, série JCS-32 de 3CV utilizada no tanque de equalização.

Fonte: O Autor.

Esta bomba fornece uma vazão de até 30m³/h, o que é também bastante superior à capacidade da estação de tratamento de efluentes, porém esta folga é necessária, para que não ocorra o transbordamento do tanque de homogeneização caso ocorra um pico muito grande de geração de efluente pelo curtume. Esta bomba tem a função de bombear o efluente bruto até a peneira por meio de uma tubulação em PVC de diâmetro 3”, compatível à conexão da bomba.

4.1.2 Peneiramento

O pré-tratamento foi feito por uma peneira estática hidrodinâmica, modelo PEH-1500, marca BBL. Esta peneira se caracteriza por seu elemento filtrante construído com perfis trapeziformes com disposição paralela. Entre estes perfis existe uma fenda, também chamada de ranhura, de 1 mm de espessura. Dessa forma elimina-se a necessidade de gradeamento, uma vez que a retenção e sólidos maiores de 1 mm é perfeitamente funcional. O formato de

trapézio do perfil dificulta o acúmulo de materiais entre ranhuras. Caso isso ocorra, pode ser facilmente removível com jatos de água através da janela localizada na parte traseira do equipamento. Esta peneira é provida na parte superior de uma caixa receptora de efluente bruto que tem como função equalizar a vazão e uniformizar a lâmina de efluente que verte sobre os perfis, aumentando a eficiência do equipamento. Na parte inferior se localiza a bandeja de descarga de sólidos, e caixa receptora do filtrado, que foi encaminhado para o tanque de homogeneização logo abaixo. A Figura 10 mostra uma imagem de Peneira Estática Hidrodinâmica.



Figura 10 – Peneira Estática Hidrodinâmica, modelo PEH-1500, marca BBL.

Fonte: O Autor.

Esta peneira possui uma largura de 1500 mm, e conseqüentemente uma área filtrante de 2,25m². Conforme a ranhura de 1 mm utilizada, a peneira tem capacidade de vazão de 30m³/h, um valor bastante superior ao que a estação de tratamento suporta, e como no caso da bomba submersa, é necessário a folga devido ao pico de vazão de efluente. Como os fulões do curtime trabalham em regime de batelada, e não continuamente, a vazão de efluente oscila bastante, causando picos de vazão involuntários que deverão ser absorvidos pela peneira e pelo tanque de equalização / homogeneização. O efluente peneirado escoar até um tanque

intermediário em fibra-de-vidro com volume de 6m^3 . O excesso de efluente peneirado retorna ao tanque de homogeneização / equalização. A Figura 11 mostra uma imagem deste tanque instalado junto ao tanque de homogeneização / equalização e logo abaixo da peneira com o transbordamento do excesso de efluente.



Figura 11 – Tanque intermediário de recebimento do efluente peneirado.

Fonte: O autor.

Uma segunda bomba submersa com características idênticas à utilizada para bombear o efluente bruto até a peneira, está instalada neste tanque intermediário e é utilizada para bombear o efluente peneirado para o reator eletroquímico. A Figura 12 apresenta a tubulação com a entrada do efluente bruto no reator eletroquímico.



Figura 12 – Entrada do efluente bruto no reator eletroquímico, a uma vazão de $6\text{m}^3/\text{h}$.

Fonte: O autor.

4.1.3 Reator eletroquímico

O reator eletroquímico é um tanque retangular, construído em PRFV (plástico reforçado com fibra-de-vidro) com capacidade de volume útil de 7.500 Litros, com largura de 2,3m, comprimento de 3m, e altura de 1,1m, conforme Figura 13.



Figura 13 – Reator Eletroquímico contendo os eletrodos de alumínio.

Fonte: O Autor.

Neste tanque que estão afixados os 60 eletrodos em alumínio, sendo 30 como cátodos e 30 como ânodos, instalados alternadamente, com dimensões de 2,0 m de largura, e 1,0 m de altura, totalizando uma área útil de 240m² (Figura 14). O material utilizado como ânodos e cátodos na eletrocoagulação foi o alumínio, devido à disponibilidade, ao baixo custo, efetividade nos processos, além de ser bom coagulante.



