

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO  
DE SECADOR TÉRMICO ROTATIVO DE LODOS COMO  
ALTERNATIVA DE REDUÇÃO DO VOLUME DE LODOS  
TÊXTEIS**

**Priscila Ferreira Curi**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
NOVEMBRO/2007**

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO  
DE SECADOR TÉRMICO ROTATIVO DE LODOS COMO  
ALTERNATIVA DE REDUÇÃO DO VOLUME DE LODOS  
TÊXTEIS**

**Priscila Ferreira Curi**

**Trabalho apresentado à Universidade  
Federal de Santa Catarina para Conclusão  
do Curso de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental**

**Orientador  
Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
NOVEMBRO/2007**

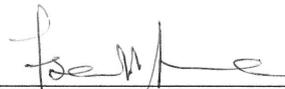
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE SECADOR  
TÉRMICO ROTATIVO DE LODOS COMO ALTERNATIVA DE REDUÇÃO DO  
VOLUME DE LODOS TÊXTEIS**

**PRISCILA FERREIRA CURI**

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos  
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental–TCC II**

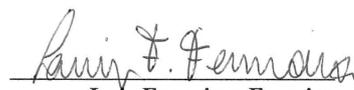
**BANCA EXAMINADORA:**



**Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna  
Universidade Federal de Santa Catarina**



**Doutoranda Elivete Carmem Clemente Prim  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental  
Universidade Federal de Santa Catarina**



**Luiz Francisco Ferreira  
Departamento Comercial Albrecht  
Equipamentos Industriais Ltda**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
NOVEMBRO/2007**

## AGRADECIMENTOS

Deixo aqui expressa minha sincera manifestação de gratidão e respeito ao Professor e orientador Fernando Sant'Anna, por toda a ajuda na estruturação do trabalho, definição do tema e objetivos, compreensão, paciência, incentivo, apoio e, sobretudo, confiança ao longo do caminho.

Ao Luiz, da Albrecht, por toda boa vontade em auxiliar na realização do trabalho, disponibilizando as informações necessárias e contribuindo com idéias e conclusões oportunas.

Ao namorado Gustavo, minha família e amigos, pelo carinho e incentivo, por compreenderem minhas ausências, por estarem presentes e colaborando nesta etapa final da graduação, sempre dispostos a ajudar.

## RESUMO

Todos os processos produtivos de uma organização geram um impacto ambiental. As exigências ambientais para as indústrias vêm crescendo consideravelmente, tornando a busca de processos mais limpos e sustentáveis sempre constante na política das grandes empresas. No caso das indústrias têxteis, um dos passivos ambientais que mais preocupam, é o lodo proveniente das estações de tratamento de efluentes - ETEs. A geração e disposição de lodos têxteis constitui um problema de dimensões consideráveis, não só para as indústrias, como para toda a sociedade, tendo em vista que o volume a ser disposto em aterros industriais é muito elevado e o custo do transporte, para as empresas, será em função do peso do lodo a ser transportado. A desidratação do lodo é uma operação que pode ser realizada de forma natural, através de leitos de secagem ou lagoas de lodo, ou mecanicamente, por meio de centrífugas, filtros-prensa, filtro a vácuo ou secagem térmica. Esta última promove a redução da umidade através da evaporação da água e destruição dos organismos patogênicos. Apesar do custo operacional desta operação ser muito elevado, ela proporciona uma das mais eficientes formas de remoção de umidade de lodos. O tema do presente estudo está centrado na problemática da disposição final de lodos têxteis e será focado na viabilidade econômica de implantação de um equipamento de secagem térmica para as indústrias do setor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de Efluentes Têxteis, Lodo, Indústria Têxtil, Disposição final de Resíduos.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                                   | <b>6</b>  |
| <b>2. OBJETIVOS</b>                                    | <b>10</b> |
| 2.1. <i>OBJETIVO GERAL</i>                             | 10        |
| 2.2. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>                      | 10        |
| <b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                        | <b>11</b> |
| 3.1. <i>PROCESSO PRODUTIVO NA INDÚSTRIA TÊXTIL</i>     | 11        |
| 3.2. <i>EFLUENTES TÊXTEIS</i>                          | 13        |
| 3.2.1. <i>TOXICIDADE DO EFLUENTE TÊXTIL</i>            | 14        |
| 3.2.2. <i>METAIS PESADOS NO EFLUENTE TÊXTIL</i>        | 14        |
| 3.3. <i>RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NO PROCESSO</i>       | 15        |
| 3.3.1. <i>LODO TÊXTIL</i>                              | 16        |
| 3.3.2. <i>MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS</i>                  | 16        |
| 3.4. <i>REMOÇÃO DA UMIDADE DOS LODOS</i>               | 21        |
| 3.4.1. <i>DIGESTÃO DE LODO ATRAVÉS DO ÁCIDO FÓLICO</i> | 24        |
| 3.5. <i>TIPOS DE TRATAMENTO PARA O LODO TÊXTIL</i>     | 26        |
| <b>4. METODOLOGIA</b>                                  | <b>30</b> |
| 4.1. <i>DADOS OBTIDOS</i>                              | 31        |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                       | <b>33</b> |
| <b>6. CONCLUSÃO</b>                                    | <b>34</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                   | <b>35</b> |
| <b>ANEXOS</b>  | <b>37</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Fluxograma fabril-têxtil básico e os resíduos sólidos gerados..... | 12 |
| Figura 2: Esquema do sistema de lodos ativados.....                          | 27 |
| Figura 3: Fluxograma ETE Teka – Blumenau .....                               | 29 |
| Figura 4: Secador Térmico Rotativo de Lodo – Bruthus .....                   | 31 |

# 1 INTRODUÇÃO

Há uma crescente preocupação do setor industrial com relação às exigências de processos ecologicamente corretos que promovam um desenvolvimento sustentável de suas atividades, no intuito de compatibilizar as técnicas e ferramentas utilizadas no processo fabril com o meio ambiente. As certificações de saúde e segurança (ISO 18000), da qualidade de produção (ISO 9000) e da qualidade ambiental (ISO 14000), implementadas nas empresas com o objetivo de manter a competitividade no mercado nacional e externo, exigem amplos conhecimentos dos insumos utilizados e de seus impactos ambientais.

Além da pressão do mercado consumidor nacional e internacional, outros fatores como a cobrança de instituições públicas e privadas e o ganho econômico, interferem, em conjunto ou individualmente, nos lucros ou prejuízos das empresas, mudando a mentalidade ecológica dos produtores de bens e serviços. A questão deixa de ser puramente ecológica e ideológica para ser um diferencial de desempenho econômico no mundo altamente competitivo em que nos encontramos (Carreira, 2006).

As atividades industriais têxteis se disseminaram muito nos últimos anos, desenvolvendo-se mundialmente por seu potencial econômico e social, atraindo consigo novos problemas devido à eliminação de rejeitos tóxicos gerados pela indústria. O descarte desses produtos tóxicos é um dos assuntos de maior relevância em controle de poluição, o que tem levado os pesquisadores a buscar procedimentos e equipamentos mais eficientes para diminuir ou eliminar a toxicidade desses passivos ambientais, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, sempre levando em conta as regulamentações e legislações voltadas à proteção ambiental.

