

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL  
BACHARELADO EM ENGENHARIA TÊXTIL**

**FERNANDA BERTHONI DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DOS PROCESSOS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES DE CURTUME**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**APUCARANA**

**2017**

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL  
BACHARELADO EM ENGENHARIA TÊXTIL**

**FERNANDA BERTHONI DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DOS PROCESSOS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES DE CURTUME**

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil, da Coordenação do Curso de Engenharia Têxtil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Ana Cláudia Ueda.  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Maria Ferrari Lima.

**APUCARANA**

**2017**



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Apucarana



COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título do Trabalho de Conclusão de Curso:**

**Análise dos processos de uma estação de tratamento de efluentes de curtume**

por

FERNANDA BERTHONI DE OLIVEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos sete dias do mês de junho do ano de dois mil e dezessete, às quinze horas e cinco minutos, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Têxtil do curso de Engenharia Têxtil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi arguida pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

PROFESSOR(A) ANA CLÁUDIA UEDA – ORIENTADOR

---

PROFESSOR (A) LEANDRO VICENTE GONÇALVES – EXAMINADOR(A)

---

PROFESSOR(A) VALQUIRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO –  
EXAMINADOR(A)

\*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## RESUMO

OLIVEIRA, Fernanda Berthoni de. **Análise dos Processos de uma Estação de Tratamento de Efluentes de Curtume**. 2017. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2017.

A crescente preocupação com as questões ambientais levou muitas empresas a procurarem alternativas para minimizar os impactos causados por suas atividades produtivas, entre elas a indústria do curtume. Este segmento é conhecido devido ao alto volume de água utilizado no processo e, conseqüentemente, a grande quantidade de efluente com elevada carga poluente, esta proveniente da limpeza das peles e do beneficiamento do couro. Sendo indispensável o tratamento eficiente deste tipo de efluente, visando minimizar os impactos ambientais, assim como garantir o cumprimento da legislação vigente. Diante deste contexto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o processo de manufatura do couro, a utilização de insumos, a geração de efluentes e as técnicas de tratamento empregadas. O estudo teve início com uma visita ao curtume Apucarana Leather, localizado na cidade de Apucarana, no norte do Paraná, na qual foi feita uma análise dos processos efetuados na estação de tratamento de efluentes da empresa, para comparar com dados da literatura, verificando métodos alternativos de tratamento com maiores vantagens do ponto de vista ambiental.

**Palavras-chave:** Indústria do Couro. Estação de Tratamento de Efluentes de Curtumes. Métodos Alternativos de Tratamentos.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Fernanda Berthoni de. **Analysis of the Processes of a Tannery Effluents Treatment Plant.** 2017. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil) - Federal Technology University of Paraná. Apucarana, 2017.

The growing concern about environmental issues has led many companies to seek alternatives to minimize the impacts caused by its production activities, including the tannery industry. This segment is known due to the large volume of water used and the amount of pollution load generated from the cleaning of fur and beneficiation process of leather. According to this context, a bibliographical research on the process of manufacture of leather, as well as the use of inputs, waste generation and the possible treatment techniques was made. The study started with a visit to the Apucarana Leather tannery, located in Apucarana city, North of the state of Paraná, in which an analysis of the processes carried out in the company's effluent treatment station, to compare with data from the literature, verifying alternative treatment methods with greater advantages from the environmental point of view.

**Keywords:** Leather Industry. Treatment Plant for Tannery Effluents. Alternative Treatment Methods.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do Processamento do Couro.....	13
Figura 2 – Processos de Tratamentos de Efluentes.....	22
Figura 3 – Pré-tratamento de Efluentes de Curtumes.....	23
Figura 4 – Tratamento Primário de Efluentes de Curtumes. ....	24
Figura 5 – Fluxograma Representativo das Etapas do Trabalho. ....	29
Figura 6 – Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes do Curtume Apucarana Leather. ....	32
Figura 7 – Lagoa de Desnitrificação do Curtume Apucarana Leather.....	34
Figura 8 – Lagoa de Estabilização do Curtume Apucarana Leather. ....	35
Figura 9 – Processo de Remoção dos Parâmetros pelo Método de Clarificação Química.....	37
Figura 10 – Análise de Remoção dos Parâmetros para os Ensaios de Coagulação.....	39
Figura 11 – Estação de Tratamento de Efluentes de um Curtume.....	43
Figura 12 – Separação por Filtros de Membranas. ....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo Médio de Água em Curtumes.....	18
Tabela 2 – Geração de Efluentes Líquidos de Curtumes (m <sup>3</sup> efluentes / t de couro processado).....	20
Tabela 3 – Comparativo com Literatura quanto a Utilização de Coagulantes.....	36
Tabela 4 – Eficiência de Remoção dos Parâmetros Analisados pelos Coagulantes.	38
Tabela 5 – Comparativo com Literatura quanto ao Processo de Remoção de Nitrogênio.....	41

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
1.1	Justificativa	9
1.2	Definição e Delimitação do problema	9
1.3	Objetivos	10
1.3.1	Objetivo Geral	10
1.3.2	Objetivos Específicos	10
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>11</b>
2.1	Indústria do Couro	11
2.1.1	História	11
2.1.2	O Processamento do Couro	12
2.1.3	Insumos Utilizados	18
2.1.4	Resíduos Gerados	19
2.2	Sistema de Tratamento de Efluentes	21
2.2.1	Caracterização do Efluente	22
2.2.2	Tratamento Preliminar ou Pré-tratamento	23
2.2.3	Tratamento Primário ou Físico-químico	24
2.2.4	Tratamento Secundário ou Biológico	26
2.2.5	Tratamento Terciário ou Avançado	26
2.3	Questão Ambiental	27
2.3.1	Poluição Hídrica	27
2.3.2	Legislação	28
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>31</b>
4.1	O Curtume Apucarana Leather	31
4.2	Estação de Tratamento de Efluente do Curtume Apucarana Leather	31
4.3	Comparativo com a Literatura	36
4.3.1	Uso de Coagulantes	36
4.3.2	Processo de Desnitrificação	40
4.3.3	Sistema de Lodo Ativado	42
4.4	Sugestões de Novas Formas de Tratamento	44
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>50</b>
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51





## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e frequentes, principalmente devido ao crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial. Devido a estes fatores, os problemas relacionados à ação antrópica têm atingido dimensões catastróficas, podendo ser observadas por meio de alterações na qualidade do solo, ar e água (KUNZ *et al.*, 2002).

De acordo com Jordão *et al.* (1999), a maior parte dos impactos ambientais causados pela sociedade contemporânea, seja de países desenvolvidos ou em desenvolvimento, tem sua gênese no setor industrial. As indústrias são consumidoras assíduas dos recursos naturais, além de grandes produtoras de resíduos, os quais, geralmente, são descartados no meio ambiente – no estado *in natura* ou ineficientemente tratados – em especial, nos ecossistemas aquáticos.

Diante desta situação, o segmento têxtil apresenta destaque, uma vez que seu parque industrial instalado é responsável por gerar altos volumes de efluentes, os quais, quando não corretamente tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental (KUNZ *et al.*, 2002). Segundo Choy, Porter e McKay (2004), em escala mundial, cerca de 800 toneladas/dia de corantes são lançadas no meio ambiente pelas indústrias de couros, têxteis e de celulose, principalmente na forma dissolvida ou suspensa em água, causando um grande impacto no ambiente. Sendo que, os processos atuais de tratamento de efluentes são capazes de remover apenas a metade desses corantes produzidos.

A indústria do couro é um segmento industrial importante para a economia no Brasil. Conforme CICB (Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil, 2016), o país é um dos maiores produtores de couro do mundo, com forte inserção nos segmentos moveleiro, calçadista e automotivo. O setor do couro emprega atualmente mais de 50 mil trabalhadores e, parte desse contingente, dedica-se exclusivamente a ações para o tratamento das águas e o descarte adequado de resíduos, o que tem gerado resultados significativos nas últimas décadas.

Todo o processo produtivo do couro curtido consome grande quantidade de água e, por conseguinte, também gera expressiva quantidade de resíduos sólidos e efluentes líquidos (PASCOAL *et al.*, 2007). De modo geral, os curtumes são indústrias que causam elevado impacto ambiental, uma vez que empregam elevada quantidade

de água nos processos e geram um volume significativo de efluente com altas concentrações de contaminantes.

### **1.1 Justificativa**

Na indústria do couro, para produção de um único item utilizam-se aproximadamente 600 litros de água. Da pele esfolada até o produto acabado podem ocorrer mais de 20 reações químicas tanto de origem orgânica como inorgânica (HOINACKI *et al.*, 1989).

Diante destas características, o processo de curtimento corresponde a um segmento industrial que merece atenção, em especial quanto ao tratamento dos efluentes gerados. Para isso, as empresas tem procurado controlar essa eficiência de tratabilidade, por meio de acompanhamento de todas as etapas, bem como da remoção de determinados contaminantes, a fim de minimizar os problemas ambientais quando realizado o lançamento do efluente no corpo receptor.

### **1.2 Definição e Delimitação do problema**

A poluição das águas origina-se de várias fontes, dentre as quais se destacam os efluentes industriais, que contêm uma considerável quantidade e variedade de substâncias químicas que afetam a saúde pública e o meio ambiente, caso sejam lançados nos corpos d'água sem um tratamento adequado (FUNGARO; IZIDORO; BRUNO, 2009).

Entre os segmentos industriais que mais impactam o ambiente, está a indústria do couro, sendo esta responsável por consumir um grande volume de água e produzir efluentes com alta carga de poluentes. Devido a esta preocupação com a questão ambiental, o presente trabalho busca analisar o tratamento de efluentes realizado por um curtume localizado na cidade de Apucarana, no norte do Paraná. O estudo pretende descrever as técnicas de tratamento de efluentes utilizadas pelo curtume, bem como sugerir métodos alternativos de tratamento com maiores vantagens do ponto de vista ambiental.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral identificar os métodos de tratamento empregados por uma estação de tratamento de efluentes de um curtume.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento das atividades desenvolvidas no curtume, a fim de conhecer o processo industrial e os insumos utilizados;
- identificar o fluxograma geral do processo de tratamento de efluentes efetuado pelo curtume;
- efetuar uma análise comparativa, com base em outros trabalhos, sobre as etapas do tratamento primário e secundário desenvolvidas pelo curtume;
- sugerir métodos alternativos de tratamento com menores impactos ambientais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Indústria do Couro

Nas últimas décadas, houve um aumento mundial na produção de couros, o que resultou no deslocamento da base produtiva dos países desenvolvidos para os países em desenvolvimento, entre eles o Brasil (GUTTERRES, 2003). Segundo dados da Associação Brasileira dos Químicos e Técnicos da Indústria do Couro (ABQTIC) (2012), o território nacional possui um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, sendo um grande produtor mundial de couros: cerca de 43 milhões de couros bovinos, aproximadamente 14% da produção mundial, em 2011.

O Brasil tem grande potencial de crescimento neste mercado em razão da disponibilidade de área de baixo custo, clima favorável, raças adaptadas e a adoção de novas tecnologias de manejo e melhoria genética, podendo assim consolidar a posição do país como um dos mais importantes no mercado internacional de couros (ROPKE; PALMEIRA, 2006). De acordo com Câmara e Gonçalves Filho (2007), dentro do território nacional, a indústria do couro tem sua maior parte localizada na região sul e sudeste do país. Esta localização deve-se ao fato das regiões apresentarem rebanhos e frigoríficos, além da existência de incentivos e de outras condições favoráveis (RAMOS *et al.*, 2007).

Para o CICB (Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil, 2016), a cadeia produtiva brasileira do couro é um dos grandes motores da economia, conforme se observa nos seus indicadores de desempenho: o país conta com mais de 700 empresas ligadas à cadeia do couro, desde organizações familiares, até curtumes médios e grandes conglomerados corporativos do setor, sendo esse couro exportado para 80 países, entre eles China, Itália e Estados Unidos. Tal indústria também movimenta cerca de US\$ 3,5 bilhões a cada ano.