Figura 14 – Montagem alternada dos eletrodos empregados no tanque de eletrocoagulação.

Fonte: O Autor.

Os experimentos foram feitos em regime contínuo. A corrente elétrica utilizada foi de 1.900 A, à uma tensão de 2 a 3V, disponibilizada por um retificador elétrico de corrente contínua conforme indicado na Figura 15.

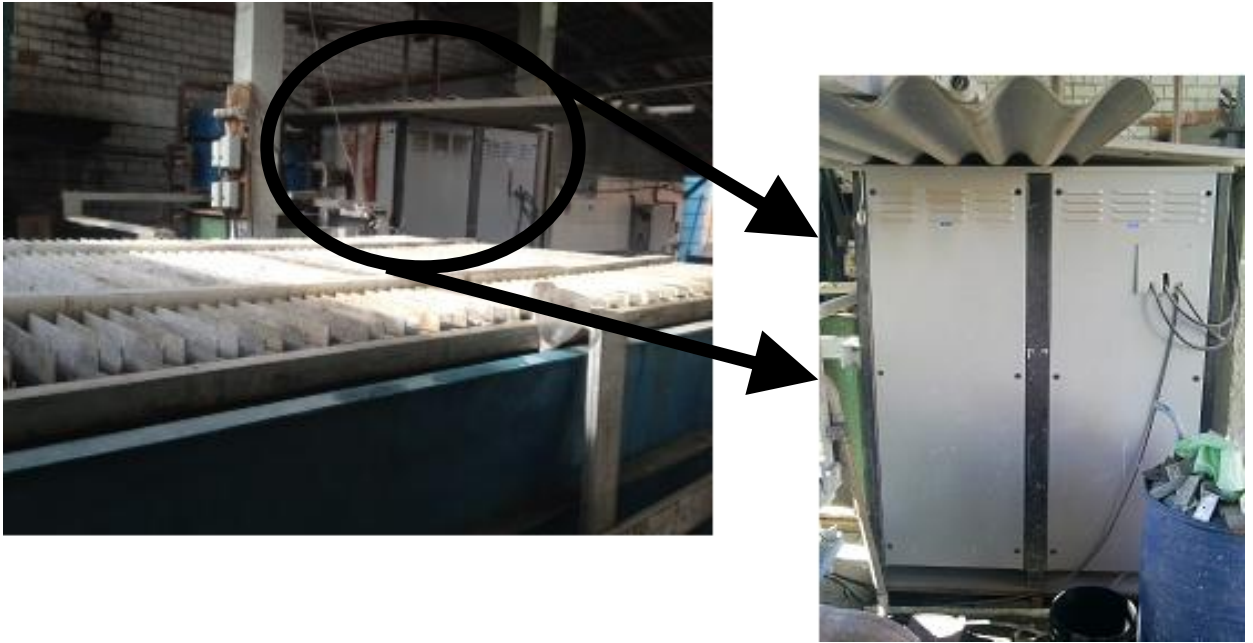


Figura 15 – Retificador elétrico de corrente contínua.

Fonte: O Autor.

A fonte de corrente elétrica insere uma diferença de potencial (ddp) a eletrodos metálicos. Como a energia elétrica fornecida pela fonte é de corrente contínua, e de tensão muito baixa, no máximo 12V, não há nenhum risco de choque elétrico e, assim sendo, não é necessário nenhum tipo de isolamento elétrico no barramento.

A Figura 16 mostra a condução da energia elétrica dos eletrodos inseridos no reator eletroquímico, por meio de um barramento também em alumínio.



Figura 16 – Barramento de alumínio para a condução de energia elétrica aos eletrodos.

Fonte: O Autor.