A indústria têxtil é um dos maiores setores industriais do mundo em termos de produção e número de empregados, bem como, em termos de produção de efluentes líquidos. São requeridos aproximadamente 80 litros de água para produzir um 1 kg de tecido.

Os pólos têxteis mais antigos (com criação superior a 50 anos) e bem-sucedidos do Brasil são os de Americana (SP) (tecidos planos algodão) e Blumenau (SC) (tecidos de malharia algodão). Conjuntamente, os dois pólos possuem mais de 100 indústrias de acabamento têxtil - tingimento e estamparia (Sindtex e Sinditec - 2002).

A região de Americana é responsável por 85% da produção nacional de tecidos planos de fibras artificiais e sintéticas, por essa razão, é considerado o “maior pólo têxtil de tecidos planos de fibras artificiais e sintéticas da América Latina” (Sinditec, 2003). A cidade de Americana está localizada na Região Leste do Estado de São Paulo, a 124Km da capital, e tem uma população de aproximadamente 200.000 habitantes. Fazem parte do pólo têxtil de Americana as indústrias das cidades de Nova Odessa, Santa Barba D’Oeste e Sumaré, que juntas aglutinam cerca de 725 tecelagens, 05 fiações, sendo 02 de fibras naturais (algodão) e 03 de fibras artificiais e sintéticas, além de 50 indústrias de acabamento de tecidos (tinturarias e estamparias).

A Cetesb - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - é a agência do Governo do Estado de São Paulo responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo, e foi criada em 24 de julho de 1968. A Cetesb é um dos 16 centros de referência da Organização das Nações Unidas - ONU para questões ambientais. Tornou-se, também, uma das cinco instituições mundiais da Organização Mundial de Saúde - OMS para questões de abastecimento de água e saneamento, além de órgão de referência e consultoria do Programa da ONU para o Desenvolvimento em relação às questões ligadas a resíduos perigosos na América Latina (Cetesb 2003).

O maior pólo têxtil de Santa Catarina, e tido como um dos maiores da América Latina, é o do Vale do Itajaí – Região Nordeste do Estado. As primeiras unidades industriais têxteis da região localizam-se em Blumenau, que é a capital do pólo têxtil catarinense, e datam de 1878 e 1882, com a fundação das indústrias Cia Hering e Karsten S/A respectivamente. Outras cidades, como Brusque, Jaraguá do Sul e Criciúma, esta última no Sul catarinense, também têm indústrias do ramo. No total são mais de 4.500 empresas, empregando 86.000 funcionários, representando em média 25% das indústrias do Estado. (SINTEX 2004, citado por Carreira 2006).

A importância desse segmento industrial chama a atenção nos aspectos ambientais relacionados com esta atividade. As operações de limpeza, tingimento e acabamento em uma indústria têxtil dão origem a um grande volume de efluentes. A recirculação desses rejeitos e recuperação dos produtos químicos e subprodutos constituem os maiores desafios enfrentados pela indústria têxtil, com o objetivo de reduzir os custos com o tratamento de seus rejeitos.

A Fundação do Meio Ambiente – FATMA, criada em 1975, é o órgão responsável pelo ambiente no Estado de Santa Catarina. Está dividida em 8 unidades regionais, entre elas a Regional do Vale do Itajaí, com sede em Blumenau. A missão do órgão é garantir a preservação dos recursos naturais, através de fiscalização, emissão de licenciamento ambiental, programa de prevenção de acidentes com cargas perigosas, geoprocessamento, estudos e pesquisas ambientais, além da determinação da balneabilidade das águas do Estado, em parceria com os órgãos ambientais municipais e a Polícia Ambiental (FATMA, 2004).

A tecnologia ambiental utilizada atualmente no processo têxtil é fruto do desenvolvimento ocorrido nas décadas de 1970, 1980 e 1990, desenvolvimento este que teve início na conscientização do homem em relação às necessidades de se controlar a poluição. Neste período constata-se uma grande evolução no campo da gestão ambiental, principalmente nas áreas de efluentes líquidos e gasosos (Carreira, 2006). O desempenho significativo na área de tratamento de efluentes líquidos e gasosos deve-se ao fato de a poluição nelas ser pontual, assim os efeitos sobre o ambiente são concentrados apenas em alguns pontos e se dissipam facilmente no ecossistema global (mares e/ou atmosfera).

Já em relação ao tratamento dos resíduos sólidos dessas indústrias, a agressão torna-se difícil de ser detectada em curto prazo dada à baixa velocidade de penetração dos elementos contaminantes do solo, que apresentam um tempo de dissipação maior em comparação aos efluentes líquidos e/ou gasosos, podendo

chegar a algumas décadas ou mesmo até muitos anos depois da própria desativação do sistema de tratamento. Com isso, a pressão exercida pela sociedade sobre os órgãos fiscalizadores também sofre um retardo, até que seja percebido o problema, tendo por consequência uma demora para que as exigências se convertam em ações de controle dos focos, e avancem os estudos sobre novas tecnologias para a área em questão.

É relativa aos lodos provenientes de estações de tratamento de efluentes têxteis a principal abordagem deste trabalho. Quanto ao tratamento destes, atualmente estão sendo implementadas algumas soluções, que dependem primeiramente e principalmente de um adequado tratamento para os efluentes líquidos, pois na maioria das situações a origem primária dos resíduos sólidos está no emprego de soluções para os resíduos líquidos através de coagulação, floculação, flotação, sedimentação, filtração e desidratação.

A problemática do tratamento do lodo nas indústrias têxteis (fase sólida) decorre do grande volume gerado nas ETEs dessas indústrias e o alto custo operacional e com o transporte e destinação final deste resíduo. Justamente por representar uma porcentagem considerável do custo de operação de uma ETE (20 a 60%), a escolha da alternativa do processamento e destinação final do lodo deve ser parte integrante do projeto da Estação, considerando-se de forma vinculada, a qualidade do esgoto a ser tratado, o tipo de tratamento, o processamento do lodo e seu destino final. É fundamental conhecer também as características do lodo que irão condicionar a escolha do tipo de processo para a sua desidratação.

## **2 OBJETIVOS**

### ***2.1 Objetivo Geral***

Pretende-se com a realização deste trabalho pesquisar e estudar os aspectos que envolvem a geração de lodo em um sistema de tratamento de efluentes têxteis com a finalidade de analisar a viabilidade econômica da utilização do secador térmico rotativo de lodos têxteis – Bruthus como alternativa de redução do volume destes resíduos.

### ***2.2 Objetivos Específicos***

- Pesquisar o sistema de tratamento de efluentes das principais indústrias têxteis de Santa Catarina e algumas do pólo fabril de Americana, em São Paulo, com ênfase na geração do lodo têxtil;

- Estudar a viabilidade econômica da implantação de um secador térmico rotativo de lodos – Bruthus, como alternativa de redução do volume de lodos têxteis;
- Comparar o dispêndio financeiro neste secador térmico aplicando o mesmo valor gasto no equipamento em um investimento bancário, a uma taxa de 0,8% ao mês;

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Processo Produtivo na Indústria Têxtil**

O processo produtivo da cadeia têxtil inicia-se com a seleção da matéria-prima, onde é possível o beneficiamento de diversos tipos de fibras.