#### 2.1.1 História

A utilização dos têxteis para agasalhar o corpo humano teve início com os primórdios e fez parte do progresso da humanidade. Desde a pré-história, os homens sacrificavam os animais para se alimentarem e aproveitavam suas peles para a manufatura de diversos produtos (BRITO, 2013). A arte do curtimento, foi descoberta

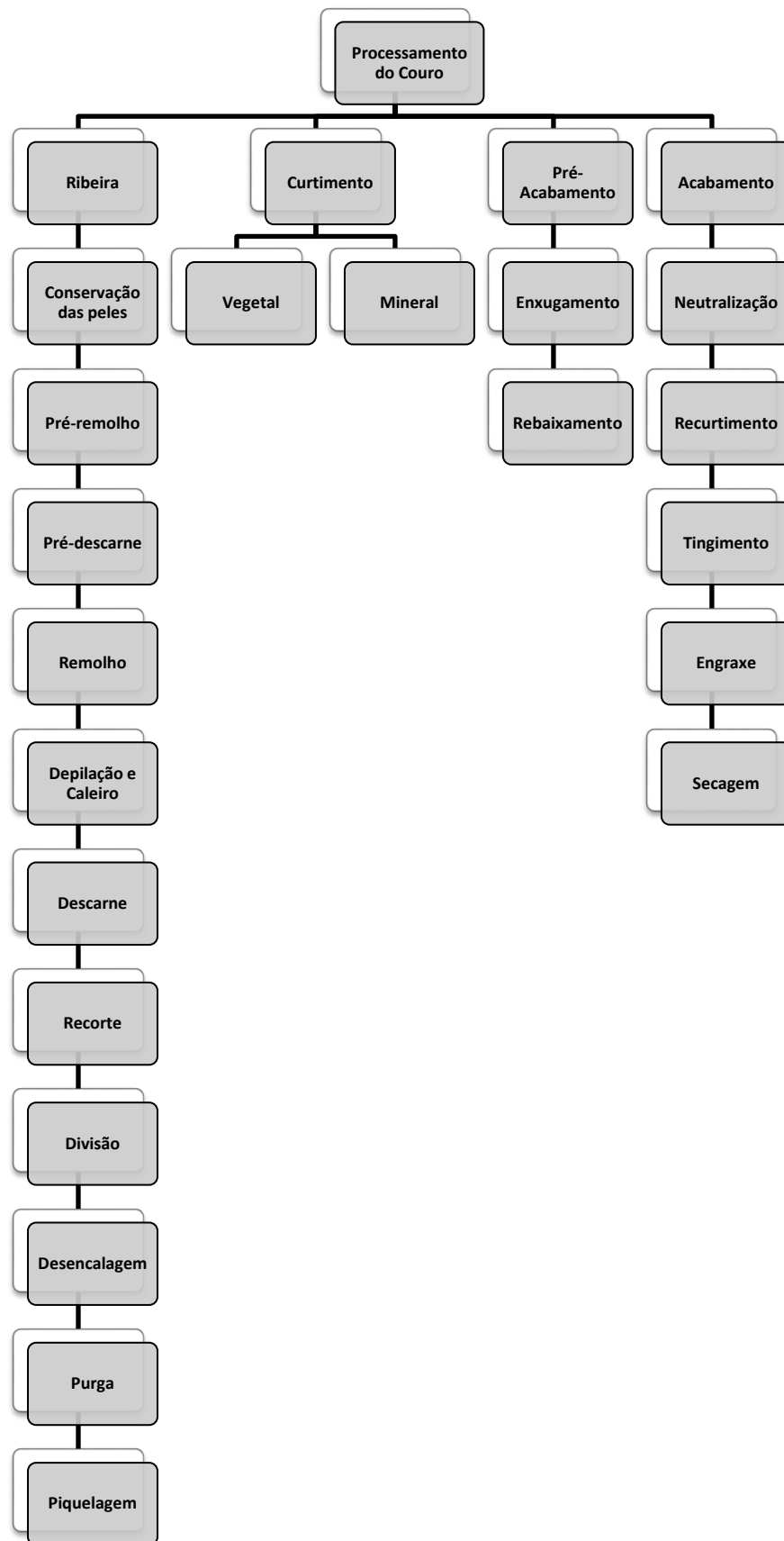
pelos homens das cavernas quando, por acidente, abandonando restos de pele de caça em contato com toras de lenha ricas em taninos vegetais, verificou-se sua transformação em uma substância que não entrava em decomposição e era durável, denominada posteriormente, como couro curtido. Entretanto, vários indícios revelam que as primeiras peles foram curtidas por mulheres, uma vez que, quando o couro era retirado pelos caçadores cabia a elas aproveitarem os restos de carnes aderidas ao animal (ANUSZ, 1995).

De acordo com Scapini (2007), o processo de fabricação do couro foi transmitido de geração para geração, tendo como base a experiência dos antepassados, os quais o utilizavam para a fabricação de vários utensílios, como selas de montar, escudos, armaduras, roupas, camas e almofadas, embarcações, recipientes para conter água, azeite e vinho, ou ainda, como uma forma de vestimenta para a proteção dos ataques da própria natureza. Entretanto, Gutterres (2005) afirma que, tal produção, apesar de sua origem remota, foi submetida a diversas modificações, oriundas da inserção de novas tecnologias, das exigências de qualidade e alternativas de fabricação com maior sustentabilidade, buscando acompanhar a produção industrial e o cenário de competitividade global.

### 2.1.2 O Processamento do Couro

O processamento do couro pode variar de curtume para curtume dependendo do tipo de produto final a ser obtido (SAUER, 2006). Sendo que, este processo consiste em transformar a pele verde ou salgada dos animais em couro (AQUIM; GUTTERRES; TESSARO, 2004). Tal operação requer uma variedade de processos físicos, químicos e mecânicos, realizados em etapas sequenciais de trabalho. Em geral a transformação da pele em couro compreende 4 etapas essenciais: operação de ribeira, curtimento, pré-acabamento e acabamento (HOINACKI; MOREIRA; KIEFER, 1994).

Na Figura 1 é apresentado o fluxograma que esquematiza este processo de fabricação do couro, tendo como base as etapas mencionadas.



**Figura 1 – Fluxograma do Processamento do Couro.**  
 Fonte: adaptado de RAMOS *et al.* (2007).

### 2.1.2.1 Ribeira

A atividade inicial é a ribeira, a qual pode ser dividida em uma série de operações cuja finalidade é a preparação das peles para a etapa de curtimento. Na ribeira ocorre a limpeza em si, por meio da retirada da epiderme, dos pêlos e do tecido subcutâneo (LIGER, 2012). Para Claas e Maia (1994) esta fase é composta pelos seguintes processos: conservação das peles, pré-remolho, pré-descarne, remolho, depilação e caleiro, descarne, recorte, divisão, desencalagem, purga e piquelagem.

Os mesmos autores ressaltam que a etapa de conservação das peles tem como função evitar a decomposição, sendo responsável por manter as peles hidratadas, impossibilitando o desenvolvimento de bactérias e da ação enzimática. O agente mais utilizado nesta etapa é o sal. Em seguida, para a remoção deste sal, ocorre o pré-remolho, a fim de preparar as peles para o pré-descarne e para promover a reposição de parte da água perdida. No pré-descarne é realizada uma operação mecânica, com o objetivo de cortar a parte inferior das peles, em especial, resíduos de gordura, restos de carne ou fibras.

A etapa seguinte é o remolho, no qual a finalidade é a retirada do sal, das impurezas e a reidratação da pele (RIBA; MIRÓ, 2007). Para Adzet *et al.* (1985), este processo procura repor 60% da água da pele, perdida por ocasião da desidratação sofrida na sua conservação com sal. Posteriormente, ocorre a depilação e caleiro, processos nos quais se utilizam cal e sulfeto de sódio, para remover os pêlos restantes e o sistema epidérmico, além de preparar as peles para as operações seguintes (CLAAS; MAIA, 1994).

Após esta fase, com a finalidade de eliminar os resíduos ainda presentes da etapa de pré-descarne, é efetuado o descarne. De acordo com Hoinacki *et al.* (1989), tal processo é uma operação mecânica que visa à eliminação de restos de carne e gorduras aderidas à pele do animal.

Na sequência das operações, ocorre o recorte e a divisão, sendo o primeiro responsável por aparar a pele e o segundo, por dividir a pele em duas camadas, a camada superficial denominada flor e a camada inferior, chamada de crosta ou raspa (CLAAS; MAIA, 1994). Conforme os mesmos autores, a próxima etapa é a desencalagem, na qual é realizada a remoção de substâncias alcalinas, tanto as que se encontram depositadas, como as quimicamente combinadas em peles submetidas às operações de depilação e caleiro. O processo utiliza reagentes químicos que



reagem com a cal, dando origem a produtos de grande solubilidade, facilmente removíveis por lavagem, também podendo ser empregados sais e ácidos orgânicos.

Na etapa de finalização dos procedimentos sucedidos na ribeira, ocorre a purga. Tal operação tem como finalidade tratar as peles com enzimas proteolíticas, visando à limpeza da estrutura fibrosa, principalmente de materiais queratinosos, gorduras, bulbos pilosos e outras substâncias indesejáveis retidas entre as fibras colágenas (HOINACKI; MOREIRA; KIEFER, 1994).

Por sua vez, a piquelagem é a última operação da ribeira, que compreende a imersão da pele em ácido forte, em presença de sal, geralmente, ácido sulfúrico, cloreto de sódio ou sal marinho, o que assegura a conservação do substrato e faz a preparação para que o mesmo entre em contato com o agente curtente (LIGER, 2012).

#### 2.1.2.2 Curtimento

Hoinacki *et al.* (1989) relata que o curtimento é a transformação das peles em um material estável, que a torna resistente à decomposição, recebendo o nome de couro. Apesar do grande número de substâncias orgânicas e inorgânicas, é baixo o percentual destas capazes de agirem como curtentes. Segundo Claas e Maia (1994), entre os curtentes orgânicos, estão os taninos vegetais, e como curtentes inorgânicos, os sais de cromo, zircônio, alumínio e ferro. De acordo com a utilização destes curtentes, a etapa de curtimento pode ser dividida em duas categorias: curtimento vegetal e curtimento mineral.

O curtimento vegetal tem como base o uso de taninos naturais, que podem ser encontrados em diversas partes dos vegetais, como na casca do carvalho e da mimosa, nas folhas de sumagre e do lentisco, nas raízes do urse, entre outros (COUTO FILHO, 1999). Para Ferreira (2011), o couro resultante deste tipo de curtimento é rígido, porém menos resistente quando comparado ao couro do curtimento mineral, devido a este motivo, muitas vezes ele não atende às exigências do mercado da moda. No entanto, a grande vantagem deste tipo de curtimento é que, por tratar-se de um material orgânico natural, ele torna-se de fácil manejo no que se refere à poluição ambiental.

No curtimento mineral, o principal curtente utilizado são os sais de cromo. Para Hoinacki *et al.* (1989), o couro curtido deste processo apresenta excelentes qualidades, devido a sua maciez, finura e lisura, sendo que as principais vantagens

estão relacionadas a redução do tempo de curtimento e a obtenção de um produto com maior resistência ao calor e ao desgaste.

### 2.1.2.3 Pré-acabamento e Acabamento

Após o curtimento, as próximas etapas são o pré-acabamento e o acabamento. O acabamento tem como principal objetivo dar o aspecto final ao couro, conferindo determinadas qualidades que não foram dadas até então, tais como: resistência interfibrilar, maciez, elasticidade, cor e brilho (HOINACKI *et al.*, 1989). Esta etapa visa tornar o couro mais maleável, a fim de trabalhá-lo para obter a estética desejada. Por isso, os processos que constituem o acabamento variam de acordo com o aspecto final do produto, bem como a finalidade a qual ele será destinado, seja a indústria de vestuário, calçados, acessórios, automóveis etc (BRITO, 2013).

Antes de iniciar as operações de acabamento, o couro é submetido a operações mecânicas, na fase denominada como pré-acabamento, as quais compreendem ao enxugamento e rebaixamento (HOINACKI *et al.*, 1989). De acordo com Claas e Maia (1994), o enxugamento consiste em um conjunto de atividades que procura remover o excesso de água presente no couro. Após esta etapa, eles são deixados em repouso por um determinado tempo para readquirir sua espessura normal, podendo ainda, sofrer a operação de rebaixamento, que visa garantir a igualação desta espessura.

O acabamento tem início no processo de neutralização. Para Hoinacki *et al.* (1989), a operação elimina os ácidos livres existentes nos couros de curtimento mineral ou formados durante o armazenamento. Sendo que, os agentes de neutralização podem ser sais de ácidos fracos (bicarbonato de sódio e carbonato de sódio), agentes complexantes (polifosfatos, acetatos e formiatos) ou sais de tanino sintético (na forma de sais de amônio ou de sódio) (CLAAS; MAIA, 1994).

Em seguida, ocorre o recurtimento, que visa completar o curtimento e proporcionar características finais ao couro. Podendo ser realizado com curtentes minerais ou vegetais. Este processo define certas características físico-mecânicas do couro, tais como maciez, elasticidade, enchimento e toque. Sendo os produtos mais utilizados nesta fase o formiato de sódio, cromo, taninos vegetais e resinas (HOINACKI *et al.*, 1989).

Claas e Maia (1994) afirmam que, posteriormente é realizada a etapa de tingimento, a qual tem como objetivo dar cor ao couro. São utilizados corantes de caráter químico aniônico e catiônico. Para alta penetração do corante o processo usa 30% de água sobre a massa de couros, enquanto que, para tingimentos leves, o

volume pode variar de 50 a 100%. Por fim, as últimas etapas do processo de acabamento são o engraxe e a secagem. As fibras do couro ficam envolvidas pelo material de engraxe, que funcionam com lubrificante, evitando a aglutinação das mesmas durante a secagem (HOINACKI *et al.*, 1989).

### 2.1.3 Insumos Utilizados

Durante todas as operações de manejo das peles em um curtume, existe uma grande utilização de insumos, os quais correspondem a entradas que viabilizam a ocorrência dos processos, entre eles, os mais utilizados são: água, energia e produtos químicos (PACHECO; FERRARI, 2014).

De acordo com os mesmos autores, o volume de água utilizado pode variar, em função das diferentes matérias-primas, dos processos e das práticas operacionais e de gerenciamento, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Consumo Médio de Água em Curtumes.**

<b>Etapas do Processo</b>	<b>Consumo de Água (<math>m^3/t</math> pele salgada)</b>
<b>Ribeira</b>	7-25
<b>Curtimento</b>	1-3
<b>Pré-acabamento</b>	4-8
<b>Acabamento</b>	0-1
<b>TOTAL</b>	12-37

Fonte: adaptado de IULTCS (2008).

Desta forma, mediante as etapas do processamento do couro, verifica-se que a água é um insumo importante nas operações. Pacheco e Ferrari (2014) afirmam que, pode-se considerar um consumo médio de 500 litros água/pele salgada para os curtumes nacionais. Assim, um curtume integrado de processo convencional que processe 3 mil peles salgadas por dia, consumiria, em média, aproximadamente 1,5 mil  $m^3$  água/dia, equivalente ao consumo diário de uma população de cerca de 8,3 mil habitantes, considerando-se um consumo médio de 180 litros de água/habitante dia.

A energia corresponde a outro insumo de extrema importância no processo de curtimento. Segundo Pacheco e Ferrari (2014), a energia consumida pelos curtumes, depende de aspectos como capacidade produtiva, estado dos equipamentos, tipos de tratamentos de efluentes, existência de práticas para a eficiência energética, entre outros fatores. Diante disto, a faixa de variação de consumo é muito ampla, estando diretamente relacionada com a quantidade de pele salgada.