Na eletrocoagulação é necessária uma agitação do efluente durante a reação para acontecer a neutralização das cargas; neste sentido, para manter-se a reação homogênea em todo o volume do reator, foi utilizada uma motobomba centrífuga, modelo JC-10, com potência de 10CV, e rotação de 3500rpm, conforme a Figura 17.



Figura 17 – Motobomba JC-10 de 10CV, que possibilita a agitação por meio da recirculação de efluente no tanque de eletrocoagulação.

Fonte: O Autor.

Esta bomba promove a recirculação do efluente por meio da sucção pela tubulação inferior e a sua devolução com velocidade ao reator pela tubulação superior. Esta tubulação é em PVC e o diâmetro é de 3". A agitação dentro do reator é feita com auxílio de um sistema de distribuição do efluente entre os eletrodos. A Figura 18 apresenta com detalhe a tubulação em PVC perfurada.

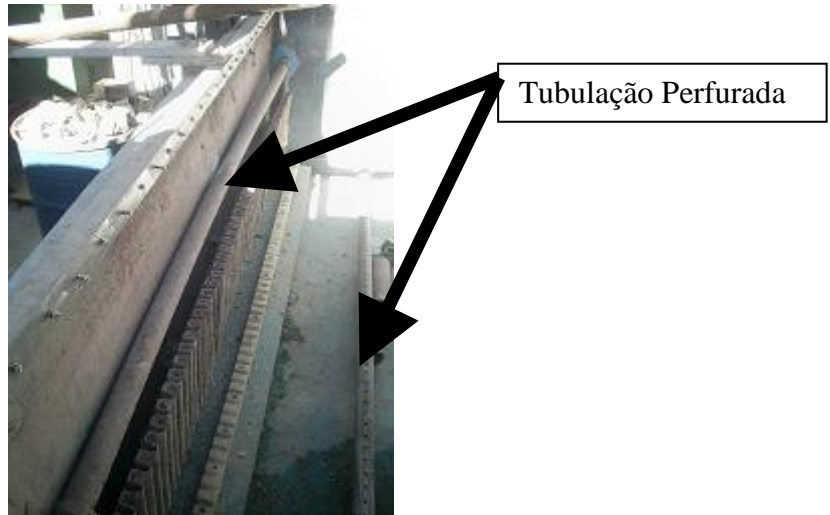


Figura 18 – Tubulação perfurada para distribuição e agitação do efluente no reator de eletrocoagulação.

Fonte: O Autor.

Esta tubulação perfurada promove uma distribuição do efluente bombeado continuamente durante a reação eletroquímica no reator. Isto se faz necessário para que exista agitação necessária para neutralização de cargas, melhorando o rendimento do reator.

Na reação de eletrocoagulação, por fim, ocorre a coagulação dos colóides presentes no efluente, sem a adição de nenhum produto químico ao mesmo.

Foi necessária ainda a utilização de uma segunda motobomba centrífuga, modelo JC-5 marca BBL, com potência de 5CV, e com rotação de 1750rpm (conforme a Figura 19) para recalque do efluente do reator eletroquímico para o decantador. .



Figura 19 – Motobomba JC-5 de 5CV de recalque do efluente do reator eletroquímico ao decantador

Fonte: O Autor.

Neste ponto o efluente já está coagulado, por isso a necessidade da rotação da motobomba ser de 1750rpm, dessa forma não ocorrerá o rompimento dos flocos presentes no efluente. A tubulação novamente utilizada foi de PVC e com diâmetro de 3”.

Com a formação dos flocos coagulados do efluente, a próxima etapa consiste na decantação que será apresentada a seguir.

4.1.4 Decantador

Segundo Richter & Azevedo Netto (1991), o dimensionamento de decantadores é baseado no tempo de detenção, sendo uma consequência da aplicação do conceito de taxa de escoamento superficial, com a fixação de uma velocidade longitudinal máxima admissível. Os resultados são melhores quanto menor for o número de Reynolds (Re), que é o coeficiente de escoamento laminar ou turbulento. Caracteriza-se um fluido com escoamento laminar com $Re < 2100$, e no caso do efluente avaliado tem-se recomendado um número de Re máximo de 500 ou, de preferência, menor que 250.