As fibras têxteis podem ser de origem:

- *natural* (animal, vegetal ou mineral)
- *manufaturadas ou químicas* (sintéticas e artificiais)

Dentre as fibras *naturais* destacam-se:

- Seda e Lã (animal)
- Linho e Algodão (vegetal)
- Abesto e Amianto (mineral)

As fibras *manufaturadas* podem ser produzidas a partir de celulose regenerada (viscose e acetato) ou totalmente sintéticas (poliéster e poliamida).

A diversificação da matéria prima tem como consequência a geração de uma variedade grande de produtos finais, os quais exigem também muitos produtos auxiliares, além de constantes alterações de ordem operacional (tempo e produtos) no processo têxtil.

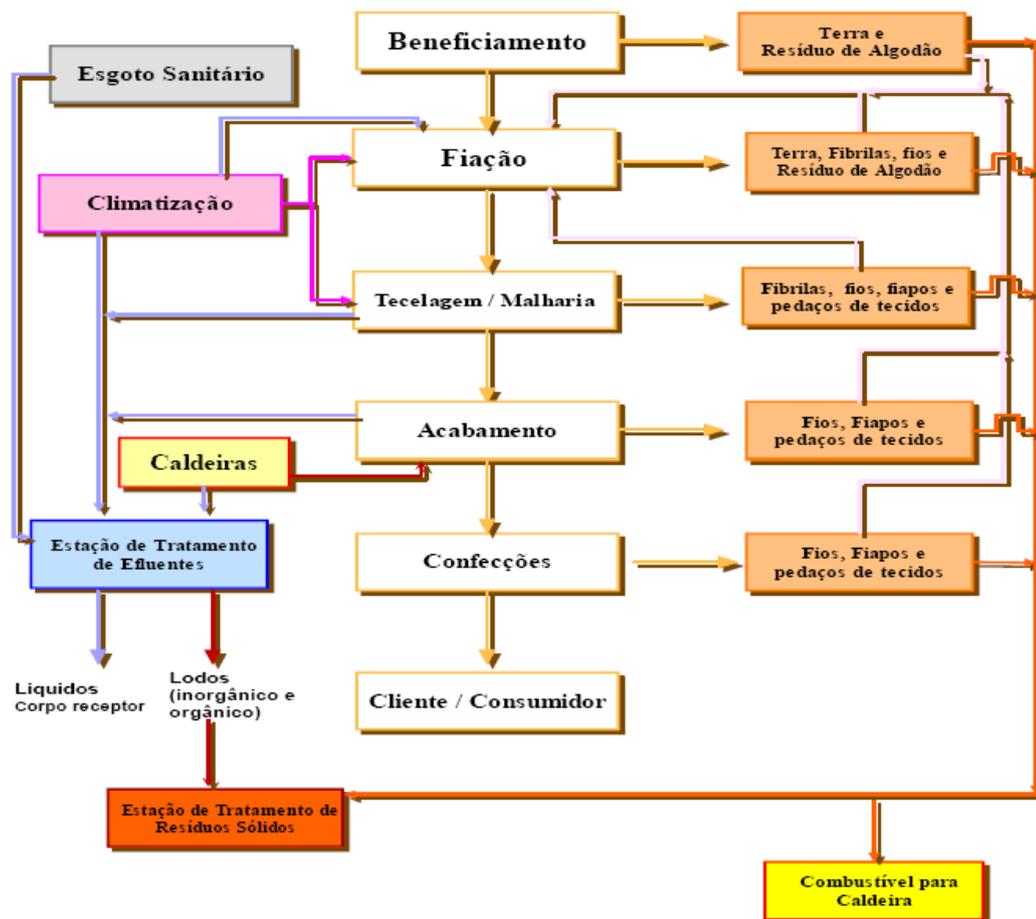


Figura 1 – Fluxograma fabril-têxtil básico e os resíduos sólidos gerados.

Fonte: Adaptação de Carvalho (1991).

Apesar dos diferentes sistemas de produção têxtil, decorrente do produto final que se deseje fabricar, é possível caracterizar o processo têxtil como um conjunto básico de operações, que se inicia a partir do beneficiamento da matéria prima, seguindo-se para a fiação, indo para a tecelagem plana ou para a malharia e, por último, para o acabamento e confecção.

Na figura 1 foram identificados os pontos de geração de resíduos (líquidos e sólidos) em cada etapa do processo. A seguir será feita a descrição sucinta de cada etapa do fluxograma:

- **Beneficiamento:** preparação das fibras para o processo de fiação onde todas as impurezas, tais como: plumas do caroço (no caso do algodão), casquinhas e terra são retiradas. Para a fibra natural a operação final dessa etapa é o enfardamento da pluma. Quanto às demais fibras (artificiais e sintéticas), o beneficiamento é considerado a própria constituição da fibra em si, e cada processo depende exclusivamente do tipo da fibra.

- **Fiação:** processo no qual as fibras, naturais ou sintéticas, são transformadas em fio ( filamentos contínuos) com o objetivo de dar consistência e aumento de resistência à ruptura do fio. Envolve várias etapas e respectivas máquinas: abertura, batedor, carda, passador, penteadeira, maçarocadeira, filatório, retorcedeira e conicaleira. A capacidade de produção dos fios é basicamente determinada pelos filatórios, classificados em três tipos: filatório de anéis, de rotores e *jet spinner*.
- **Tecelagem/ malharia:** é a transformação dos fios em tecidos pelo cruzamento da trama (fio transversal) e do urdume (fio paralelo), isso em relação ao comprimento do tecido. Segundo Leão et al. (2002), os tecidos podem ser classificados como planos ou malhas, a diferença entre eles está na forma do entrelaçamento dos fios que compõem o tecido. Os tecidos planos são produzidos em equipamentos denominados teares (convencionais ou jato de ar, jato de água, a projétil e pinça). Na tecelagem de malhas, o tecido é formado pelo entrelaçamento de um ou mais conjunto de fios através de um conjunto de laçadas, nas quais os fios não formam ângulos ortogonais entre si, o que ocorre com os tecidos planos. É uma operação puramente mecânica e exige que o fio tenha boa resistência à ruptura. Essa resistência é conseguida através da engomagem, onde o fio é embebido em um banho de goma à base de amido ou acrilato. Quando a goma seca, aumenta a resistência à ruptura, como se o fio estivesse engessado.
- **Acabamento:** é o tingimento ou a estampagem do tecido para posterior amaciamento e brilho. Os processos de acabamento podem ser classificados em beneficiamento a seco e a úmido, podendo ser contínuos ou descontínuos. O acabamento é dividido em três etapas:
  - beneficiamento primário: O tecido é preparado para as outras etapas subsequentes – tingimento ou estamparia. Essa preparação pode envolver mercerização ou alcalinização, purga e alvejamento ou pré-alvejamento;
  - beneficiamento secundário: o tecido é tingido ou estampado;
  - beneficiamento terciário: compreende uma série de processos que objetivam conferir ao material melhor estabilidade dimensional, melhor toque e características especiais, como, por exemplo, impermeabilização à água.
- **Confecção:** operações físicas de corte e costura para dar forma e modelagem aos artigos têxteis.