Por sua vez, os produtos químicos também correspondem aos insumos que viabilizam o processo de obtenção do couro, os quais podem variar conforme a etapa produtiva. Como por exemplo, na conservação de peles, onde o insumo mais utilizado é o cloreto de sódio, além de alguns inseticidas, fungicidas e bactericidas. Enquanto que, no geral, abrangendo todas as atividades desempenhadas na ribeira, podem ser empregados diversos tipos de produtos como álcalis, hipoclorito de sódio, ácidos graxos, soda cáustica, sulfeto de bário, diversos tipos de ácidos, enzimas e variados tipos de solventes (CLASS; MAIA, 1994; PACHECO, 2005).

Os autores ainda caracterizam o processo consecutivo, de curtimento, por meio do uso de produtos como o sulfato básico complexo de  $\text{Cr}^{+3}$ , sais diversos, agentes basificantes, enxaguantes, fungicidas, resinas, taninos e branqueadores. Além disso, na etapa final de acabamento utilizam-se diversos sais, taninos, agentes complexantes, corantes, enxofre, óleos animais, vegetais e minerais, polímeros termoplásticos, tintas e solventes.

#### 2.1.4 Resíduos Gerados

Segundo Claas e Maia (1994), a poluição causada pelos curtumes está diretamente relacionada à geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos. Pacheco (2005) ressalta que, entre os principais resíduos sólidos provenientes do curtume, estão o sal, as aparas de peles, a carnaça (restos de gorduras e carne), as aparas e farelos de couro curtido e os lodos da estação de tratamento de efluentes. Enquanto que, os efluentes líquidos são gerados em quase todas as etapas de processamento do couro, sendo seu volume muito próximo do total de água que entra no sistema.

A Tabela 2 apresenta a distribuição da geração de efluentes líquidos no processo de obtenção do couro.

Tabela 2 – Geração de Efluentes Líquidos de Curtumes ( $m^3$  efluentes / t de couro processado).

Macro etapa do Processo	Etapa de Processo	Efluentes Gerados	
		$m^3/t$	% do total
Ribeira	Conservação das peles	-	-
	Pré-remolho	1,2	8,35
	Pré-descarne/Lavagem	2,0	13,91
	Remolho	1,2	8,35
	Depilação/Caleiro	0,6	4,17
	Descarne, Recorte e Divisão	2,9	20,18
	Desencalagem e Purga	2,9	20,18
<b>TOTAL</b>		<b>10,8</b>	<b>75,14</b>
<b>Curtimento</b>	Piquelagem e Curtimento	1,2	8,35
<b>Pré-acabamento</b>	Enxugamento e Rebaixamento	0,45	3,13
<b>Acabamento</b>	Neutralização	0,23	1,60
	Recurtimento	0,23	1,60
	Tingimento	0,45	3,13
	Engraxe	0,23	1,60
	Secagem	0,78	5,42
<b>TOTAL</b>		<b>3,57</b>	<b>24,50</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>14,37</b>	<b>100,00</b>

Fonte: baseado em CLAAS; MAIA (1994), atualizado por FERRARI (2009 *apud* PACHECO; FERRARI, 2014), modificado pela autora (2016).

Como ilustrado na Tabela 2 e ressaltado por Pacheco (2005), o conjunto de etapas da ribeira é o que gera a maior quantidade de efluentes líquidos. Este efluente tem caráter altamente alcalino devido à grande quantidade de cal hidratada utilizada no caleiro. Além da cal, também estão presentes elementos como pêlos, gorduras, carnes e sangue, bem como materiais em suspensão, sais, aminoácidos diversos, aminas e, eventualmente, alguns biocidas.

De acordo com este contexto e como apresentado por Pacheco e Ferrari, (2014), os efluentes líquidos provenientes das operações de curtimento e piquelagem contêm, principalmente, sal (cloreto de sódio), ácidos minerais (sulfúrico e clorídrico), orgânicos (lático e fórmico), cromo e/ou taninos (orgânicos polifenólicos), proteínas e alguns fungicidas (orgânicos aromáticos), em pequenas quantidades. Geralmente são águas turvas, de cor verde escura (curtimento com cromo) ou castanhas (curtimento com taninos), que apresentam pH ácido, podendo ter altas concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), conforme o curtente utilizado.

As etapas de pré-acabamento e acabamento possuem uma baixa geração de efluentes líquidos quando comparados à ribeira, sendo que o efluente resultante destas operações pode conter substâncias como sais diversos, cromo, taninos, graxas, corantes e alguns solventes (PACHECO, 2005).

## **2.2 Sistema de Tratamento de Efluentes**

O tratamento de efluentes industriais envolve processos necessários à remoção de impurezas geradas na fabricação de produtos de interesse. Os métodos de tratamento estão diretamente associados ao tipo de efluente gerado, ao controle operacional da indústria e as características da água utilizada (FREIRE *et al.*, 2000).

De modo geral, os tratamentos de efluentes podem ser divididos em primários, secundários, terciários e avançados, como ilustrados na Figura 2. Para Beltrame (2000), o tratamento primário é responsável por remover um percentual da matéria orgânica e dos sólidos suspensos. Em função disso, ainda deixa no efluente certo teor de matéria orgânica, a qual necessita de uma alta demanda bioquímica de oxigênio, por isso, são precursores dos tratamentos secundários.

Conforme Peres e Abrahão (1998), nos tratamentos secundários ocorrem à remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica biodegradável, normalmente envolvendo processos como filtros biológicos, lodos ativados, reatores de filmes fixos ou sistemas de lagoas. Os mesmos autores descrevem o tratamento terciário ou avançado como uma combinação de operações unitárias e processos para um fim específico, os quais normalmente são empregados com a finalidade de reciclagem da água e/ou produtos. São exemplos da forma de tratamento a permuta de íons e a osmose reversa.

Tratamento	Tipo de processo	Operação Unitária
Primário	Físico	Equalização Gradeamento Clarificação/sedimentação Flotação
	Químico	Neutralização Coagulação/Sedimentação
Secundário	Biológico	Lodos ativados Filtros biológicos Lagoas de estabilização
	Físico/Químico	Carvão Ativado
Terciário	Químico	Coagulação/Precipitação Ozonização Cloração
	Físico	Clarificação (carvão ativado) Ultrafiltração
Avançado	Físico	Osmose reversa Evaporação

**Figura 2 – Processos de Tratamentos de Efluentes.**  
**Fonte: Peres e Abrahão (1998).**

### 2.2.1 Caracterização do Efluente

A caracterização de um efluente permite identificar os pontos mais críticos e, conseqüentemente, a ação mais adequada de tratamento (BELTRAME, 2000). A determinação das características de uma água residuária tem como objetivo identificar os parâmetros físicos, químicos e biológicos, bem como a concentração de cada constituinte, para que possam ser utilizados processos adequados visando à redução dos contaminantes (METCALF; EDDY; TCHOBANOGLIOUS, 1991).

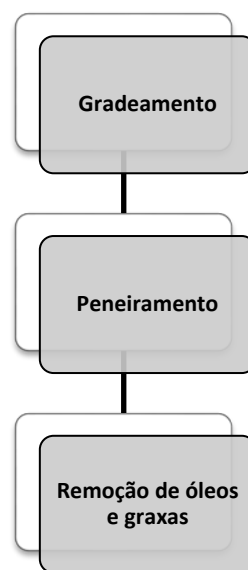
Uma larga variedade de constituintes pode ser encontrada no efluente bruto de um curtume: sais como sulfeto, sulfato, cloreto, sódio, cálcio e amônio, ácidos como o sulfúrico, clorídrico, láctico e fórmico, tensoativos, aminas, proteínas, aminoácidos, álcoois, ácidos carboxílicos, ácidos graxos, lipídios, proteínas, enzimas, polímeros, solventes orgânicos, compostos aromáticos, metais ( $Cr^{3+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  e outros), e características físico químicas de grande diversidade, como pH, potencial de oxi-redução, teor de sólidos, turbidez, alcalinidade, acidez, condutividade, cor, dureza, DQO e DBO, entre outras (CLASS; MAIA, 1994). Devido a esta diversidade de substâncias presentes, para a realização de um tratamento apropriado, o efluente deve ser caracterizado em termos de padrões acumulativos ou de características comuns às substâncias contidas no mesmo (BELTRAME, 2000).



### 2.2.2 Tratamento Preliminar ou Pré-tratamento

O tratamento de efluentes tem início com o tratamento preliminar ou pré-tratamento. De acordo com Claas e Maia (1994), nas indústrias de curtimento esta fase é caracterizada pelos seguintes processos unitários: gradeamento, peneiramento e remoção de óleos e graxas.

A Figura 3 ilustra o pré-tratamento de efluentes de curtumes.



**Figura 3 – Pré-tratamento de Efluentes de Curtumes.**  
**Fonte: adaptado de Claas e Maia (1994).**

De acordo com Beltrame (2000), o gradeamento promove a remoção dos sólidos grosseiros e em suspensão, evitando o entupimento de tubulações, válvulas e bombas, além da perda de eficiência nas etapas subsequentes do processo. Claas e Maia (1994) relatam que, nos efluentes de curtumes são encontrados materiais grosseiros, como pedaços de couro, carnaças e corpos sólidos no geral, que poderiam criar problemas como desgaste das bombas ou obstruções em tubulações nas etapas posteriores, caso não fossem removidos.

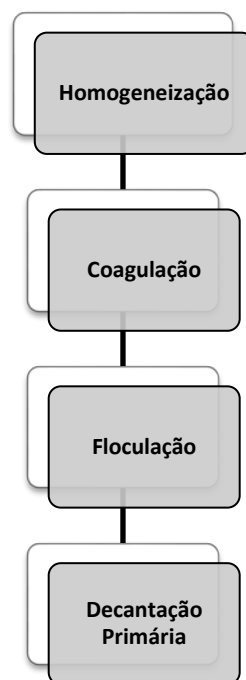
Os mesmo autores descrevem o peneiramento como o uso de dispositivos mecânicos, que atuam como filtros, fazendo com que o efluente seja peneirado por meio de uma chapa metálica perfurada. Para que em seguida, o efluente seja encaminhado para as operações que visam à remoção de óleos e graxas, por meio da separação no estado líquido-líquido e sólido-líquido, respectivamente.

### 2.2.3 Tratamento Primário ou Físico-químico

O tratamento primário constitui a base de todo processo depurador de efluentes líquidos gerados em um curtume. O efluente bruto que chega ao tanque de homogeneização corresponde a um líquido extremamente complexo, apresentando uma grande variedade de constituintes (CLAAS; MAIA, 1994). Outro fator de suma importância, que deve ser levado em consideração, são as características físico-químicas que apresentam grande variedade durante o tratamento desse efluente como pH, teor de sólidos, turbidez, alcalinidade, acidez, tensão superficial, condutividade, cor, dureza, DQO, DBO, entre outras (SAUER, 2006).

Para Pacheco (2005), o tratamento primário ou físico-químico de efluentes de curtumes caracteriza-se pelas seguintes etapas: homogeneização, coagulação, floculação e decantação primária.

A Figura 4 ilustra o processo de tratamento primário.



**Figura 4 – Tratamento Primário de Efluentes de Curtumes.**  
Fonte: adaptado de Class e Maia (1994).

O processo de homogeneização, também denominado como equalização, tem um papel fundamental no tratamento físico-químico, pois todos os banhos gerados no processo produtivo convergem para este tanque, o qual realiza um processo de

mistura e agitação ininterrupta (CLAAS; MAIA, 1994). Segundo Beltrame (2000), o objetivo é minimizar ou controlar as variações na vazão e concentração do efluente, para que se atinjam as condições ótimas para os processos subsequentes. Para Claas e Maia (1994), ainda neste tanque, ocorre o ajuste ou correção do pH, por meio de um coagulante utilizado, sendo que o mesmo também é responsável pela etapa seguinte, na qual ocorrerá a formação de flocos.

De acordo com Haller (1993), o tratamento físico-químico, está baseado na desestabilização da matéria coloidal (não dissolvida e não sedimentável) e na formação de microflocos, eliminando assim parte dos sólidos dissolvidos e em suspensão. Além da remoção do material coloidal, Peres e Abrahão (1998), afirmam que esse tratamento é apropriado para eliminar a matéria orgânica, cor, turbidez, odor, ácidos, álcalis, metais pesados e óleos.

Segundo Claas e Maia (1994), na etapa de floculação ocorre a agregação das partículas coloidais neutralizadas, tornando-as maiores e de maior peso. Lagunas e Lis (1998), também relatam que, a neutralização das cargas elétricas permite que as partículas se unam entre si e se aglomerem formando partículas maiores. Para neutralizar estas cargas são usadas substâncias que tenham íons positivos, normalmente coagulantes inorgânicos. Em um segundo estágio, a utilização de polieletrólitos com cargas elétricas fracas ou moderadas, possibilita a formação de flocos grandes, que são macromoléculas sintéticas com alto peso molecular. A floculação em si, ocorre por adsorção do polieletrólito na superfície da partícula, formando pontes por meio de outras partículas, juntando-as como um grande floco (BELTRAME, 2000).

Quando se pretende separar os sólidos por sedimentação, a coagulação e a floculação devem ser realizadas em decantadores. Estes devem ser projetadas de acordo com a vazão da água a tratar, a quantidade de matéria em suspensão, o volume do precipitado e a densidade do flóculo obtido (LAGUNAS; LIS, 1998). Beltrame (2000), afirma que a sedimentação pode ser descrita como a deposição das partículas por gravidade, portanto, elas devem ser mais pesadas do que a água, para serem coletadas na forma de um lodo concentrado.