Desta forma com um escoamento laminar com um número de Re pequeno, a decantação ocorreu lentamente, e os sólidos em suspensão foram depositados no fundo do decantador, devido à geometria cônica, formando o lodo. Com isso, o efluente clarificado se formou na parte superior por meio de um sistema de vertedores, este clarificado foi coletado e conduzido a uma tubulação de saída. O decantador utilizado foi um já existente no curtume, sendo construído em alvenaria e com inclinação de 60° em relação à horizontal, conforme a Figura 20.



Figura 20 – Decantador existente na estação de tratamento de efluentes do curtume.

Fonte: O Autor.

O lodo decantado foi retirado do fundo do decantador por uma conexão de diâmetro 4” e por sucção da bomba pneumática de alimentação do filtro-prensa. O clarificado foi conduzido pela tubulação de PVC, de diâmetro de 2” por força da gravidade até um tanque de acúmulo de 5m³.

4.1.5 Filtro-prensa

Este equipamento (Figura 21) é utilizado para a separação sólido-líquido de uma mistura heterogênea com o auxílio de lonas filtrantes. Esta separação é realizada através do

bombeamento do lodo contra as lonas filtrantes que permitem apenas a passagem da parte líquida, que é drenada por canais presentes nas placas filtrantes. A parte sólida é, continuamente, depositada nas lonas formando, assim, uma camada cada vez mais espessa de sólidos sobre as mesmas. Esta deposição resulta em um lodo compactado que é chamado de “torta”, possuindo baixo nível de umidade. O bombeamento do lodo se dá por meio de uma bomba pneumática de duplo diafragma, que fornece uma pressão ao lodo de 8 kgf/cm². O fechamento do conjunto é feito por um cilindro hidráulico de 7” de diâmetro, mantendo as placas pressionadas uma contra a outra de forma que as mesmas não se separem quando submetidas à pressão de alimentação. A pressão hidráulica é obtida por meio de uma unidade de óleo eletro-hidráulica, onde uma bomba hidráulica de engrenagens pressuriza o óleo hidráulico para o pistão hidráulico, a uma pressão inicial de 180 kgf/cm². Resultando em uma força de fechamento do sistema hidráulico de mais de 44 ton, sendo o suficiente para suportar a força contrária de alimentação do lodo que se aproxima de 32 ton. Esta força de fechamento é necessária para que não ocorram vazamentos de lodo lateralmente às placas. Após a obtenção das “tortas” com baixo nível de umidade, o filtro-prensa é aberto recuando-se o cilindro hidráulico e retirando manualmente as tortas para seu devido descarte.

Os elementos filtrantes utilizados neste equipamento são em polipropileno multifilamento com permeabilidade ao ar de 1 a 3cfm. Os elementos filtrantes sofrem com a sua saturação, indicando que a sua permeabilidade está em níveis muito baixos. O nível de contaminação de um filtro prensa é considerado nível alto, maior que 10%. Por isso, quando se chega nestes níveis o tempo de filtração já está muito alto, e as “tortas” estão com alta umidade, sendo necessário proceder com a lavagem dos elementos filtrantes. Como o material é em polipropileno pode-se utilizar uma solução ácida, com pH oscilando de 2 a 3, para a lavagem, devendo-se fazer um banho de imersão por um tempo acima de 6 horas, e posteriormente utilizar um jato de água para remoção das partículas. Dessa forma os

elementos filtrantes estão limpos e com nível de saturação baixo, podendo ser utilizados novamente no equipamento.



Figura 21 – Filtro-prensa utilizado para remover umidade do lodo formado na eletrocoagulação.

Fonte: O Autor.