### **3.2 Efluentes Têxteis**

Na indústria têxtil, a água é a matéria prima mais utilizada na manufatura dos produtos. Assim, os despejos ricos em substâncias orgânicas, constituem uma enorme preocupação, sobretudo os materiais sintéticos e os metais pesados. Devido ao grau de variedade de fibras, corantes e produtos de acabamento em uso, quase todas as etapas dos processos têxteis geram efluentes de grande complexidade e diversidade química. O efluente final têxtil é caracterizado por altas concentrações de corantes, pigmentos e substâncias químicas.

### **3.2.1 Toxicidade do Efluente Têxtil**

Leão et al. (2002) afirmam que o grau de toxicidade dos efluentes têxteis varia, consideravelmente, em função das instalações e processos. Essa toxicidade pode apresentar-se alta ou até mesmo nula, dependendo dos insumos utilizados. Apesar da falta de conhecimento quanto à exata composição ou toxicidade de muitos corantes e auxiliares químicos utilizados na indústria têxtil, grupos genéricos de agentes químicos contribuem para o problema. Dentre esses agentes destacam-se: corantes, sais, agentes tensoativos, metais, orgânicos tóxicos, biocidas e ânions tóxicos.

A toxicidade do efluente têxtil é mais relevante quanto mais se faz uso de corantes baseados em metais pesados, enxofre e grupamento azóicos, além de outros elementos como os surfactantes, os produtos auxiliares não-degradáveis e outros compostos, como fenóis, solventes aromáticos, metileno, cloretos, ácido oxálico e muito outros, que são usados em diversos processos específicos de tingimento.

Quanto aos efeitos tóxicos dos corantes, pode-se concluir com a leitura de diversas bibliografias sobre o tema, que entre os diferentes tipos de corante existentes no mercado, os que apresentam maior toxicidade são os do grupo azo, pois o meio redutor se apresenta como um ambiente propício para a clivagem redutiva (é o mecanismo pelo qual os compostos azóicos de base benzidina formam aminas aromáticas) nos anéis aromáticos e conseqüente formação de aminas aromáticas com potencial carcinogênico e mutagenicidade.

Ainda segundo Leão et al. (2002), outras fontes de toxicidade dos efluentes têxteis são os agentes seqüestrantes, como o EDTA, que formam complexos estáveis com os metais pesados. Esses complexos podem passar incólumes pelas unidades de tratamento e uma vez nos corpos receptores serem decompostos, liberando os metais no meio ambiente.

### **3.2.2 Metais pesados no efluente têxtil**

A presença dos metais pesados nos efluentes têxteis pode ser atribuída tanto às moléculas de corante (pela estrutura própria ou contaminação do processo de fabricação do corante) quanto aos produtos auxiliares envolvidos no processo de tingimento ou acabamento (pela presença de pigmentos para estamparia). Além disso, também se deve considerar a possibilidade de a matéria-prima (fibras, fios e tecidos) conter resíduos de metais.

As possíveis fontes de geração de metais na indústria têxtil são:

- Fibras do tecido;
- Águas de processo;
- Corantes;
- Corrosão nas canalizações e encanamentos;
- Impurezas nos produtos químicos.

Para os sistemas de tratamento de efluentes têxteis com processo biológico, os metais pesados podem inibir a ação dos microrganismos e inferir diretamente no desempenho do tratamento. Tratando-se de tratamentos biológicos aeróbios, até certos limites de toxicidade os microrganismos aeróbios ainda apresentam uma boa capacidade de adsorção dos metais. Por isso, a importância para os projetistas do conhecimento prévio da base do processo industrial (tipos de corantes e formas de tingimento utilizados) é essencial para se ter um sistema de tratamento de efluentes que atenda às condições de lançamento do despejo nos corpos receptores.

### **3.3 Resíduos Sólidos Gerados no Processo**

A origem primária dos resíduos têxteis é o processo produtivo, e como origem secundária tem-se o próprio tratamento dos efluentes líquidos, o qual provoca a reincidência dos resíduos (formação do lodo), principalmente nos processos de separação líquidos – corantes (lodo químico) e líquidos – microorganismos (lodo biológico).

Os sólidos da indústria têxtil têm duas características físicas distintas: são secos ou úmidos. Os secos são, por exemplo, resíduos de fibras celulósicas e demais fibras, e seu reaproveitamento como subprodutos no próprio processo têxtil é perfeitamente viável. Caso este reaproveitamento não se concretize, tem-se a alternativa de poder usá-los como combustível na caldeira (co-incineração). Os úmidos podem ser subdivididos em químicos e biológicos: no tratamento primário (físico-químico) se obtêm os resíduos sólidos químicos e no tratamento secundário se obtêm os sólidos biológicos (biosólidos). Em geral os dois tipos de sólidos são misturados, para serem estabilizados em um posterior tratamento terciário (desidratação e secagem).

A base úmida do sólido representa uma fonte residual de difícil tratamento, principalmente aqueles com características químicas. Devido ao alto grau de dispersão dos corantes, os flocos formados apresentam densidade muito semelhante à da água, o que dificulta a definição de uma operação (decantação ou flotação) para a remoção dos sólidos através de um tratamento físico-químico. Uma etapa necessária, tanto na decantação quanto na floculação, é a coagulação, geralmente realizada através de sais trivalentes, como o alumínio e o ferro. Os polímeros aniônicos também podem ser usados para melhorar a precipitação desses resíduos (flocos). A quantidade de coagulante usada para a precipitação dos corantes é de 20 a 300mg/l e de 5 a 20mg/l para o polímero aniônico (NUNES, 2001).

Considerando-se o emprego de água na ordem de 100 a 150L por quilograma de tecido processado, a quantidade de produtos químicos utilizados para remoção dos corantes pode ser da ordem de 30g/kg de tecido. Gera-se então um volume de lodo da ordem de 100 a 150ml/l, o que, para alguns casos (indústrias), pode significar algumas dezenas de toneladas de lodo diariamente.

O esgoto sanitário gerado pelos trabalhadores é inicialmente tratado separado dos demais efluentes industriais; somente em uma segunda etapa do tratamento (aeróbia) é que o esgoto passa a ser misturado ao efluente industrial.

Na indústria têxtil, praticamente todos os resíduos sólidos são reaproveitados ou reciclados. O grande problema são resíduos gerados nos sistemas de tratamento de efluentes, designados de lodo químico, biológico ou têxtil.

### **3.3.1 Lodo Têxtil**

A formação do lodo têxtil (químico e/ou biológico) é consequência de duas situações distintas: a primeira é aquela em que a legislação ambiental exige a remoção da cor dos despejos, e a segunda é a estabilização do processo biológico através da retirada de excesso de massa celular. Na primeira situação, o lodo é formado pela remoção do corante residual geralmente por meio de um processo físico-químico (coagulação, floculação, sedimentação ou flotação). Nessa situação se tem a formação de quantidade expressiva de lodo químico, principalmente quando o processo está posicionado a montante do biológico. Ainda em relação a essa primeira situação, o processo físico-químico pode ser empregado em conjunto com o processo biológico, caso esse seja o de lodos ativados, ou ainda, ser posicionado a jusante do biológico. A segunda situação de formação de lodo têxtil surge como forma de estabilização do processo biológico, ou seja, a retirada de massa celular do processo possibilita manter o equilíbrio entre a quantidade de alimento (carga poluente) e o número de microrganismos em valores predeterminados em projeto (Carreira, 2006).