#### 2.2.4 Tratamento Secundário ou Biológico

Após o tratamento primário, que proporciona uma grande redução da toxicidade, o efluente passa pelo tratamento secundário ou biológico. Nessa etapa, apesar da complexidade e dos altos índices de eficiência de remoção da carga poluidora obtida no sistema primário, o efluente ainda não oferece boas condições de ser autodepurado pelos corpos receptores (SAUER, 2006). O tratamento secundário, segundo a autora, por envolver fenômenos biológicos, depende também dos fatores físico-químicos do meio, uma vez que a temperatura, o pH e a concentração de oxigênio dissolvido influenciam diretamente no desenvolvimento dos microorganismos envolvidos no sistema.

O sistema de tratamento secundário ou biológico abrange as lagoas de estabilização, lagoas anaeróbias, lagoas aeradas, lodos ativados, leitos percoladores, biodigestores anaeróbios e sistemas biológicos mistos (CLAAS e MAIA, 1994). De acordo com Bitton (2005), o processo biológico mais utilizado para o tratamento dos efluentes de curtume, é o sistema de lodos ativados. Este processo consiste na agitação do efluente na presença de microorganismos e ar, durante o tempo necessário para metabolizar e flocular parte da matéria orgânica.

O sistema de lodos ativados por aeração prolongada proporciona uma agitação suficiente para oxidar substancialmente todo o lodo sintetizado dos resíduos e tolera mais facilmente variações de pH, temperatura e DBO (NEOTEX, 1985). Segundo Conchon (1995), este sistema é o mais indicado para o efluente têxtil, por apresentar elevada eficiência, grande estabilidade e baixo custo, além de ser capaz de remover a cor em níveis superiores a 90%.

#### 2.2.5 Tratamento Terciário ou Avançado

Os tratamentos terciários ou avançados ainda são pouco utilizados na indústria têxtil. Principalmente, porque envolvem uma tecnologia mais recente, de alto custo, com o objetivo principal da remoção da cor e recirculação da água (BELTRAME, 2000). Exemplo deste tratamento é a filtração de membranas, que de acordo com Crossley (1998) variam conforme o tamanho da partícula, podendo ser por osmose reversa, nanofiltração, ultrafiltração ou microfiltração. Outra forma de tratamento é a adsorção, no qual as substâncias orgânicas, que não se degradam biologicamente,

são removidas. A adsorção por carvão ativado é uma técnica amplamente utilizada e muito eficiente na remoção de componentes orgânicos voláteis (COOPER, 1993). Além disso, Beltrame (2000) ressalta a presença de outras formas de tratamento como os métodos oxidativos (ôzônio, cloro, peróxido de hidrogênio, entre outros), ou ainda os métodos redutivos.

### **2.3 Questão Ambiental**

A sociedade atual, mediante o modelo econômico predominante, estabeleceu que, para o desenvolvimento das nações, o meio ambiente deveria promover o fornecimento direto de recursos naturais, a recepção dos dejetos produzidos, além do espaço necessário para as interações dos processos. Para isso, desenvolveram-se práticas de gestão, desde a exploração destes recursos naturais até a disposição final dos desejos industriais, que acabaram por resultar em problemas ambientais (VIEIRA; WEBER, 1997). Um exemplo desses problemas é a poluição hídrica, poluição advinda da atividade industrial e do crescimento não estruturado e planejado das cidades, as quais acabam lançando seus esgotos em rios, lagos e águas costeiras (NIETO, 2000).

#### **2.3.1 Poluição Hídrica**

A poluição hídrica causada pelos efluentes gerados nas indústrias de curtimento é bastante elevada. Sendo a água o elemento mais importante do curtimento, uma vez que a mesma viabiliza na maioria das operações realizadas (BRITO, 2013). De acordo com Câmara e Gonçalves Filho (2007), essa água é utilizada como solvente nos banhos de tratamento e nas lavagens das peles. Nessas duas etapas, a água entra limpa e sai acrescida de resíduos orgânicos e de produtos químicos, gerando uma mistura de efluentes com alto poder de contaminação e degradação do meio ambiente. Ainda neste contexto, os despejos provenientes do caleiro e da depilação causam danos significativos nas instalações de esgotos e nos cursos d'água, uma vez que os sulfetos se transformam em ácido sulfúrico, que é altamente danoso à saúde. Tal ácido também acaba por corroer os encanamentos, removendo o oxigênio presente nos fluxos dos esgotos (LIGER, 2012).

No entanto, segundo Ferreira (2011), outro grave problema corresponde ao processo de curtimento, devido a maior parte do mesmo ser realizado utilizando como

curtente, o cromo. Durante o processamento, o cromo hexavalente (cromo VI) é reduzido ao cromo trivalente (cromo III), pois somente nesta valência o cromo tem poder curtente. Entretanto, somente 60% do cromo III consegue ser absorvido pelas peles no processo, os demais 40% não reagem com o couro, continuando na valência VI, o qual vem a ser descartado nos efluentes líquidos.

Diante do exposto, é fundamental que os curtumes façam uso de técnicas para a redução de cromo e dos demais produtos químicos utilizados no processo de curtimento, como o cloreto de sódio e o sulfeto, visando um descarte apropriado dessas substâncias no meio ambiente (BRITO, 2013).

### 2.3.2 Legislação

Durante muito tempo, as indústrias de modo geral, classificavam o tratamento de efluentes como um custo, algo sem retorno adicional. Mas a legislação ambiental, a pressão de órgãos de proteção ao meio ambiente, a opinião pública e, principalmente, as exigências atuais de mercado, mudaram esta visão (BELTRAME, 2000).

As exigências relacionadas ao tratamento das águas descartadas pelos curtumes são dirigidas por meio de uma regulamentação do CONAMA, em nível federal, e dos órgãos responsáveis pelo meio ambiente, em nível estadual e municipal. São estas leis que determinam a classificação dos tipos das águas existentes e dos critérios de qualidade do efluente na hora de seu descarte, seja na rede pública de esgoto ou no leito de algum rio (OLIVEIRA, 2008).

A Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, e dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Entretanto, segundo Beltrame (2000), mesmo que a legislação determine os limites máximos aceitáveis de cada contaminante, muitas vezes é necessário verificar o processo realizado por algumas empresas, a fim de analisar a eficiência da tratabilidade dos efluentes.

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho é de natureza aplicada, uma vez que visa gerar conhecimentos para a aplicação prática e resolução de problemas (SILVA; MENEZES, 2005). De acordo com os objetivos, a pesquisa desenvolvida foi de caráter exploratório, a qual objetiva uma maior familiarização com o problema em estudo a fim de esclarecê-lo (GIL, 2010).

A Figura 5 apresenta o fluxograma sobre a disposição das etapas a serem executadas durante o trabalho.

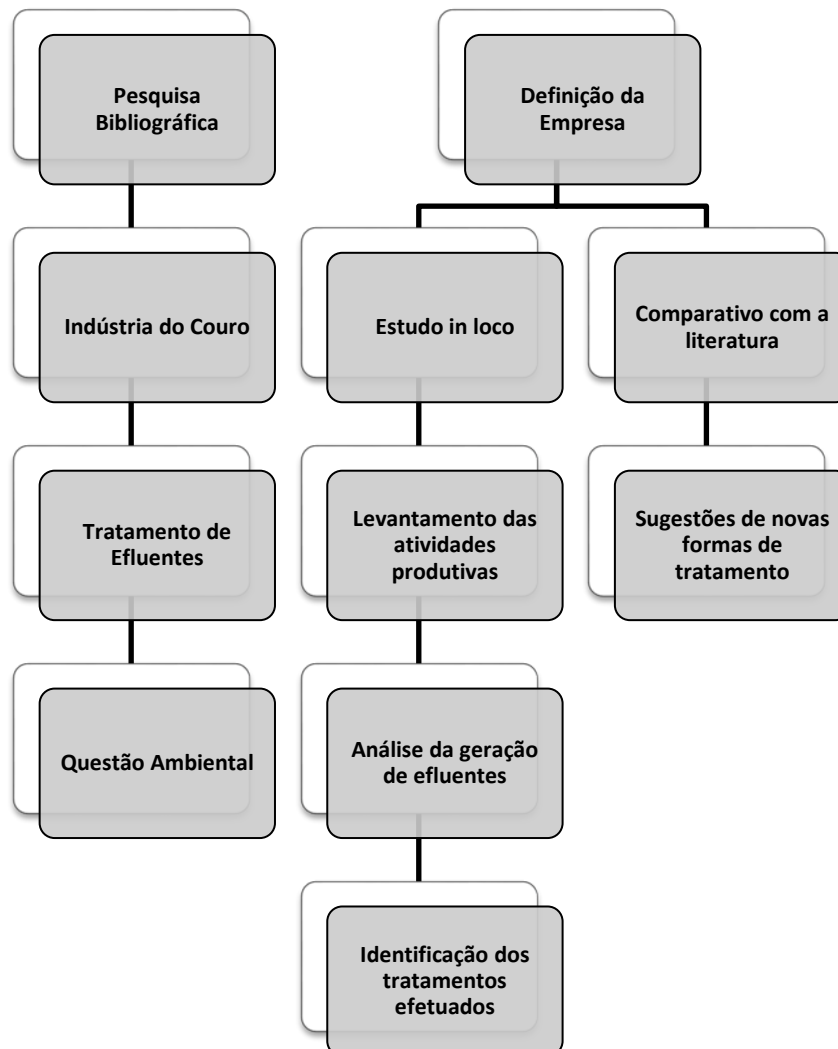


Figura 5 – Fluxograma Representativo das Etapas do Trabalho.  
Fonte: Autora (2016).

O desenvolvimento do trabalho teve início com uma pesquisa bibliográfica, abordando temas abrangentes referentes à indústria do couro, como o processamento do mesmo, os insumos utilizados, os resíduos gerados, além dos possíveis tratamentos empregados, diretamente relacionados com a questão ambiental e com os impactos causados no ambiente.

Após a fundamentação teórica, foi definida a empresa na qual seria realizada o estudo. A empresa escolhida foi o curtume Apucarana Leather, localizado no município de Apucarana, no norte do Paraná.

Com a definição da empresa, teve início o estudo *in loco*, mediante visitas ao curtume. Durante esta etapa foi realizado um levantamento das atividades de processamento do couro, a fim de obter um maior conhecimento do processo produtivo, além de identificar quais as etapas geradoras de efluentes, bem como os tratamentos empregados pelo curtume.

Por meio da identificação e compreensão dessas etapas, foi estabelecido um fluxograma descritivo da estação de tratamento de efluentes do curtume. Além disso, foi realizada uma análise comparativa de etapas do tratamento primário e secundário, assim como a sugestão de outras formas de tratamento com maiores vantagens ambientais.



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 O Curtume Apucarana Leather**

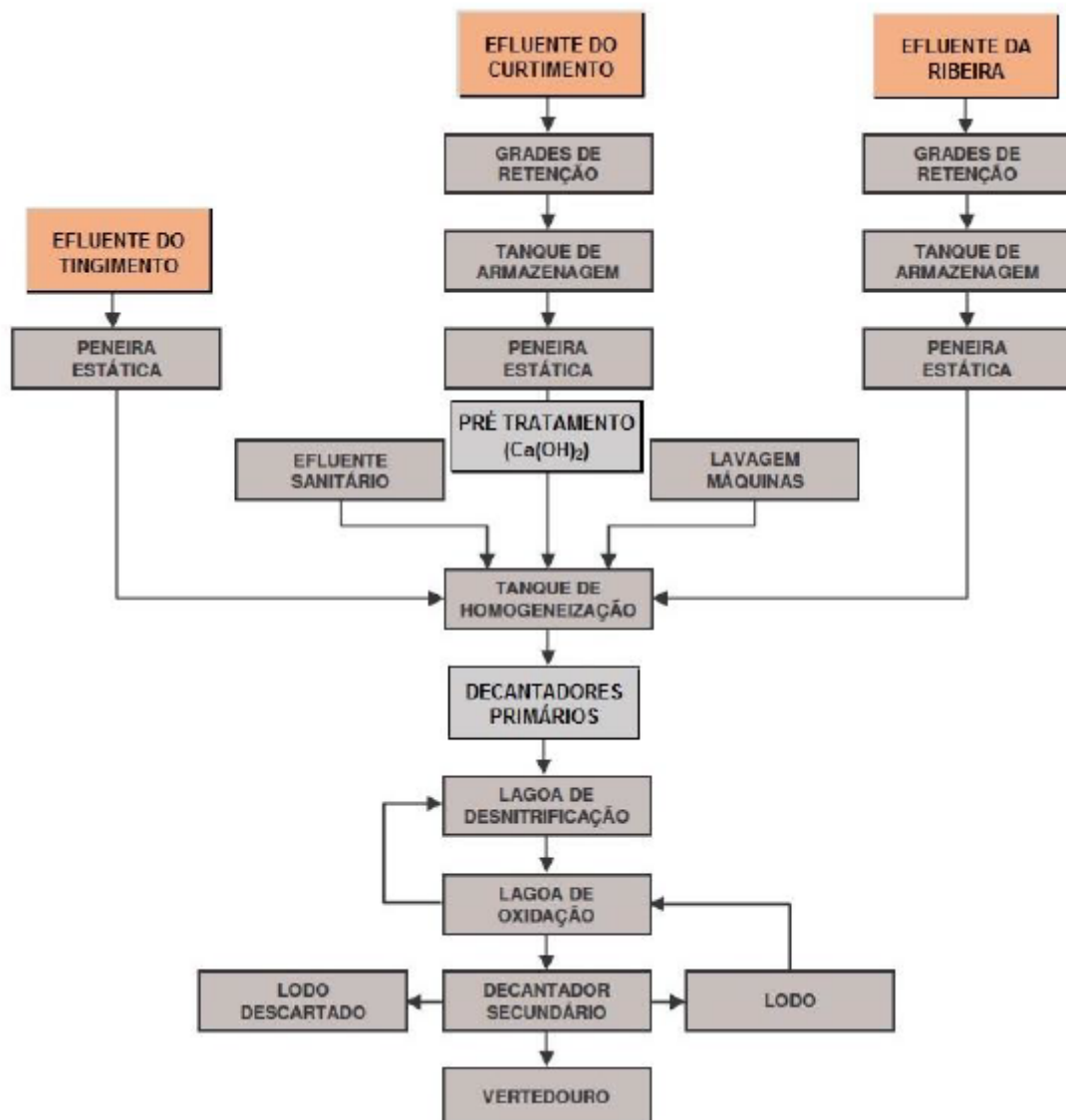
O curtume Apucarana Leather foi fundado em 1963, fica localizado na Rodovia 376 no contorno sul do município de Apucarana, estado do Paraná. O mesmo consiste em uma empresa privada, atuante no segmento do couro, que emprega atualmente 363 funcionários diretos e indiretos, além de possuir uma capacidade produtiva mensal de 30 mil peças. Quanto ao território, a propriedade abrange uma área de 285.488,705  $m^2$  com 16.549,49  $m^2$  de área construída.