Este é um filtro-prensa de placas de dimensões 630mmx630mm, tem capacidade para 40 câmaras, porém somente estava sendo utilizado 10 câmaras, as demais estavam isoladas. A bomba de alimentação é pneumática, de diâmetro de conexões de 2”, sendo necessário utilizar a rede de ar comprimido da empresa para acionamento desta bomba.

A pressão utilizada para compactação do lodo pela bomba foi de 8 kgf/cm², e o tempo de filtragem foi de aproximadamente 60 min para obtenção das “tortas” suficientemente secas.

Geralmente em filtros-prensa a filtração eficiente com máxima compactação da “torta” (Figura 22) atinge concentrações de sólidos de até 80% ou mais, em função da mistura, correspondendo assim a uma redução de volume em 95%, resultando em filtrado límpido, isento de partículas sólidas, alcançando retenção de 99,8%;



Figura 22 – “Tortas” de lodo já devidamente acondicionadas em estrado de madeira e prontas para descarte.

Fonte: O Autor.

O filtrado escoa por uma calha lateral sendo conduzido até o tanque de acúmulo de 5m³ que também recebeu o clarificado do decantador, conforme a Figura 23.



Figura 23 – Tanque de acúmulo de efluente clarificado.

Fonte: O Autor.

Neste ponto o efluente já está tratado e clarificado, com características de uma água turva. Para proporcionar um polimento ao tratamento foram utilizados filtros de areia e carvão ativado, apresentados a seguir.

4.1.6 Filtros de areia e carvão ativado

Neste sistema o material utilizado como adsorvente foi a areia e o carvão ativado. Uma motobomba centrífuga, modelo JC-1, com potência de 1CV, rotação de 3500rpm, foi utilizada para bombear a água clarificada do tanque de armazenagem para os filtros. Primeiramente a água passou por dois filtros que possuem como meio adsorvente somente areia e, posteriormente, devido à pressão exercida pela motobomba, segue para os outros dois filtros que possuem como meio adsorvente somente carvão ativado (Figura 24). É necessário que esta motobomba forneça uma pressão ao líquido de, no mínimo, 2kgf/cm^2 para que o líquido seja forçado a permear pelo material adsorvente, fazendo a clarificação e filtração final.



Figura 24 – Filtros de areia (à esquerda) e carvão ativado (à direita) para polimento do efluente tratado por eletrocoagulação.

Fonte: O Autor.

A saturação do meio adsorvente aconteceu de forma bastante rápida, sendo sempre necessário fazer a retrolavagem dos filtros, que consiste em inverter o fluxo da água de cima para baixo, que é o fluxo normal de filtração, para de baixo para cima, retornando o efluente com as partículas sólidas para o reator eletroquímico, onde será novamente tratado. Este tipo de intervenção operacional é uma das desvantagens do processo. Porém, o resultado final é uma água clarificada com características muito próximas as da água captada da rede de abastecimento de água, que fornece água para o curtume.

A seguir serão apresentados os resultados das análises das amostras, e discussão a respeito da montagem do sistema no curtume.

4.2 Avaliações do dimensionamento e montagem do sistema

Todos os equipamentos utilizados apresentaram em um funcionamento adequado, para obter-se um efluente tratado com bons resultados.

Fica claro que, com esta configuração de equipamentos, a eficiência do sistema está de acordo com os objetivos, porém podem ser feitos alguns ajustes, melhorando o dimensionamento quanto à operação e ao custo dos equipamentos.

Primeiramente a peneira estática poderia ser de outro modelo, de tamanho menor, pois a folga de vazão existente para o sistema em questão está na ordem de cinco vezes maior do que a vazão possível de ser tratada, com isso poderia ser reduzido o custo deste equipamento. Outro fator importante, ainda em se tratando da peneira, é que esta necessita de limpezas constantes para retirada de sólidos grosseiros acumulados na tela de perfis trapeziformes, por isso, o ideal é utilizar um modelo de peneira tipo de escovas rotativas, que faz a limpeza automaticamente por meio de um motoredutor acoplado à peneira. Desta forma se reduziria em muito o custo de mão de obra operacional deste equipamento e conseqüentemente do sistema como um todo. A sua montagem foi bastante simples, porém como o espaço

disponível era restrito, o local para sua instalação foi necessário uma bomba submersa para o bombeamento do tanque de homogeneização / equalização até a peneira.