Para Martins (1997), o processo físico-químico antes do processo biológico é uma situação em que se formam grandes quantidades de lodo químico. O autor afirma que em ensaios realizados em Sistemas de Tratamento de Efluentes Têxteis a simples eliminação do processo físico-químico propiciou a redução de 50 a 80% do lodo gerado. Caso a exigência ambiental for por remoção completa da coloração, o processo físico-químico terá de ser substituído por outro sem geração de lodo, como, por exemplo, os processos oxidativos. O mesmo autor ainda cita que o volume de lodo biológico também pode ser reduzido em aproximadamente 50% caso se faça uso de oxigênio puro no processo biológico.

### **3.3.2 Minimização de resíduos**

A importância da aplicação de uma sistemática para a redução de geração de resíduos na fonte tem se tornado cada vez mais crescente para as indústrias brasileiras do setor têxtil devido ao alto custo da matéria-prima, do tratamento dos efluentes, do tratamento da água captada de fontes superficiais, além da possível tarifação prevista pela Lei Federal 9.433/97 do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

A CETESB, em 1998, iniciou um programa pioneiro no Brasil na aplicação de técnicas de minimização (redução, recuperação ou reciclagem) do resíduo industrial dos processos produtivos. Um dos primeiros segmentos escolhidos para a aplicação do programa foi o setor têxtil, através das empresas Santista Têxtil S/A e Cermatex – Indústria de Tecidos Ltda. que foram voluntárias neste projeto denominado de P+L/P2.

O P+L é um programa idealizado pela United Nations Environmental Programme (UNEP), órgão ambiental das Nações Unidas, e se caracteriza por uma aplicação contínua de estratégias ambientais preventivas e integradas aos processos, produtos e serviços. Já o programa P2 é uma adaptação do P2 (Pollution Prevention – EPA) para as condições brasileiras que, em resumo, refere-se a qualquer prática, processo, técnica ou tecnologia que tenha o propósito de minimização de resíduos. A junção dos dois programas originou o P+L/P2, com os seguintes objetivos (CETESB):

- otimizar o uso de produtos auxiliares (água, produtos químicos e outros)
- reduzir a geração de resíduos;
- melhorar a qualidade ambiental local e global;
- desenvolver de responsabilidades ambientais;
- reduzir custos no tratamento de resíduos e,
- desenvolver um fator competitivo ambiental.

Tendo em vista que medidas de prevenção à poluição implementadas refletem diretamente na eficiência do tratamento, extraiu-se da Compilação de Técnicas de Prevenção à Poluição nas Indústrias do Setor Têxtil, elaborada pela CETESB em 2000, as práticas que mais contribuem para a redução da carga poluidora, reduzindo ou eliminando os resíduos gerados:

#### **Quanto ao Consumo de Água:**

- nos processos contínuos que necessitam caixas de lavagem sucessivas, reutilizar a água em fluxo contra-corrente;
- reutilizar a água dos processos de resfriamento na lavagem dos pisos e/ou outras etapas do processo produtivo;
- remover o excesso de água do produto (fio ou tecido), antes dos processos subsequentes com a finalidade de evitar contaminações futuras;
- padronizar a quantidade de água utilizada nos processos, consumindo o mínimo possível, de modo a não alterar a qualidade do produto;
- reutilizar as águas provenientes do processo de neutralização e/ou subsequentes a esta etapa, no processo de lavagem de tecidos impregnados com agentes de alvejamento ou alcalinos (mercerização e caustificação);

- após o término do tingimento, armazenar o banho do processo, e sempre que for possível, refazer sua composição para reuso em um novo tingimento, pois além da economia dos produtos e consumo de água, minimiza-se a carga orgânica enviada à ETE;
- utilizar jatos de água sob pressão nas lavagens de pisos e equipamentos, ao invés de mangueiras não pressurizadas onde é maior o consumo de água;
- reutilizar as águas de lavagem dos cozinhadores na composição de uma nova receita de goma (sintética);
- reaproveitar as águas de enxágue dos tingimentos claros para as primeiras lavagens dos tingimentos escuros.

#### Quanto à Utilização/Substituição de Produtos Químicos:

- Substituir a **fécula de amido** por **composto modificado** a base de CMC (Carboximetilcelulose) ou CMA (Carboximetilamido) que é passível de recuperação em torno de 80%;
- Reduzir e/ou eliminar a utilização de tensoativos **a base de fenol**, como por exemplo os **alquilariletoxilatos**, por apresentarem toxicidade aos organismos aquáticos;
- Utilizar **corantes líquidos** em lugar de corantes em pó, pois mesmo tendo rendimentos semelhantes, os produtos de dispersão presentes em maior proporção nos corantes em pó, permanecem inalterados no banho e resultam em um aumento da DQO (Demanda Química de Oxigênio) do efluente a ser descartado;
- Evitar, quando possível, o uso de corantes com enxofre, cobre e cromo devido sua alta toxicidade aos organismos aquáticos;
- Utilizar as **sobras** dos corantes de tinturaria para reutilizá-los na formulação de cores escuras;
- Substituir os **oxidantes de cromatos por peróxidos de hidrogênio ou iodados**. Esta substituição elimina o cromo nos processos de tingimento, um contaminante potencialmente tóxico;
- Substituir os **ácidos orgânicos** por **ácido fosfórico**, durante o processo de tingimento, que proporciona fonte de nutriente ao processo de tratamento biológico, representando economia de sais de fósforo para a ETE;
- Na impossibilidade de se utilizar o **ácido fosfórico**, substituí-lo por **ácido acético**, que proporciona condições mais adequadas para a autodepuração durante o tratamento das águas residuárias. Não se deve esquecer de observar a concentração de fósforo no afluente da ETE, pois pode estar em excesso e, neste caso, há necessidade de diminuição do uso de fosfatados no processo industrial.
- Os processos de acabamento por impregnação (banhos curtos), praticamente não têm suas características alteradas quando armazenados, sendo passíveis de reutilização;
- Controlar adequadamente a temperatura dos banhos de tingimento, pois isto irá favorecer a **redução da quantidade** de produtos químicos, como **igualizantes/retardantes** que são utilizados nesse banho;

- Substituir os **agentes complexantes EDTA** (etileno diaminotetraacetato) e **DTPA** (dietileno diaminotetraacetato) por **fosfatados** (EDTMP e DTPMP) que são biodegradáveis;
- Quando houver **um excedente de fósforo no afluente da ETE**, substituir os **agentes complexantes: EDTMP** (etilenediaminotetrafosfato) e **DTPMP** (dietilenetriaminopentafosfato) por **NTA** (nitrilo triacetato) para evitar o fenômeno de **eutrofização** nos corpos receptores;
- Substituir as **enzimas** por **peróxido de hidrogênio** na etapa de engomagem, isto irá contribuir para a redução da carga orgânica do efluente, pois as enzimas degradam amido em dextrinas, que são carboidratos de baixo peso molecular, enquanto que o peróxido decompõe o resíduo em gás carbônico e água;
- Substituir o **hipoclorito e derivados de cloro** nos processos de branqueamento, por **peróxido de hidrogênio** evitando a formação de organoclorados que têm efeito carcinogênico;