Todo o processo de manufatura do couro no curtume envolve as etapas convencionais, desde a ribeira até o acabamento. Sendo o volume de água utilizado para a ocorrência desses processos, muito alto. Assim, como afirmado por Pacheco e Ferrari (2014), o volume total de efluentes gerados pelos curtumes normalmente é similar ao total de água captada. Durante o processamento do couro pelo curtume Apucarana Leather, a geração de efluentes líquidos foi comum a maior parte das atividades. Apenas em processos físicos como recorte e rebaixamento, houve apenas a geração de resíduos sólidos. De modo que, os efluentes gerados em cada uma das etapas, apresentaram características diferentes, devido aos insumos utilizados ou ainda, as próprias características do processo produtivo.

A estação de tratamento de efluentes deste curtume efetua diariamente o tratamento de aproximadamente 1000  $m^3$  de efluente, oriundos das etapas de ribeira, curtimento e acabamento, bem como de efluentes sanitários e de lavagem de máquinas.

### **4.2 Estação de Tratamento de Efluente do Curtume Apucarana Leather**

O tratamento de efluentes realizado pelo curtume Apucarana Leather envolve o tratamento preliminar, primário e secundário. De modo que, todo o efluente gerado nas etapas produtivas é direcionado por canaletas, as quais seguem para a estação de tratamento de efluente da empresa. Na Figura 6 é ilustrado o fluxograma produtivo adotado pelo curtume.



**Figura 6 – Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes do Curtume Apucarana Leather. Fonte: Apucarana Leather (2017).**

Os efluentes são separados por meio dessas canaletas, em efluentes oriundos do acabamento (tingimento), do curtimento e da ribeira. Essa diferenciação por origem ocorre devido às características de cada um desses efluentes, para que um tratamento adequado seja aplicado aos mesmos.

O sistema de tratamento de efluentes desempenhado pelo curtume tem início no tratamento preliminar. Consiste nas operações de gradeamento e peneiramento estático, em ambos os processos, retira-se materiais grosseiros presentes no efluente. Entretanto, há uma diferenciação quanto ao tipo de efluente, quando se trata do efluente do tingimento, apenas a peneira estática se encarrega de remover os sólidos presentes. Enquanto que, os efluentes da ribeira, assim como os do curtimento,

seguem para as grades de retenção (gradeamento), tanque de armazenagem e peneira estática. Além disso, os efluentes do curtimento ainda sofrem um pré-tratamento com hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ), que visa remover parte do cromo presente.

Posterior a esta etapa, todos os efluentes convergem para o tanque de homogeneização ou equalização, para a atenuação das variações presentes nos mesmos. Em seguida, o efluente do tanque de equalização é encaminhado para os decantadores primários, nos quais ocorre a adição de um coagulante. Para Chagas (2009), muitas são as substâncias usadas como coagulantes ou precipitantes, sendo os mais comuns: cloreto férrico, sulfato ferroso clorado líquido, sulfato de alumínio, policloreto de alumínio (PAC), polisulfato de alumínio (PAS) e coagulantes a base de taninos. No curtume Apucarana Leather, o coagulante empregado é o PAC, o qual eles acreditam ser eficiente para o processo, uma vez que promove uma rápida formação de flocos, remove a cor orgânica e ainda, é efetivo em uma larga faixa de pH.

Após a decantação primária, inicia-se o tratamento secundário ou biológico. O efluente segue para uma lagoa de desnitrificação, ilustrada na Figura 7, para a conversão do nitrogênio presente, esse processo também pode ser classificado como sistema de lodo ativado. De acordo com Medeiros (2005), esse sistema é destinado à remoção de poluentes orgânicos biodegradáveis. Baseia-se na oxidação da matéria orgânica por bactérias aeróbicas e facultativas em reatores biológicos seguido de decantação. O autor ainda afirma que, o processo de lodos ativados pode ser concebido para remover o nitrogênio por meio do desenvolvimento de duas etapas biológicas: nitrificação e desnitrificação. Na nitrificação o nitrogênio orgânico e amoniacal ( $NH_4^+$ ) é oxidado a nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ), através dos microrganismos específicos na presença de oxigênio. Posteriormente, na desnitrificação, o nitrato é convertido a nitrogênio gasoso ( $N_2$ ) na ausência de oxigênio livre (condições anóxicas) e na presença de uma fonte de carbono (METCALF; EDDY; TCHOBANOGLIOUS, 1991). O curtume emprega este mecanismo de tratamento biológico, bem como sabe da importância da eficiência do mesmo e dos problemas resultantes da liberação de nitrogênio nos corpos hídricos receptores, em especial, a eutrofização.



**Figura 7 – Lagoa de Desnitrificação do Curtume Apucarana Leather.  
Fonte: Autora (2017).**

O efluente segue para a lagoa de oxidação ou estabilização (Figura 8). Para Assunção (2009), as lagoas de estabilização são um dos processos de tratamento de efluentes mais difundidos no mundo por apresentarem inúmeras vantagens, principalmente em regiões de clima tropical e onde a disponibilidade de área não é um fator limitante. É um método natural, simples e de baixo custo operacional. Segundo Von Sperling (2005), este processo consiste na retenção do efluente por um período de tempo suficiente para o desenvolvimento de processos naturais de estabilização da matéria orgânica.

A última etapa do processo de tratamento é o decantador secundário, responsável por garantir a recirculação de parte do lodo, enquanto o excesso do mesmo é descartado, ou seja, enviado para uma secadora e depois encaminhado aos aterros sanitários, evitando a contaminação do efluente final tratado. Depois de submetido a todos esses processos da estação de tratamento, tem-se no vertedouro o efluente tratado, com as concentrações dentro dos padrões exigidos pela legislação vigente, adequado para lançamento no corpo hídrico. O curtume faz seu lançamento no córrego Biguaçu, ainda no município de Apucarana.



**Figura 8 – Lagoa de Estabilização do Curtume Apucarana Leather.  
Fonte: Autora (2017).**

### 4.3 Comparativo com a Literatura

#### 4.3.1. Uso de Coagulantes

Um produto de grande importância é o agente coagulante. A escolha de um coagulante depende de alguns fatores como: características da água, oferta do produto no mercado, preço e eficiência no tratamento de efluentes (CONSTANTINO; YAMAMURA, 2009). Algumas pesquisas vêm sendo realizadas com objetivo de verificar a ação de coagulantes no tratamento de efluentes, como apresentado na Tabela 3, analisando a possibilidade da substituição de coagulantes inorgânicos por coagulantes naturais.

**Tabela 3 – Comparativo com Literatura quanto a Utilização de Coagulantes.**

<b>Autores</b>	<b>Literatura</b>
<b>Rubilar (2017)</b>	Clarificação química com coagulante $PG\alpha 21Ca$ e fotocatalise heterogênea aplicada ao tratamento de efluente de curtume
<b>Silva (2014)</b>	Aplicação de coagulantes naturais e químicos para tratamento do efluente de indústria de curtimento de couro
<b>Zimpel (2013)</b>	Desempenho de coagulantes combinados para tratamento de efluentes de curtume

**Fonte: Autora (2017).**

No tratamento de efluentes de curtumes essa substituição deve-se principalmente a utilização de coagulantes à base de compostos como o ferro e o alumínio. O trabalho de Rubilar (2017) teve o próprio curtume Apucarana Leather como alvo de estudo. A autora verificou a eficiência do processo de clarificação química com a utilização de dois coagulantes, o sulfato de alumínio e o ácido- $\gamma$ -poliglutâmico ( $PG\alpha 21Ca$ ), analisando parâmetros do efluente final, como cor, turbidez, DQO, cromo total, cromo trivalente (III) e cromo hexavalente (VI), a fim de constatar a viabilidade da aplicação desse coagulante biodegradável, o  $PG\alpha 21Ca$ . De acordo com Campo *et al.* (2016), este coagulante tem em sua composição química sulfato de cálcio como excipiente, sulfato de alumínio como coagulante, carbonato de cálcio como agente alcalinizante e ácido- $\gamma$ -poliglutâmico como composto adjuvante, sendo este, um polímero aniônico capaz de formar interações entre as partículas coaguladas e assim, criar flocos de tamanhos maiores. Contudo, a maior vantagem do mesmo

quando comparado ao sulfato de alumínio, ainda está relacionada à baixa toxicidade presente em sua composição.

Por meio das análises efetuadas, a autora do trabalho constatou que o coagulante PG $\alpha$ 21Ca apresentou resultados de remoção dos parâmetros mencionados, muito próximos ao do sulfato de alumínio (Figura 9). Entretanto, a maior vantagem da utilização do mesmo está relacionada ao seu caráter biodegradável, assim como o fato da baixa capacidade para formar alumínio residual na água tratada, uma vez que o ácido- $\gamma$ -poliglutâmico pode ligar-se a vários íons metálicos, tais como  $Al^{3+}$  (CAMPOS *et al.*, 2016).

Parâmetros	Efluente bruto	Clarificação química com sulfato de alumínio		Clarificação química com PG $\alpha$ 21Ca	
		Resultado final	Remoção (%)	Resultado final	Remoção (%)
Cor real	-	-	66	-	75
pH	7,58	9,79	-	10,35	-
DQO	3584	1354 mg L <sup>-1</sup>	62	1378 mg L <sup>-1</sup>	61
Turbidez	153	29 NTU	81	34,7 NTU	77
Cromo total	10,72	0,41 mg L <sup>-1</sup>	96	0,62 mg L <sup>-1</sup>	94
Cromo III	6,46	0,17 mg L <sup>-1</sup>	97	0,30 mg L <sup>-1</sup>	95
Cromo VI	4,26	0,24 mg L <sup>-1</sup>	94	0,32 mg L <sup>-1</sup>	92

Figura 9 – Processo de Remoção dos Parâmetros pelo Método de Clarificação Química. Fonte: Rubilar (2017).

Outro estudo sobre a atuação de coagulantes naturais no tratamento de efluentes de curtumes foi desenvolvido por Silva (2014), por meio de uma análise comparativa do comportamento de coagulantes químicos e naturais quanto à remoção de determinados parâmetros, como o pH, cor, condutividade elétrica, DQO, sólidos totais, fixos e voláteis. No experimento, o autor utilizou como coagulantes químicos o cloreto férrico, que segundo Mancuso e Santos (2003), apresentam grande eficiência na remoção de sólidos em suspensão e fósforo, e o sulfato de alumínio, conhecido por promover significativa remoção em relação aos parâmetros de DQO, DBO, turbidez e cor (PIANTÁ, 2008). Os coagulantes naturais empregados foram a Moringa oleífera, espécie vegetal responsável por promover a remoção de um alto percentual de turbidez (OKUDA *et al.*, 1999) e o Tanfloc, um polímero orgânico, solúvel em água

fria e sem toxicidade (VANACÔR, 2005). Como resultado do estudo, o coagulante que se mostrou mais eficiente na remoção de praticamente todos os parâmetros, foi o sulfato de alumínio (Tabela 4). No entanto, quanto à cor, foi observado que o coagulante Tanfloc apresentou os maiores percentuais de remoção.

**Tabela 4 – Eficiência de Remoção dos Parâmetros Analisados pelos Coagulantes.**

<b>Parâmetros Analisados</b>	<b>Coagulantes</b>
<b>Cor</b>	Tanfloc
<b>Condutividade Elétrica</b>	Sulfato de Alumínio
<b>DQO</b>	Sulfato de Alumínio
<b>Sólidos fixos e voláteis</b>	Sulfato de Alumínio

Fonte: adaptado de Silva (2014).

A análise feita por Silva (2014), assim como a de Rubilar (2017), confirmou que se realizado testes, coagulantes naturais podem ser equiparados a coagulantes sintéticos, quanto aos percentuais de remoção. De modo que, levando em consideração a preocupação com as questões ambientais, a continuação de estudos nessa área, é de fundamental importância.

Deste modo, foi apresentado por Zimpel (2013), um estudo sobre a o uso de coagulantes combinados, uma mistura de sais inorgânicos com polímeros orgânicos, com o objetivo de comparar o desempenho cada um. O autor denominou como coagulante combinado 1, uma mistura de ácido clorídrico, polidialildimetilamônio (poliDADMAC) e policloreto de alumínio (PAC), sendo o coagulante combinado 2, a mistura de ácido clorídrico, cloreto de dialildimetilamônico e sulfato de alumínio. A metodologia experimental foi composta por 3 etapas, na primeira foi definido a dosagem de coagulante necessária e o pH ótimo de coagulação. Na segunda etapa, amostras dos coagulantes combinados foram analisadas, de modo a verificar qual apresentava melhor desempenho, assim, na última etapa, o coagulante combinado 1 que apresentou melhores índices de remoção de DQO, cor e turbidez, foi comparado ao PAC, coagulante inorgânico (Figura 10).