Os misturadores submersos para homogeneização / equalização estão dimensionados corretamente, devido à grande dimensão do tanque que já existia no curtume.

As bombas submersas de recalque foram dimensionadas em função da vazão da peneira, porém se caso optar-se por uma peneira de menor capacidade de vazão, conseqüentemente as bombas podem ser de menor vazão também, reduzindo o custo do sistema.

Como o reator eletroquímico foi fabricado em plástico reforçado com fibra-de-vidro (PRFV), pode-se optar por dimensões que tornem possível a sua montagem em um local bastante reduzido, logo abaixo do decantador já existente no curtume. Porém, como as bombas de recirculação de efluente e de recalque para o decantador, também foram superdimensionadas, pode-se reduzir a vazão destas bombas, com a instalação de inversor de frequência, para controle e redução da rotação, ou então simplesmente a redução do modelo da bomba e conseqüentemente a diminuição da potência do motor elétrico instalados. Deve-se avaliar esta escolha dependendo do nível de controle desejado para o sistema, pois a instalação de inversores de frequência é de custo elevado porém, permitem vários recursos adicionais de controle, reduzindo a necessidade de mão de obra operacional do sistema.

Antes do funcionamento do sistema e dos primeiros experimentos, não era conhecida a quantidade real de lodo gerado pelo sistema, dessa forma utilizou-se um filtro-prensa de 40 placas de 630 x 630 mm, com uma capacidade muito superior ao gerado pelo sistema. Foi reduzida à quantidade de placas até 10 placas, operando de forma adequada. Portanto recomenda-se utilizar um filtro-prensa de tamanho de placa menor ao escolhido, de preferência um de 400 x 400 mm, com quantidade de placas equivalente ao volume de lodo a ser filtrado.

Os filtros de areia e carvão ativado estavam dimensionados corretamente, porém a quantidade de tubulações necessárias para a sua instalação, e a rápida saturação do meio adsorvente, causa um custo elevado com a intervenção de mão de obra operacional, o que sugere que devem ser estudados outros métodos de polimento final do efluente que podem ser aplicados com melhores resultados operacionais, como ultrafiltração, osmose reversa, dentre outros. Esta escolha vai depender das características do efluente, de sua vazão e, principalmente, do custo ideal do sistema.

De uma forma geral é possível substituir os equipamentos por outros de capacidade menor para esta vazão proposta de $6\text{m}^3/\text{h}$ de tratamento de efluentes, com isso seria reduzido o custo inicial, tanto de instalação, quanto de operação do sistema.

Existem ainda outras possíveis configurações de equipamentos que podem ser testadas e aplicadas em estações de tratamento de efluentes de curtumes. Este trabalho é bem complexo e de grandes proporções deverá contar com o apoio de empresas e de universidades, assim como da sociedade em geral, para conseguir, em conjunto, melhorar as condições de tratamento da preciosa água, melhorando a qualidade de vida da população.

Em seguida estão apresentados os resultados das análises físico-químicas do efluente antes e após o tratamento no sistema desenvolvido de eletrocoagulação.

4.3 Resultados das análises

Foram coletadas cinco amostras de efluente bruto, e cinco amostras do efluente tratado pelo sistema de eletrocoagulação. A estação de tratamento convencional do curtume continuava operando em paralelo aos testes no sistema de eletrocoagulação, e foi coletada uma amostra do efluente tratado por este sistema convencional apenas para comparação

visual. As amostras do efluente bruto e do efluente tratado foram encaminhadas para análise em laboratório.

A Tabela 3 apresenta os resultados da média das cinco amostras, bem como remoção de diferentes parâmetros do efluente bruto em relação ao tratamento por eletrocoagulação.

Tabela 3 – Remoção de diferentes parâmetros do efluente.