#### Quanto à Substituição de Corantes:

- Substituir os **corantes do grupo "azo"** que após clivagem das aminas aromáticas produzem compostos carcinogênicos;
- Substituir ou limitar a utilização de **corantes que apresentam metal** em sua estrutura molecular;
- Substituir os **corantes sulfurosos** por aqueles denominados **sulfurosos ecológicos**, pois utilizam como agente redutor carboidrato (dextrose) ou mistura de carboidrato e hidrossulfito de sódio, favorecendo a redução do teor de enxofre no banho. O alto teor de sulfatos no efluente líquido pode ocasionar, sob condições anaeróbias, a redução do sulfato a sulfeto, formando o **gás sulfídrico**, que é tóxico para o ser humano, possuindo odor desagradável e provocando corrosão nas tubulações;
- Utilizar, sempre que possível, **corantes com níveis de fixação elevados**, pois, em sua maioria, não apresentam níveis de fixação na faixa de 100%. Pode-se dizer que quanto menor a taxa de fixação do corante, maior a quantidade de corante não absorvido pela fibra, isto acarretando elevação da carga gerada;

#### Quanto às Modificações no Processo:

- **Tamanho da cuba apropriado à quantidade de goma utilizada:** em muitos casos, a redução do tamanho das cubas, como nas engomadeiras, *foulards* e ramas, acarretará uma diminuição da quantidade residual da goma a ser descartada;
- **Tanques de armazenagem da goma:** em caso de empresas que possuem dois ou mais tanques de armazenagem de goma, recomenda-se a interligação de modo a permitir que a goma restante ao término de um processo, possa ser reutilizada por outra engomadeira, evitando-se o descarte desnecessário;

#### Quanto à Recuperação/Reuso de Produtos:

- Recuperar as gomas (sintéticas e/ou modificadas) para reutilização como por exemplo, através do **processo de ultra-filtração**. O processo de recuperação da goma através do **processo de ultra-filtração** consiste em filtrar o banho de desengomagem, com finalidade de reutilizar a goma no processo de engomagem. Esta medida é aplicável para gomas cujo amido encontra-se modificado (compound) e artificiais. **Nota:** O uso da goma sintética aumenta a vida útil dos banhos de engomagem e reduz a frequência e o volume de descarte.
- Recuperar o hidróxido de sódio, quando este se mostrar economicamente viável. Este procedimento depende do tipo de processo empregado na indústria e produtos utilizados;
- Recuperar, sempre que possível, a solução alcalina proveniente dos processos de mercerização ou caustificação para reuso;
- Comercializar as águas de lavagem, provenientes dos banhos de mercerização e caustificação, visto que são alcalinas e podem contribuir para neutralizar efluentes ácidos de outros segmentos industriais (sinergismo);
- Reutilizar as gomas (sintéticas e/ou modificadas) restantes de cada processo, em nova receita, considerando a compatibilidade para o fio.

#### **Quanto à Remoção de Cor do Efluente Têxtil:**

- **Ozonização:** O ozônio (O<sub>3</sub>) é um potente agente oxidante, duas vezes mais que o cloro. É utilizado no tratamento de efluente industriais, reduzindo a concentração de DQO e destruindo alguns compostos químicos como fenóis e cianetos. É considerado eficiente na remoção de cor por oxidar matéria orgânica dissolvida e formas coloidais presentes nos corantes, restabelecendo a coloração natural do efluente. A sua ação é instantânea, enquanto o cloro necessita de elevadas doses e longo tempo de contato para se obter o mesmo efeito. O custo de implantação do sistema pode ser elevado no caso de grandes vazões, uma vez que o sistema requer grande quantidade de energia elétrica. A maior vantagem resultante da utilização do ozônio quando comparado com outros agentes oxidantes ou desinfetantes, é a geração de um efluente com baixa toxicidade e alta concentração de oxigênio dissolvido. A cloração pode produzir organoclorados com alta toxicidade e cloraminas que além de tóxicas têm potencial mutagênico, isto é, podem causar modificação no código genético; enquanto que o ozônio tem produção parcial ou completa de matéria orgânica oxidada e oxigênio.
- **Uso de Polieletrólitos:** O emprego do processo de tratamento físico-químico, associado ao tratamento biológico, foi implementado em uma determinada indústria têxtil, cujos resultados mostraram-se eficientes, com relação ao efluente final tratado. Após equalização, o efluente é enviado a uma caixa de mistura acoplada a um tanque onde são adicionados sulfato de alumínio, resina e polieletrólitos, respectivamente. As partículas que dão cor ao efluente são adsorvidas pelo polieletrólito, formando flocos que são direcionados para o decantador físico-químico, sendo que a massa sólida do

decantador é lançada em um tanque de mistura, com adição de cal para posterior passagem pelo filtro prensa. O líquido sobrenadante é encaminhado ao processo de lodos ativados, onde recebe também o esgoto oriundo da própria indústria. O lodo gerado é separado no decantador **biológico**, 80% do efluente final tratado, isento de cor, é reutilizado no processo industrial e o restante lançado ao corpo receptor.

- **Uso de Cloreto Férrico:** A remoção de cor do efluente industrial através da adição de cloreto férrico como agente floculante, foi estudada em uma indústria utilizando-se uma solução contendo **0,06492 mg.ℓ-1 de FeCl<sub>3</sub>(P.A)**. A metodologia consistiu na utilização de testes de jarro (Jar-test) com 6 (seis) cubas com capacidade de 1 litro cada, empregando-se o liquor do tanque de aeração, onde continha diversas concentrações de FeCl<sub>3</sub> a serem testadas e uma cuba controle. Os resultados observados mostram que a concentração de FeCl<sub>3</sub> ideal para remoção de cor no efluente do tanque de aeração, especificamente desta indústria estudada, está compreendido na faixa entre 194,7 mg.ℓ-1 e 207,7 mg.ℓ-1, para um efluente bruto com 9.340 unidades de cor e 4.100 mg.ℓ-1 de sólidos em suspensão totais no tanque de aeração. A concentração de FeCl<sub>3</sub> considerada eficiente para remoção de cor depende de alguns fatores, como a concentração de sólidos em suspensão totais e a unidade de cor presentes no tanque de aeração. É importante considerar a atividade microbiana dentro do processo, pois dependendo da concentração de FeCl<sub>3</sub> poderá ocorrer inibição dos microrganismos. O emprego do cloreto férrico como floculante para remoção de cor no efluente do tanque de aeração, somente poderá ser consolidado após a determinação do efeito crônico deste composto no processo de tratamento, bem como no lodo biológico. Os resultados descritos neste manual são relativos ao efeito agudo, não sendo, portanto, conhecido os efeitos após longo período de aplicação.

### **3.4. Remoção da Umidade dos Lodos**

A remoção de umidade é uma operação fundamental para a redução de massa e de volume do lodo em excesso a ser tratado ou descartado da estação de tratamentos de efluentes.

Segundo Sperling et al. (2001), a ligação da água aos sólidos nos lodos deve-se a forças intermoleculares de diferentes tipos, distribuindo-se em quatro classes distintas, de acordo com a facilidade de separação:

- água livre;
- água adsorvida;
- água capilar;
- água celular.