Coagulante	Ensaio	Remoção de DQO (%)	Remoção de cor (%)	Remoção de turbidez (%)
CC1	Teste 12	58,20	99,26	99,69
	Teste 13	61,64	99,28	99,83
	Teste 14	61,74	99,29	99,84
	Teste 15	63,58	99,31	99,84
	Teste 16	64,39	99,33	99,88
PAC	Teste 17	58,05	98,70	99,66
	Teste 18	58,08	98,81	99,75
	Teste 19	58,87	98,86	99,82
	Teste 20	59,24	98,87	99,83
	Teste 21	59,64	98,91	99,84

**Figura 10 – Análise de Remoção dos Parâmetros para os Ensaio de Coagulação.**  
**Fonte: Zimpel (2013).**

Como apresentado nos resultados, o autor constatou que o coagulante combinado apresentou resultados satisfatórios, com dados de remoção superiores ao do PAC aplicado individualmente (teste 16). Desta forma, a proposta de utilizar coagulantes combinados, fazendo uso de dois mecanismos de coagulação química, tem como maior benefício, a redução da quantidade de sais de alumínio e ferro, ou seja, da parte não biodegradável adicionada.

Em todos os estudos levantados, percebe-se a busca pela substituição de coagulantes inorgânicos, principalmente pelo fato de não apresentarem biodegradabilidade, deixarem o alumínio e o ferro residual na água, bem como também no lodo (SANTOS *et al.*, 2010). No curtume Apucarana Leather, uma alternativa seria a utilização do PAC pelo mecanismo de coagulantes combinados, diminuindo a presença de sais minerais no efluente. Ou ainda, o desenvolvimento de testes para a substituição do mesmo por um coagulante de origem natural, com a finalidade de utilizar um produto biodegradável, reduzindo o impacto ambiental de modo geral.

#### 4.3.2. Processo de Desnitrificação

No curtume Apucarana Leather o sistema adotado para a remoção do nitrogênio é o processo de nitrificação e desnitrificação. Estas etapas ocorrem devido à ação de microrganismos, os quais necessitam de nutrientes para o seu metabolismo, sendo fundamental a presença de nitrogênio e fósforo. Segundo Baur (2012), em condições anaeróbicas, o nitrogênio, nas formas de nitrito e nitrato, não se encontra disponível para o crescimento bacteriano, uma vez que este é reduzido a gás e liberado na atmosfera. No entanto, a amônia e a porção de nitrogênio orgânico, obtidos durante a degradação, são as principais fontes de nutrientes utilizadas pelos microrganismos. De modo geral, para que os processos biológicos de tratamento de efluentes sejam operados com sucesso, os nutrientes inorgânicos, necessários ao crescimento dos microrganismos devem ser fornecidos em quantidades adequadas.

Como a nitrificação promove apenas a conversão do nitrogênio, para a remoção do mesmo, há a necessidade de realizar a desnitrificação. Para Van Haandel *et al.* (2009), para que essa etapa seja realizada, são necessárias condições adequadas, como a presença de uma massa bacteriana facultativa, presença de nitrato e ausência de oxigênio dissolvido no licor misto, condições ambientais adequadas para o crescimento de microrganismos. No curtume em análise, esse processo tem um acompanhamento contínuo, uma vez que os responsáveis tem conhecimento sobre o descarte de efluentes com elevados teores de nitrogênio nos corpos aquáticos, podendo comprometer o equilíbrio ambiental, assim como provocar a eutrofização.

Desta forma, na Tabela 5 são apresentados alguns estudos relacionados à identificação e remoção do nitrogênio presente nos efluentes de curtumes.

Tabela 5 – Comparativo com Literatura quanto ao Processo de Remoção de Nitrogênio.

<b>Autores</b>	<b>Literatura</b>
<b>Baur, Gutterres e Bordignon (2009)</b>	Estudo e remoção de nitrogênio de efluentes de curtume
<b>Baur (2012)</b>	Estudo e identificação de nitrogênio em efluentes de curtume
<b>Giacobbo et al. (2010)</b>	Microfiltração aplicada ao tratamento de efluentes de curtumes
<b>Shao-lan, Ling e Meng-Jun (2009a)</b>	Estudo sobre as características da transformação de nitrogênio em efluentes de curtumes
<b>Shao-lan, Ling e Meng-Jun (2009b)</b>	Estudo sobre a remoção de nitrogênio amoniacal das águas residuárias de curtume por meio de zeólitas naturais e sintéticas

Fonte: Autora (2017).

O estudo de Baur, Gutterres e Bordignon (2009) realizou um levantamento dos fatores que contribuem para a geração de altos teores de nitrogênio nos efluentes de curtumes, avaliando os produtos químicos utilizados e todas as etapas envolvidas no processamento do couro. Para medição do teor de nitrogênio presente no efluente utilizaram o método Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), o qual quantifica o nitrogênio de origem orgânica e também, o nitrogênio de origem amoniacal. A metodologia do trabalho foi fundamentada na coleta de amostras dos efluentes ao final de cada etapa produtiva, em seguida, avaliou-se o teor de nitrogênio presente. Com base nos testes realizados pelos autores, constatou-se que o maior índice de nitrogênio liberado nos banhos de processamento do couro, tem origem orgânica, ou seja, proveniente das peles. Provando assim, que um tratamento adequado deverá ser adotado nas estações de tratamento de efluentes a fim de depurar esses altos índices de nutrientes presentes, prevendo uma etapa de nitrificação e outra de desnitrificação, antes de serem lançados nos corpos receptores.

Outro trabalho semelhante foi o de Baur (2012), a autora também quantificou os teores de nitrogênio nos banhos de cada etapa do processamento do couro para determinar qual a quantidade era de origem orgânica, analisou a influência dos produtos químicos na liberação de nitrogênio e a influência do tempo de processo. Como no trabalho anterior, verificou-se que a maior parte do nitrogênio é de matéria orgânica, sendo que os produtos químicos apresentam pouca influência na quantidade de nitrogênio presente nos efluentes. E quanto a variável tempo, por meio dos resultados obtidos, conforme o tempo aumenta a remoção de nitrogênio das peles nas etapas de remolho, depilação/caleiro e purga também cresce, confirmando a decomposição da pele com o tempo, sendo necessário um controle dos tempos de

processo a fim de prevenir danos ao couro e evitar maiores quantidades de poluentes nos efluentes.

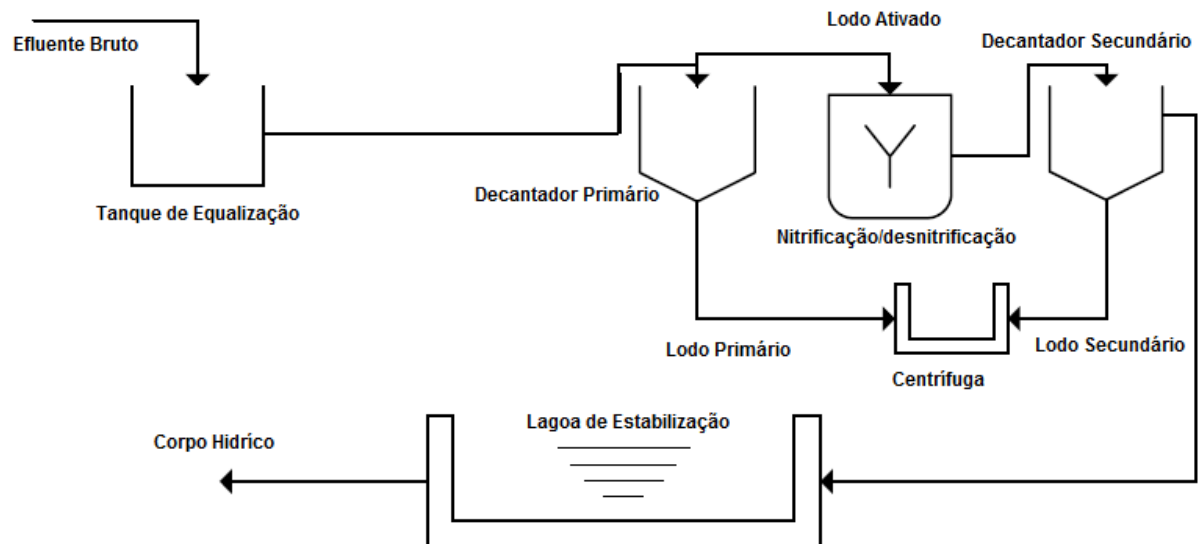
Giacobbo *et al.* (2010), desenvolveram um trabalho para analisar amostras de efluentes brutos, coletadas no tanque de equalização e de efluentes tratados, coletadas após o tratamento físico-químico e biológico. Os efluentes passaram pelo sistema de membranas de microfiltração, operando em modo de batelada. Esse processo proporcionou reduções de 40% na DQO, 16% nos sólidos totais e 10% no NTK do efluente bruto. Entretanto, os autores concluíram que há a necessidade de um maior aprofundamento de pesquisas para confirmar a utilização do método de microfiltração como etapa final do tratamento de efluentes e que, por meio dos resultados do trabalho, eles desaconselham que esta seja a etapa de polimento final para os efluentes de curtumes.

Shao-lan, Ling e Meng-Jun (2009a), fizeram um estudo das transformações do nitrogênio nos efluentes brutos oriundos das etapas da ribeira do curtimento, como resultado perceberam que as taxas de nitrogênio amoniacal aumentam no tratamento de lodos ativados. Além disso, este processo atingiu remoção de 38,97% de nitrogênio orgânico e 78,24% de remoção de amônia, provando que a transformação do nitrogênio era principalmente devido ao metabolismo e à nitrificação microbiana. Os mesmo autores (2009b) também investigaram a remoção do nitrogênio amoniacal presente nos efluentes de curtumes, por meio do uso de zeólitas naturais e sintéticas. Os resultados mostraram que os processos de adsorção de nitrogênio amoniacal por zeólitas é apropriado, uma vez que as de origem natural apresentaram uma eficiência de aproximadamente 96%, contra 99,3% de adsorção de nitrogênio amoniacal das zeólitas sintéticas.

#### 4.3.3. Sistema de Lodo Ativado

O princípio básico do sistema de lodo ativado é a depuração da matéria orgânica por microrganismos aeróbicos. Existem muitas variantes no processo de lodos ativados e esse princípio pode ser classificado de acordo com a idade do lodo (lodo ativado convencional ou aeração prolongada); de acordo com o fluxo (fluxo contínuo ou intermitente) ou ainda de acordo com objetivos do tratamento (remoção de carbono ou remoção de carbono e nutrientes) (VON SPERLING, 1997).

O curtume Apucarana Leather utiliza o sistema de lodo ativado para promover essa degradação da matéria orgânica, tal processo ocorre em conjunto com a nitrificação e desnitrificação, como ilustrado na Figura 9.



**Figura 11 – Estação de Tratamento de Efluentes de um Curtume.**  
 Fonte: adaptado de Baur (2012).

O sistema de lodo ativado é muito empregado no tratamento de efluentes industriais, dependendo principalmente da ação dos microrganismos para funcionar corretamente, promovendo a remoção da carga poluente e, gerando um efluente com padrões adequados para lançamento.

O trabalho de Amorim, Vargas e Jesus (2014), avaliou a eficiência do sistema de lodo ativado no tratamento de efluentes de um curtume, por meio da remoção de poluentes, comparando o efluente de entrada do tratamento e o efluente final. O objetivo do estudo foi verificar o bom funcionamento do sistema em si. O curtume analisado pelos autores apresentou um sistema de lodos ativados com aeração prolongada de fluxo contínuo que continha de forma sequencial na etapa de tratamento biológico o reator aerado, o decantador secundário e o reciclo do lodo. Sendo o reator aerado o responsável pela degradação da matéria orgânica, onde a biomassa, formada pelos microrganismos, consumia todo substrato existente no efluente de entrada do reator. De acordo com as análises laboratoriais, o sistema mostrou-se atuar com uma elevada remoção da carga poluidora com uma média de eficiência na remoção de DBO de 93% e de DQO de 92%.

Entretanto, para alguns parâmetros de controle do sistema de lodo ativado constatou-se a necessidade de alguns ajustes operacionais. Os autores sugeriram uma dosagem de ácido fosfórico para elevar a quantidade de fósforo presente no reator. Como complemento para o monitoramento do sistema de lodo ativado, também indicaram a realização da análise da microbiologia do lodo, pois as bactérias e demais microrganismos presentes nele são responsáveis pela depuração da matéria orgânica, assim conhecendo melhor a população microbiana do meio, o processo de remoção do nitrogênio ficaria mais simples, estabilizando-o em condições normais requeridas no sistema.

#### **4.4 Sugestões de Novas Formas de Tratamento**

Considerando que o curtume analisado efetua o tratamento preliminar, primário e secundário e, partindo do princípio que este processo é efetuado de modo que o efluente final contenha concentrações adequadas para lançamento no corpo hídrico, novas sugestões de tratamento de efluentes, estariam relacionadas com processos que promovessem uma mitigação dos impactos ambientais, seja por redução na quantidade de lodo gerada, menor utilização de insumos e energia, maior rapidez no tratamento, maior facilidade de operação, ou ainda, menor custo.

Diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de propor novas formas de tratamento aos efluentes de curtumes, tecnologias mais limpas, visando reduzir os impactos ambientais causados. Alguns exemplos são: sistema de filtros de membrana seletiva (GEROMEL, 2012), membranas de nanofiltração e eletrodialise (STREIT, 2011), fotocatalise heterogênea (RUBILAR, 2017; PASCOAL *et al.*, 2007), ozonização, degradação fotoquímica e processo Fenton (SCHRANK *et al.*, 2003), entre outros.

O processo de filtros por membranas seletivas é uma técnica de separação de sólidos e líquidos cuja aplicação tem sido fortemente empregada. Sendo conduzido sobre pressão hidráulica, pode ser efetuado pelo princípio de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, os quais são diferenciados entre si pela diferença de pressão aplicada ao processo e pela natureza da membrana utilizada, como relata Cheryan (1998). A microfiltração é um sistema projetado para reter partículas na escala do micron, como partículas em suspensão na faixa de 0,05-5 µm, enquanto a ultrafiltração retém somente macromoléculas ou partículas de 1000 a

100.000 Da (KENNEDY; KAMANYI; RODRÍGUEZ, 2008). Segundo Zhou *et al.* (2009), a nanofiltração é capaz de reter compostos orgânicos de baixo peso molecular e sais inorgânicos, visto que no efluente de curtumes as concentrações de sais inorgânicos são altas. Por fim a osmose reversa retém todos os componentes, permitindo somente que o solvente permeie (Figura 12).