Dados	Unidade	Valores do Efluente Bruto	Valores do efluente tratado com eletrocoagulação	Percentual de remoção
Cloreto	mg/L	1206,8	458,9	61,97%
DQO	mgO ₂ /L	4529,2	987,6	78,19%
Dureza	mgCaCO ₃ /L	896,7	45,8	94,89%
Nitrogênio total	mg/L	203,9	34,6	83,03%
Nitrogênio amoniacal	mg/L	105,5	18,9	82,09%

Observa-se, na Tabela 3, que a remoção dos poluentes do efluente foram elevadas, sendo apresentado a seguir a avaliação dos resultados das análises.

4.4 Avaliação dos resultados das análises

Para reuso de água no curtume, os parâmetros mais importantes são os teores de dureza e de cloretos, pois altos valores de dureza demonstram grandes quantidades de cálcio e magnésio que impedem o reuso, e estes elementos diminuem a penetração do cromo no couro. O parâmetro de teor de cloreto, para o reuso de água, é importante para se verificar uma baixa condutividade, pois altas concentrações iônicas em água geram problemas de afloramento de sais no couro acabado e ainda podem diminuir a fixação do corante.

O parâmetro Demanda Química de Oxigênio (DQO), que é a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica, através de um oxidante específico, também é importante para análise. Altas concentrações destes parâmetros também podem impedir o reuso de água principalmente por estar associada ao odor no couro produzido. Para o descarte nos recursos hídricos, o valor de DQO obtido com o sistema de tratamento ficou acima dos valores máximos estabelecidos pela Resolução CONSEMA 128º / 2006. Uma concentração abaixo do limite pode ser alcançada realizando ajustes no sistema, porém não foi necessária esta abordagem, pois o objetivo principal é o de reuso do efluente tratado, e para esta finalidade, a concentração de DQO pós-tratamento é aceitável.

Os parâmetros de Nitrogênio Total e Nitrogênio Amoniacal são importantes no sentido de descarte do efluente tratado nos recursos hídricos. Para reuso no processo industrial os valores destes parâmetros são variáveis dependendo de cada curtume. Para este sistema adotou-se os parâmetros conforme a Resolução CONSEMA Nº 128 / 2006, para os quais o efluente tratado atendeu plenamente os valores mínimos de remoção.

Estes resultados indicam que a água obtida após o tratamento pelo sistema é passível de ser testada e aplicada no processo produtivo do curtume. Possibilitando o reuso do efluente tratado como fonte alternativa de água no processo de recurtimento de peles realizado no curtume em que o sistema de eletrocoagulação foi implementado.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido e aplicado um sistema de eletrocoagulação para tratamento de efluentes de curtume utilizando eletrodos de alumínio.

Os equipamentos aplicados tiveram desempenho adequado para o bom funcionamento do sistema, e a sua montagem e instalações estiveram de acordo com o objetivo.

A taxa de remoção para todos os parâmetros investigados demonstrou que o efluente tratado por meio da eletrocoagulação, reduziu os percentuais acima de 60%, atingindo eficiência adequada para descarte nos corpos hídricos. Comparando com o tratamento de efluentes convencional os resultados foram acima do esperado.

O tratamento por eletrocoagulação possibilitou uma redução no volume de água captada, reduzindo custos, e no volume de efluentes tratado a ser descartado. O processo de eletrocoagulação ainda reduz os custos com a compra de produtos químicos para a estação de tratamento de efluentes.

Para trabalhos futuros sugere-se uma avaliação no consumo energético e na taxa de consumo dos eletrodos para cálculo de custos de tratamento.

A partir dos resultados apresentados, observa-se que a tecnologia produz uma água tratada de qualidade adequada, permitindo o seu reuso e viabilizando o processo de curtimento do couro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASANO, T., **Plating and Implementation of water reuse projects**, **Water Science and Technology**, vol 24, p 1-10, 1991.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993.