A remoção da água livre é realizada de forma consistente por simples ação gravitacional ou por flotação. Um exemplo seria o que ocorre nos processos de

adensamento. A eficiência do adensamento pode resultar na redução de volume do lodo da ordem de 60% com relação ao volume original.

A água adsorvida e a água capilar exigem forças consideravelmente maiores para serem separadas dos sólidos presentes no lodo. Estas forças podem ser de origem química, quando do uso de floculantes, ou mecânicas, mediante a utilização de processos de desaguamento mecanizados, tais como filtros prensa ou centrífugas. Teores de sólidos superiores a 30% podem ser obtidos, resultando em um material denominado torta, de aparência semi-sólida. A remoção das águas livre, adsorvida e capilar do lodo pode resultar em uma redução do volume original de 90% a 95%.

A água celular é parte da fase sólida e só pode ser removida através de forças térmicas que provoquem uma mudança no estado de agregação da água. O congelamento e, principalmente, a evaporação constituem-se nas duas possibilidades disponíveis para a separação de água celular. Nesse sentido, o processo de secagem térmica é uma das mais eficientes formas de remoção de umidade de “tortas” oriundas do desaguamento de lodos industriais disponíveis atualmente em uso. Um teor de sólidos de até 95% pode ser obtido, tendo como produto final um sólido de aparência granulada ou em pó, dependendo do nível de secagem.

No fluxo do lodo em uma ETE, poderá haver as seguintes duas etapas de remoção da umidade dos lodos:

- adensamento
- desaguamento ou desidratação

No tratamento do lodo é comum utilizar-se de unidades de adensamento, com a finalidade de se obter um efluente clarificado e um material com maior concentração de sólidos. Dessa forma, há uma redução na carga volumétrica e um aumento na eficiência dos processos subseqüentes de separação sólido-liquido. O adensamento é mais utilizado nos processos de tratamento primário, lodos ativados e filtros biológicos percoladores, tendo importantes implicações no dimensionamento e na operação dos digestores. Os principais processos utilizados para o adensamento do lodo são:

- adensadores por gravidade
- flotores por ar dissolvido
- centrífugas

Em relação ao desaguamento, a capacidade do processo será determinada pelo tipo de lodo a ser desidratado. Lodos ativados, por exemplo, são mais difíceis de serem desaguados do que lodos primários digeridos anaerobiamente. Esta variação na capacidade de desaguamento está diretamente relacionada com o tipo de sólido e com a forma com que a água está ligada às partículas do lodo.

O desaguamento de lodos pode ser realizado através de meios naturais ou mecânicos. Os processos naturais utilizam a evaporação e a percolação como principais mecanismos de remoção de água, o que demanda tempo de exposição do lodo às condições que resultam no desaguamento. Embora sejam operacionalmente mais simples e baratos, tais processos demandam maiores áreas e volumes para

instalação. Em contrapartida, os processos mecanizados baseiam-se em mecanismos para acelerar o desaguamento, tais como filtração, compactação ou centrifugação, resultando em unidades compactas e bem mais sofisticadas, sob o ponto de vista de operação e manutenção.

Os principais processos utilizados para o desaguamento de lodos são os que seguem:

- leitos de secagem;
- lagoas de lodo;
- centrifugas;
- filtros a vácuo;
- prensas desaguadoras;
- filtros prensa;

Para aumentar a aptidão ao desaguamento, os lodos podem ser submetidos a uma etapa de condicionamento prévio à etapa de desaguamento propriamente dita. Este condicionamento pode ser realizado através do emprego de produtos químicos ou processos físicos, dentre os quais o mais comum é o aquecimento do lodo. Os produtos químicos são aplicados ao lodo a montante da unidade de desaguamento, favorecendo a agregação das partículas de sólidos e a formação de flocos. Os principais coagulantes utilizados são os coagulantes metálicos e os polieletrólitos. Os coagulantes metálicos mais comuns são: sulfato de alumínio; cloreto férrico; sulfato ferroso; sulfato férrico; e cal virgem/ hidratada.

De acordo com Sperling et al. (2001), os melhores resultados de desaguamento de um determinado lodo são obtidos através de filtros prensa. O condicionamento com cloreto férrico e cal geralmente é empregado no desaguamento em filtros prensa e filtros a vácuo. Embora os teores de sólidos nas tortas produzidas por esses processos sejam de 2 a 5% superiores ao do mesmo lodo condicionado com polímeros orgânicos, a concentração de água na torta é praticamente igual em ambos os casos. Na seqüência, as centrífugas e os filtros de esteira apresentam resultados muito semelhantes para os diferentes tipos de lodo. Os filtros de esteira com regulagem de pressão mais elevada são capazes de produzir tortas com cerca de 2 a 3 % de sólidos totais a mais do que no caso das centrífugas.

Entre as vantagens de se realizar o desaguamento estão: redução dos custos de transporte e destino final do lodo; melhoria nas condições de manejo, já que o lodo desaguado é mais facilmente transportado; aumento do poder calorífico do lodo, através da redução da umidade com vistas à preparação para a incineração; redução do volume para disposição em aterro sanitário ou reuso na agricultura; e diminuição da produção de lixiviados quando da sua disposição em aterros sanitários.

A seguir serão descritos os principais métodos de desaguamento natural do lodo:

- **Leitos de secagem:** possuem várias células de secado, que são câmaras retangulares destinadas ao recebimento do lodo previamente estabilizado ou digerido. Os leitos de secagem podem variar quanto ao material de revestimento superficial podendo ser: areia, concreto, asfalto, solo cimento e outros.
- **Leitos de secagem com plantações de juncais:** é uma variante dos leitos de secagem comuns, na qual há plantações de juncais. São plantas gramíneas identificadas com o nome científico, como por exemplo, a *Pragmites comminus*, pois permitem retirar o lodo seco em períodos bastantes dilatados, de 8 a 10 anos, com concentrações do material de até 50% de sólidos. As raízes e o caule das plantas formam um caminho preferencial para a percolação e drenagem do líquido emergente no processo de desidratação. Além disso, as folhas em grande quantidade absorvem parte do líquido e o liberam através da evapotranspiração.
- **Lagoas de lodo:** são tanques construídos em taludes de terra destinados à secagem do lodo digerido. Ocupam área cerca de duas vezes maior que a dos leitos de secagem para a mesma capacidade.