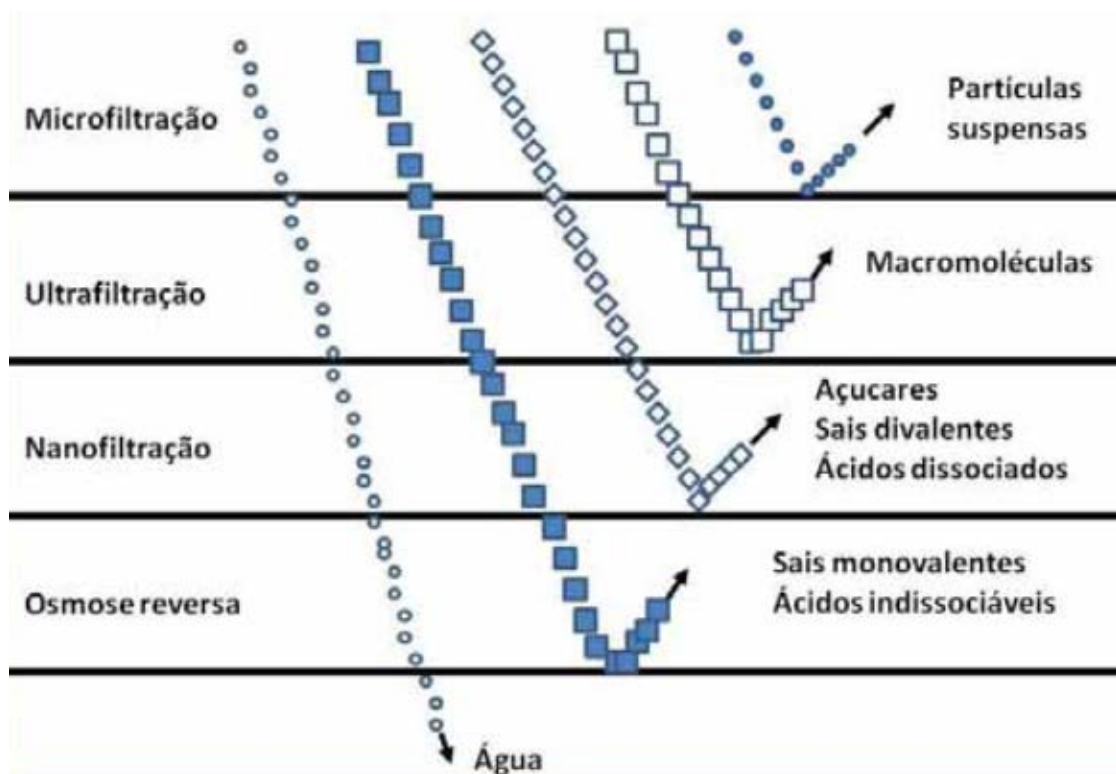


Figura 12 – Separação por Filtros de Membranas.  
Fonte: adaptado de Cheryan (1998).

No trabalho de Geromel (2012), foram desenvolvidas técnicas pouco convencionais de tratamentos de efluentes de curtumes, sendo elas a oxidação química para redução de compostos de enxofre, a coagulação-floculação-sedimentação para reduzir a carga orgânica e de sólidos, com posterior filtração por membrana microfiltrante, e a redução dos sólidos remanescentes no efluente, pelo processo de ultrafiltração, de modo que os processos promovessem uma adequação do efluente aos padrões de lançamento exigidos pela legislação.

A primeira etapa da parte experimental analisou o comportamento de dois coagulantes quanto à eficiência de remoção de sólidos, foram eles o cloreto férrico e o policloreto de alumínio. Além disso, a autora também verificou a eficiência de oxidação de sulfetos, sulfatos e matéria orgânica por meio da ação do peróxido de

hidrogênio, permanganato de potássio e sulfato manganoso. A finalidade destes testes foi determinar quais substâncias apresentavam melhor desempenho de remoção, para que o pré-tratamento à filtração por membrana, fosse efetuado de modo a controlar todas as partículas que seriam submetidas aos poros do filtro.

Como resultado, o coagulante cloreto férrico e o sal catalisador sulfato manganoso apresentaram melhores resultados de remoção, nas finalidades específicas a que cada qual foi submetido. Na segunda etapa, o efluente foi encaminhado ao processo de microfiltração, entretanto os poros do filtro permitiram a passagem de sólidos suspensos de grandes dimensões, colmatando o ultrafiltro rapidamente. Deste modo, tentou-se remover o biofilme formado no ultrafiltro com a utilização de soluções de ácido nítrico, por meio de lavagens em quantidades mínimas, para não danificar a membrana filtrante. Mas ainda sim, o trabalho não atendeu os objetivos pretendidos, uma vez que a remoção de parâmetros como DBO, DQO e sólidos dissolvidos não atenderam os percentuais de remoção mínima exigidos pela legislação.

Para a autora, o aconselhável seria a adoção de técnicas de tratamento biológicas antes do tratamento de separação por membranas seletivas para que houvesse uma maior remoção de material orgânico e de uma parcela dos sólidos dissolvidos totais. Assim como, a adoção de um microfiltro com poros mais finos, para que o mesmo retenha uma maior quantidade de partículas antes de essas alcançarem o ultrafiltro.

Outro trabalho semelhante foi desenvolvido por Streit (2011), no qual foi avaliado o tratamento de efluentes de curtumes por meio do uso de membranas como a nanofiltração e a eletrodialise. A nanofiltração apresentou versatilidade para a segregação da fração inorgânica (sais) e da fração orgânica (proteínas, taninos e outros), permitindo assim uma maior remoção dos sais remanescentes no efluente, pela aplicação da eletrodialise. Esta técnica foi utilizada para promover a remoção destes sais, e como resultado alcançou valores compatíveis que permitissem o reuso da água nas etapas mais críticas do processamento do couro, como o tingimento e o engraxe. De modo geral, a autora constatou que as técnicas de nanofiltração e eletrodialise podem contribuir para que sejam atingidos os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pela legislação, bem como também permitem o reuso da água no processo produtivo do curtume, minimizando assim o impacto ambiental relacionado ao alto consumo de água na manufatura do couro.



De acordo com os trabalhos apresentados e visando a mitigação dos impactos ambientais, o tratamento de efluentes com o uso de membranas é uma técnica que apresenta grandes vantagens. Como afirmado por Pabby, Rizvi e Sastre (2008), em escala industrial este processo promove uma economia considerável no consumo de energia, sua tecnologia é limpa, apresenta facilidade de operação e, também substitui processos convencionais como a filtração, a destilação e a troca iônica.

Para Lofrano *et al.* (2013), muitos dos processos biológicos atualmente conhecidos são ineficientes para a remoção de substâncias presentes nas águas residuais de curtumes. Sendo que tecnologias como a utilização de filtros de membranas e dos processos oxidativos avançados, são tentativas de melhorias nestes tratamentos. Estes processos oxidativos avançados (POAs) são baseados em métodos físico-químicos capazes de produzir mudanças na estrutura química dos poluentes e são definidos como etapas que envolvem a geração e uso de agentes altamente oxidantes, principalmente os radicais hidroxil, os quais possuem propriedades inerentes que permitem o ataque a poluentes orgânicos para obter a completa mineralização em  $CO_2$ ,  $H_2O$  e ácidos minerais (CHÁCON *et al.*, 2006).

Entre os POAs, a fotocatalise heterogênea destaca-se por proporcionar vantagens como a ampla variedade de compostos orgânicos que podem ser mineralizados, dispensável utilização de receptores adicionais de elétrons, possibilidade de reuso do fotocatalisador, e alternativo de uso da radiação solar como fonte de luz para ativar o catalisador (SURI *et al.*, 1993).

Rubilar (2017), desenvolveu um estudo sobre o tratamento de efluente de curtume, por meio do processo de clarificação química com o coagulante  $PG\alpha 21Ca$  e degradação fotocatalítica utilizando o catalisador dióxido de titânio ( $TiO_2$ ). Como resultado, a autora verificou que a utilização do coagulante  $PG\alpha 21Ca$  foi eficiente na eliminação de compostos orgânicos e inorgânicos, principalmente quanto à remoção de cromo. Além disso, o processo de tratamento com clarificação química e fotocatalise heterogênea resultou em uma remoção de 87% da cor real, 92% da DQO, 91% da turbidez, 97 % do cromo total, 98% de cromo trivalente e 94% do cromo hexavalente. Sendo assim, foi possível concluir que o processo de fotocatalise heterogênea contribuiu ainda mais com a remoção da turbidez, DQO e cromo trivalente residuais do processo de clarificação química. O processo fotocatalítico teve a grande vantagem de degradar a matéria orgânica presente no meio, não havendo a transferência do poluente para outra fase. Em consequência disso, o processo

combinado, clarificação química com PGa21Ca seguida por fotocatalise heterogênea, consiste em uma alternativa para tratar efluentes da indústria de curtume. Visto que, tanto o coagulante utilizado, como o catalisador apresentam vantagens do ponto de vista ambiental, sendo o  $TiO_2$  amplamente estudado devido à sua natureza fotocataliticamente estável, foto-reatividade, não toxicidade, estabilidade à corrosão e dissolução, quimicamente e biologicamente inerte, preço baixo e facilidade de produção, não apresentando riscos para o meio ambiente e seres humanos (NAEEM; OUYANG, 2013; EXPÓSITO *et al.*, 2017).

A combinação de POAs utilizando peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), ozônio ( $O_3$ ), luz ultravioleta (UV) e  $TiO_2$  tem sido testada recentemente como alternativas aos processos de tratamento estabelecidos atualmente, com resultados promissores (ARSLAN; BALCIOGLU; TUHKANEN, 1999; GALINDO; JACQUES; KALT, 2000). Outro trabalho que também aplicou o método de fotocatalise heterogênea com  $TiO_2$  aos efluentes de curtumes, foi o de Pascoal *et al.* (2007). Os autores constataram que nas fases de redução e oxidação da fotocatalise heterogênea possuem melhor desempenho quando a fonte luminosa é o sol, visto que as constantes cinéticas obtidas mostraram resultados mais elevados quando a radiação ultravioleta foi de origem solar.

Schrank *et al.* (2003), desenvolveram um trabalho no qual avaliaram os processos de ozonização ( $O_3/UV$ ), degradação fotoquímica ( $H_2O_2/UV$ ) e processo Fenton para o tratamento dos efluentes de uma indústria do couro. A eficiência de todos os processos foi avaliada através de parâmetros como DQO, DBO, nitratos, amônia, sulfatos e cloretos. De modo que, todos os processos aplicados resultaram em oxidação parcial e mineralização. O tratamento com o composto oxidante de ozônio foi empregado para auxiliar na mineralização dos contaminantes orgânicos presentes nos efluentes. A utilização deste tratamento depois do tratamento biológico possibilitou algumas vantagens, como a redução da DQO e DBO, a degradação da matéria orgânica, uma redução de odor, cor e turbidez, além de uma alta concentração de oxigênio dissolvido no efluente tratado (BALAKRISHNAN; ARUNAGIRI; RAO, 2002). Por sua vez, a degradação fotoquímica, por meio da combinação de  $H_2O_2$  com radiação UV promoveu a absorção de fótons UV pelo peróxido, fazendo-o dissociar-se em radicais hidroxil, os quais reagiram rapidamente com os compostos orgânicos. Esta é a alternativa que apresenta maior vantagem do ponto de vista ambiental, quando comparada às demais, uma vez que garante a redução significativa de DQO,

em um rápido tempo de processo, por um custo mínimo, assim como também possibilita que não haja a formação de lodo (ALATON; BALCIOGLU; BAHNEMANN, 2002). Segundo os autores, no processo Fenton ocorre a oxidação dos compostos orgânicos tóxicos, consiste no princípio de aumentar o potencial oxidativo do  $H_2O_2$  por meio da adição do catalisador  $Fe^{2+}$ , formando a reação Fenton. As vantagens deste processo estão relacionadas ao modelo do reator, sendo este menos complicado do que para sistemas com radiação UV ( $H_2O_2/UV$ ), não há a necessidade de iluminação envolvida, o íon residual pode ser removido pela alcalinização na solução e subsequentemente precipitado, assim como a concentração residual de  $H_2O_2$  no tratamento Fenton ser mais baixa que no tratamento com peróxido, sendo o custo de operação o menor quando comparado aos outros POAs.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo permitiu a identificação e compreensão dos métodos empregados por uma estação de tratamento de efluentes de curtume, bem como também forneceu um maior conhecimento sobre as etapas envolvidas no processo de manufatura do couro.

A preocupação com as questões ambientais fez com que muitas empresas procurassem formas de minimizar o impacto de suas atividades produtivas. A indústria curtumeira foi uma delas, visto que a mesma utiliza alto volume de água para viabilização de seus processos, gerando um efluente com elevada carga poluente. O trabalho desenvolvido procurou descrever o tratamento de efluentes preliminar, primário e secundário desenvolvido por um curtume, confrontando essas etapas com outros estudos apresentados na literatura, sugerindo alterações de produtos ou a implantação de novas técnicas de tratamento, visando uma mitigação dos impactos ambientais.