CBH-PARANAÍBA. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba**. Acesso Agosto/2012. <http://www.paranaiba.cbh.gov.br/Noticias.aspx>

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Nota técnica sobre tecnologia de controle: curtumes - NT 14**, São Paulo (SP), 1989.

CHEN, G.; **Electrochemical technologies in wastewater treatment, Separation and Purification technology**, article in press, 2003.

CLAAS, I. C.; MAIA, R. A. M., **Manual básico de resíduos industriais de curtume**. SENAI-RS, Porto Alegre, 1994.

CRESPILHO, F. N.; REZENDE, M.O.O., **Eletroflotação: Princípios e Aplicações**. Editora Rima, São Carlos, 1ª Ed. 96p., 2004.

DANTAS NETO, J. **Uso eficiente da água: aspectos teóricos e práticos**. Edição eletrônica gratuita, 2008. Texto completo em www.eumed.net/libros/2008c/447/

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª Edição. São Carlos: RiMa, 2005.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M.. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

FORNARI, M. M. T., **Aplicação da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de curtume**. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, PR, 2008.

HENRIQUES, D. M.. **Degradação de nonilfenol polietoxilado e de efluente têxtil por meio de eletrocoagulação e processos fenton**. Dissertação de Mestrado - Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, RS, 2004.

HOLT, P., **A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation**, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects (2002). vol 211, p. 233-248.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Acesso em Setembro/2012.
<http://www.ibge.gov.br/>

JOST, P. T.. **Tratamento de efluentes de curtumes**. Rio de Janeiro: CNI-DAMPI, 1990.

KOBYA, M; CAN, O. T.; BAYRAMOGLU, M; **Treatment of textile wastewater by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes**, Journal of Hazards Materials, v. B100, p.163-178, 2003.

KURITA HANDBOOK OF WATER TREATMENT. **KURITA HANDBOOK OF WATER TREATMENT**. 2ª Ed. Tokyo. Kurita Water Industries Ltd. 1999.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica de São Paulo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1987.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reuso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003.

Manual de Lodos Ativados – Acqua Engenharia - 2010. Acesso em Setembro/2012.
<http://www.acquaeng.com.br/wp-content/uploads/2010/01/manualodosativados1.pdf>

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MOLLAH, M.Y.A.; MORKOVSKY P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L., **Fundamentals, present and future perspectives of eletrocoagulation**. Journal of Hazardous Materials, v. B114, p. 199-210, 2004.

MURUGANANTHAN, M; RAJU, G. B.; PRABHAKAR, S., **Separation of pollutants from tannery effluents by electro flotation**. Separation and Purification Technology, v. 40, n.1, p. 69-75, 2004.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 5ª Edição. Sergipe: Info Graphics Gráfica e Editora Ltda., 2008.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 1991.

RS, Conselho Estadual do Meio-Ambiente, CONSEMA, Resolução nº 128 - 2006 - **Fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos** - Acesso em Outubro/2012. <http://www.fepam.rs.gov.br/consema/consema.asp>

SCHNEIDER, T. **Aplicação de tecnologias limpas para remoção de nitrogênio em efluentes de curtumes**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Industrial Química. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, 2009.

SILVA, A. L. C., **Processo eletrolítico: Uma alternativa para o tratamento de águas residuárias**. 2002, 60f. Monografia de Especialização em Química Ambiental, Universidade do estado do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SOSSMEIER, L. T.. **Aplicação da eletrocoagulação ao tratamento de efluente de galvanoplastia**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Mestrado em Qualidade Ambiental. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, 2009.

SURESH, V.; KANTHIMATHI, M.; THANIKAIVELAN, P.; RAO, J.; J.R and NAIR, B. U. **An improved product-process for cleaner chrome tanning in leather processing.** Journal of Cleaner Production 9, p. 483-491, 2001.

THORSTENSEN, T. C. **Fundamentals of Pollution control for the leather industry.** Shoes Trades Publishing Co., Arlington, MA: p.1-4. 1997.

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ª Edição – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.