As sugestões relacionadas ao processo de tratamento primário foram quanto à substituição do coagulante utilizado atualmente por este curtume, por outro de caráter biodegradável, reduzindo a quantidade de sais de ferro e alumínio. Em seguida, a respeito do tratamento biológico de desnitrificação e lodos ativados, relatou-se a importância do controle da remoção de compostos de nitrogênio nestes efluentes. Desta forma, considerando que o tratamento efetuado pelo curtume seja adequado e gera um efluente dentro dos padrões impostos pela legislação, a sugestão de novas formas de tratamento esteve atrelada a métodos que minimizem os impactos ambientais, estimulando o reuso da água, promovendo uma menor quantidade de lodo, facilitando o processo, reduzindo tempo de operação e custos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABQTIC. **Guia brasileiro do couro: dados estatísticos**. Estância Velha, 2012. Disponível em: <<http://www.guiabrasileirodocouro.com.br/dados-estatisticos?ano=2012>>. Acesso em: 10 out. 2016.

ADZET, J. M. *et al.* Química técnica de tenería. **Barcelona: Igualada**, 1985.

ALATON, I. A.; BALCIOGLU, I. A.; BAHNEMANN, D. W. Advanced oxidation of a reactive dye bath effluent: comparison of O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV-C and TiO<sub>2</sub>/UV-A processes. **Water Research**, v. 36, n. 5, p. 1143-1154, 2002.

AMORIM, L. L. G.; VARGAS, K. P.; JESUS, E. H. A. de. **Análise de Eficiência do Sistema de Lodo Ativado no Tratamento de Efluentes de um Curtume na Cidade de Uberlândia-Mg**. 2014.

ANUSZ, L. A Arte de Curtir. **Estância Velha: ABQTIC**, 1995.

AQUIM, P. M. de; GUTTERRES, M.; TESSARO, I. C. Análise dos efluentes gerados nos processos de ribeira e curtimento da indústria do couro. In: XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química. **Anais...** Curitiba. 2004.

ARSLAN, I.; BALCIOGLU, I.A.; TUHKANEN, T.; *Environ. Technol.* **1999**, 20, 921.

ASSUNÇÃO, F. A. L. de. **Estudo da remoção de Nitrogênio, com ênfase na volatilização de Amônia, em lagoas de polimento de efluentes de reatores UASB tratando esgotos urbanos de Belo Horizonte/MG. 2009. 105 f.** 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Curso de Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em:<<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas>>. Acesso em: 08 mai. 2017.

BALAKRISHNAN, P. A.; ARUNAGIRI, A.; RAO, P. G. Ozone generation by silent electric discharge and its application in tertiary treatment of tannery effluent. **Journal of Electrostatics**, v. 56, n. 1, p. 77-86, 2002.

BAUR, L. **Estudo e identificação de nitrogênio em efluentes de curtume**. 2012.

BAUR, L.; GUTTERRES, M.; BORDIGNON, S. R. Estudo e remoção de nitrogênio de efluentes de curtume. **Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (8.: 2009 out. 20-23: Porto Alegre, RS).[Anais][recurso eletrônico]**. Porto Alegre, RS: UFRGS/PPGEQ, 2009.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 2000. 161f. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BITTON, G. **Wastewater microbiology**. John Wiley & Sons, 2005.

- BRITO, G. A. Impactos Ambientais Gerados pelos Curtumes. In: Colóquio De Moda. **Anais...** Fortaleza. 2013.
- CÂMARA, R. P. de B.; GONÇALVES FILHO, E. V. Análise dos custos ambientais da indústria de couro sob a ótica da eco-eficiência. **Custos e @gronegocio on-line**, n.1, p. 87-100, Jan./Jun.2007. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v3/custos%20ambientais.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2016.
- CAMPOS, V. *et al.* Physicochemical characterization and evaluation of PGA bioflocculant in coagulation-flocculation and sedimentation processes. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, p. 3753-3760, 2016.
- CHACÓN, J. M.; LEAL, M. T.; SÁNCHEZ, M.; BANDALA, E. R. Solar photocatalytic degradation of azo-dyes by photo-Fenton process. **Dyes and pigments**, v. 69, n. 3, p. 144-150, 2006.
- CHAGAS, M. A. de. **Tratamento de efluente têxtil por processos físico-químico e biológico**. 2009.
- CHERYAN, M. **Ultrafiltration and Microfiltration Handbook**. Lancaster: CRC Press, 1998. 552 p.
- CHOY, K. K. H.; PORTER, J. F.; MCKAY, G. Film - pore diffusion models - analytical and numerical solutions. **Chemical engineering science**, v. 59, n. 3, p. 501-512, 2004.
- CICB – CENTRO DAS INDÚSTRIAS DE CURTUMES DO BRASIL. **O couro e o curtume brasileiro**. 2016. Disponível em: <[http://www.cicb.org.br/?page\\_id=6369](http://www.cicb.org.br/?page_id=6369)>. Acesso em 20 jan. 2017.
- CLAAS, I. C.; MAIA, R. A. M. **Manual básico de resíduos industriais de curtume**. Senai, 1994.
- CONCHON, J.A. Indústria têxtil e o meio ambiente. **Química Têxtil**, p. 13-16, 1995.
- CONSTANTINO, A. F.; YAMAMURA, V. D. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. **Anais...** Maringá-PR, 2009.
- COOPER, P. Removing color from dyehouse waste Waters – a critical review of technology available. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**. MPG Information Division. 109 (March). 97-100. 1993.
- COUTO FILHO, C. **O couro: história e processo**. UFC Edições, 1999.
- CROSSLEY, C. Membrane filtration technology in the dye industry. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**. MPG Information Division. 114 (July/August). 194-196. 1998.

- FERREIRA, E. L. Pele, Couro, Moda: a matança de animais e o cromo. In: **Etnobotânica**, 2011. Disponível em: < <http://www.etno-botanica.com/2011/02/peles-couro-moda-matanca-de-animais-e-o.html> >. Acesso em: 10 out. 2016.
- FREIRE, R. S. *et al.* Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química nova**, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000.
- FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. de C.; BRUNO, M. Aplicação de material zeolítico sintetizado de cinzas de carvão como adsorvente de poluentes em água. **Eclética Química**, v. 34, n. 1, p. 45-50, 2009.
- GALINDO, C.; JACQUES, P.; KALT, A.; *J. Photochem. Photobiol. A* **2000**, 130,
- GEROMEL, C. G. A. **Tratamento físico-químico de efluentes de curtume por meio de filtros de membrana seletiva**. 2012.
- GIACOBBO, A. *et al.* **Microfiltração aplicada ao tratamento de efluentes de curtumes**. VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, Porto Alegre, 2010.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GUTTERRES, M. Desenvolvimento sustentável em curtumes. In: XVI Encontro Nacional dos Químicos e Técnicos da Indústria do Couro. **Anais...** Foz do Iguaçu. 2003.
- GUTTERRES, M. Tendência Emergentes na Indústria do Couro. **Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2005.
- HALLER, M. Tratamento de efluentes. **Textília**, São Paulo: Editora Brasil Têxtil Ltda, (7), p.48-49, 1993.
- HOINACKI, E. *et al.* Peles e couros; origens, defeitos, industrialização. In: **Peles e couros; origens, defeitos, industrialização**. SENAI, 1989.
- HOINACKI, E.; MOREIRA, M. V.; KIEFER, C. G. **Manual básico de processamento do couro**. 1994.
- IULTCS. **IUE 6: pollution values from tannery processes under conditions of good practice**. [S.l.], 2008. Disponível em: <[http://www.iultcs.org/pdf/IUE6\\_2008.pdf](http://www.iultcs.org/pdf/IUE6_2008.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2016.
- JORDÃO, C. P. *et al.* Contaminação por crômio de águas de rios proveniente de curtumes em Minas Gerais. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 47-52, 1999.
- KENNEDY, M. D. Water treatment by microfiltration and ultrafiltration. In: LI N. *et al.* (Ed.) **Advanced membrane technology and applications**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. 994 p.

KUNZ, A. *et al.* Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LAGUNAS, F. G.; LIS, M. J. Tratamento de efluentes na indústria têxtil algodoeira. **Química Têxtil**, v.50, p. 6-15, 1998.

LIGER, I. Moda em 360 graus: design, matéria-prima e produção para o mercado global. **São Paulo: Editora Senac. São Paulo**, 2012.

LOFRANO, G.; MERIÇ, S.; ZENGIN, G. E.; ORHON, D. Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review. **Science of the Total Environment**, v. 461-462, p. 265-281, 2013.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, F. **Reúso da água**. 3 ed. Barueri: Manuelie, 2003.

MEDEIROS, D. R. **Eficiência, Sedimentabilidade e Composição da Microfauna de Lodos Ativados de Fluxo Contínuo e em Batelada, removendo Nitrogênio**. Dissertação de Mestrado. UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2005.

METCALF, L.; EDDY, H. P.; TCHOBANOGLIOUS, G. Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse. **McGraw-Hill, New York**, 1991.

NAEEM, K.; OUYANG, F. Influence of supports on photocatalytic degradation of phenol and 4-chlorophenol in aqueous suspensions of titanium dioxide. **Journal of Environmental Sciences**, v. 25, n. 2, p. 399-404, 2013.

NEOTEX. Processos de tratamento: Tratamento biológico. In: Seminário sobre controle de efluentes têxteis, 1985, São Paulo. **Trabalhos técnicos...** São Paulo:

NIETO, R. Caracterização ecotoxicológica de efluentes líquidos industriais: ferramenta para ações de controle da poluição das águas. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2000.

OKUDA, T. *et al.* **Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed**. Water Research, v. 33, n. 15, pp. 3373-3378, 1999. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00046-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00046-9)>. Acesso em: 13 mai. 2017.

OLIVEIRA, G. J. de. Jeans - A Alquimia da Moda. **Produção Independente. 1ª Edição**, 2008.

PABBY, A. K.; RIZVI, S. S. H.; SASTRE, A. M. (Eds.). **Handbook of membrane separations: chemical, pharmaceutical, food and biotechnological applications**. Boca Raton: Editora Taylor & Francis, 2009. 1207 p.

PACHECO, J. W. F. **Guia Técnico Ambiental de Curtumes**. 1 ed. CETESB, 2005. São Paulo. (Série P+L). Disponível em: < [http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao\\_limpa/documentos/curtumes.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/curtumes.pdf) >. Acesso em: 20 set. 2016.



PACHECO, J. W. F.; FERRARI, W. A. **Guia Técnico Ambiental de Curtumes**. 2. ed. CETESB, 2014. São Paulo. (Série P+L). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/49/2013/12/guiaP+L-curtumes-2-ed-CA-couros.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2016.

PASCOAL, S. A. *et al.* Aplicação de radiação UV artificial e solar no tratamento fotocatalítico de efluentes de curtume. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1082-1087, 2007.

PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J. Características e sistemas de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis – uma primeira abordagem. **Química Têxtil**. São Paulo: ABQCT, (52), 22-39, 1998.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água**. 2008. 78 f. Trabalho de Diplomação – Curso Superior de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RAMOS, M. C. *et al.* Decomposição térmica de resíduos de couros curtidos ao cromo (III)–influência da granulometria. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2, n. 3, 2007.

RIBA, M. T. L.; MIRÓ, E. P. **O couro**: as técnicas para criar objectos de couro explicadas com rigor e clareza. Lisboa: Editorial Estampa, 2007.

ROPKE, C. R. V.; PALMEIRA, E. M. Competitividade das exportações brasileiras de couro. **Revista Acadêmica de Economia**, n. 71, p. 1-7, 2006.

RUBILAR, C. S. **Clarificação química com coagulante  $PG\alpha 21Ca$  e fotocátalise heterogênea aplicada ao tratamento de efluente de curtume** – PR. 2017. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.

SANTOS, T. Z. *et al.* Estudo da utilização de floculantes alternativos e naturais em tratamento de água. **Anais... Expo UT2010**. Toledo. Paraná. 2010.

SAUER, T. **Tratamento de Efluentes de Curtume Através do Processo Combinado de Degradação Fotocatalítica Seguida por Adsorção em Carvão Ativado**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Curso de Pós Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis – SC.

SCAPINI, L. **Avaliação do Desempenho da Osmose Reversa e da Troca Iônica para Tratamento de Efluente de Curtume (Aimoré Couros Ltda–Encantado) Visando a Reutilização da Água**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de Santa Cruz do Sul.

SCHRANK, S. G. *et al.* **Tratamento de efluentes da indústria de couros através de processos avançados de oxidação**. 2003.

SHAO-IAN, D., LING, L., MENG-JUN, Z. **Study on the Ammonia Nitrogen Removal from Tannery Wastewater by Natural and Synthetic Zeolite.** XXX Congress of the International Union of Leather Technologists and Chemists Societies, Pequim, 2009b.

SHAO-IAN, D., LING, L., MENG-JUN, Z. **Study on the Characteristics of Nitrogen Transformation in Effluents from Cattlehide Leather-making Process.** XXX Congress of the International Union of Leather Technologists and Chemists Societies, Pequim, 2009a.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, G. de S. **Aplicação de coagulantes naturais e químicos para tratamento do efluente de indústria de curtimento de couro.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

STREIT, K. F. **Estudo da aplicação de processos de separação com membranas no tratamento de efluentes de curtume: nanofiltração e eletrodialise.** 2011.

SURI, R. P. *et al.* Heterogeneous photocatalytic oxidation of hazardous organic contaminants in water. **Water Environment Research**, v. 65, n. 5, p. 665-673, 1993.

Van HAANDEL, A. *et al.* **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção.** v.2, PROSAB, Fortaleza, 2009.

VANACÔR, R. N. **Avaliação do coagulante orgânico *veta organic* utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público.** 2005. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

VIEIRA, P. F.; WEBER, J. Introdução geral: sociedades, naturezas e desenvolvimento viável. **Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental.** São Paulo: Cortez, p. 17-49, 1997.

VON SPERLING, M. **Lodos ativados.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 3ª ed. Belo Horizonte, 2005.

ZHOU, J. *et al.* Pilot study of ultrafiltration-nanofiltration process for the treatment of raw water from Huangpu River in China. **Journal Water Resource and Protection**, Irvine, n. 3, p. 203-209, 2009.

ZIMPEL, F. **Desempenho de coagulantes combinados para tratamento de efluentes de curtume.** 2013.