Quanto ao desaguamento mecânico, os principais métodos são:

- **Centrifugação:** a força centrífuga é aplicada ao lodo líquido, separando as frações líquidas e sólidas, devido à diferença entre as suas densidades. O processo envolve clarificação e compactação do resíduo sólido.
- **Filtros-prensa e filtros a vácuo:** separam o sólido da água por meio de filtros confeccionados em tecido. No entanto, é necessário que o lodo não colmate os filtros, que as partículas do lodo se separem com facilidade do líquido intersticial e que formem poros livres durante o adensamento, a fim de que a água possa percolar através dos mesmos.
- **Prensa contínua de esteiras:** possui duas correias sem fim, das quais pelo menos uma é constituída de uma tela filtrante separando o líquido através da combinação de drenagem por gravidade e compressão. A separação nesse processo é bastante lenta.
- **Secagem térmica:** envolve a aplicação de calor para a evaporação da água, reduzindo a umidade a níveis mais baixos que os processos convencionais de desidratação, melhorando o seu valor calorífico. Possibilita, também, a redução de custo de transporte e a melhoria da capacidade de armazenamento. Para ser economicamente viável, o lodo precisa ser previamente digerido e desidratado até concentração de sólidos na ordem de 20-35%, antes de ser tratado termicamente. O lodo seco tem aspecto granular, apresentando teor de sólidos de 90-95%. Em condições ideais, para evaporar 1 kg de água tem-se a necessidade de 0,17 litros de biogás, ou qualquer outra fonte de energia. Mas além desta energia, é preciso prever ainda as perdas energéticas do sistema (através das paredes, do ar e outras) e a energia necessária para elevar a temperatura do lodo a valores pouco acima de 100°C, onde se inicia o processo de evaporação. É necessário ainda prever equipamentos de confinamento e tratamento dos vapores e poeira liberados

dos secadores, de modo a se evitar a emissão de odores e partículas para a atmosfera.

Em relação a essa última prática, percebe-se que ela começa a ganhar muitos adeptos, pois reduz significativamente o volume e o peso do lodo, e, como consequência, também reduz os custos de disposição final, principalmente com os processos que utilizam como fonte de energia subprodutos ou combustíveis de baixo valor.

### **3.4.1 Digestão do lodo através do Ácido Fólico:**

O ácido fólico é essencial para o crescimento e reprodução de microorganismos. Alguns deles conseguem metabolizá-lo a partir de qualquer fonte de carbono, mas a maioria não é apta e necessita absorver do meio. O ácido tetraidrofólico, que é a forma hidrossolúvel do ácido fólico (parte integrante do complexo vitamínico B), tem sido utilizado para o estudo de redução do lodo gerado em estações de tratamento de efluente do tipo lodos ativados. A adição de vitaminas em sistemas de tratamento de águas residuárias é um conceito recente. Requisitado para a síntese da molécula de DNA e, portanto, para a reprodução, o ácido fólico faz parte da formação de compostos para construir a parede celular, como a alanina.

Comercialmente o composto é conhecido como Dosfolat, e fabricado pela AlphaChemie. A Neotex é a representante técnica exclusiva do laboratório no Brasil desde 1998. Dados oriundos desta empresa afirmam que a solução, estável e solúvel em água, foi desenvolvida em 1983, num laboratório alemão, através de processo bioquímico, e atribuem as seguintes características ao produto:

- coloração alaranjada, inodoro;
- ativa a nitrificação da amônia, comprovando o aumento na capacidade de degradar a matéria orgânica, reduzindo a cor residual dos compostos;
- incrementa a digestão celular, auxiliando a quebra de moléculas, aumentando a capacidade de remoção da DBO;
- reduz o número de filamentos nos decantadores;
- otimiza o metabolismo enzimático das bactérias, diminuindo a carga orgânica, e aumentando a população de protozoários ciliados e bactérias. (Simula-se uma
- estação com idade de lodo elevada, isto é, as características apresentadas após a dosagem permitem a diminuição do descarte de lodo, sem trazer implicações desfavoráveis à eficiência da ETE).

A Neotex afirma ainda que, como o Dosfolat só é viável em ETEs do tipo biológicas, é necessário avaliar todas as unidades que compõem o sistema e, caso a avaliação aponte irregularidades no tratamento, como subdimensionamento, equipamentos avariados ou fora de especificação, operação inadequada, ou efluentes contaminados com substâncias tóxicas, a operação se torna inócua.

Em sua dissertação de mestrado, Bertacchi (2005) investigou a adição de Dosfolat em sistemas de lodos ativados para verificar o controle e redução de lodo gerado. Para tanto, foi montada uma estação de tratamento Piloto no campus da USP, composta de dois sistemas de lodos ativados convencional, paralelos e idênticos. O primeiro sistema recebeu a adição do produto Dosfolat e o segundo não. As conclusões do seu estudo indicaram que a adição do Dosfolat provocaram um decréscimo na produção de lodo de 7% para operação em alta taxa (idade do lodo entre 2 e 3 dias) e de 17% para faixa de aeração prolongada.

Carreira 2006, apesar de relatar que algumas empresas do ramo têxtil já fazem uso do ácido fólico em sistemas de lodos ativados, afirma que: *“este processo ainda é visto com ressalvas pelos órgãos ambientais, por não estar muito bem explicitado o mecanismo de redução do lodo”*.

### **3.5. Tipos de Tratamento para o Lodo Têxtil**

Para propor alternativas ao tratamento e disposição dos lodos gerados nas ETEs, esses devem ser caracterizados quanto à origem, produtos químicos presentes, teor de sólidos totais, pH, sólidos voláteis, cinzas e poder calorífico. Na escolha do tipo de tratamento a ser empregado e no dimensionamento dos equipamentos, é essencial conhecer a vazão dos efluentes para se quantificar o lodo gerado.

Serão apresentados, na sequência, os subsistemas de tratamento que melhor se adaptam às características dos resíduos têxteis, de acordo com Carreira (2006), que são: preliminar, primário, secundário e terciário.

**Tratamento Preliminar :** o tratamento preliminar pode se constituir de um ou mais processos unitários, os quais podem se dispor em série ou em paralelo, dependendo apenas das características básicas do efluente. Em geral é uma separação entre líquidos e sólidos grosseiros. Os principais processos unitários encontrados no tratamento preliminar dos efluentes têxteis são: segregação, gradeamento, peneiramento, resfriamento, desarenação, retenção de gordura e óleo, além da homogeneização/equalização.

**Tratamento Primário:** Esta etapa do sistema de tratamento de efluentes têxteis é constituída por processos físicos, químicos, físico-químicos e eletroquímicos, com o objetivo de remover carga poluente e garantir um efluente em melhores condições para o tratamento secundário (biológico). Este conjunto de processos denominado de "primário" pode tanto ser alocado antes como após o tratamento biológico (secundário). Entre os processos físico-químicos estão: Coagulação e Floculação, Flotação e Sedimentação (decantação).

O lodo proveniente do processo físico químico possui uma grande variedade de compostos que provém dos produtos adicionados no tratamento. Quando o tratamento físico-químico inclui a utilização de reagente de Fenton, o lodo é

formado a partir da precipitação do hidróxido de ferro, que arrasta as partículas em suspensão (matéria orgânica e inorgânica).

**Tratamento Secundário:** Este tipo de tratamento é constituído por processos biológicos, que têm a função de remover a matéria orgânica e inorgânica dissolvida e os sólidos em suspensão, através da ação dos microrganismos aeróbios ou anaeróbios. É designado como "secundário" simplesmente porque em geral este tipo de processo é posicionado a posteriori do tratamento preliminar ou primário. A remoção dos poluentes nesse processo consiste em reações metabólicas que transformam as substâncias complexas em massa celular e substâncias inorgânicas simples.

→ **tratamento anaeróbio:** A essência desse tratamento é a decomposição da matéria orgânica e inorgânica na ausência de oxigênio dissolvido. Tem como característica marcante o tratamento de despejos com alta carga orgânica e lodos concentrados. Na decomposição da matéria poluente as bactérias anaeróbias apresentam duas fases distintas: a primeira é de hidrólise e fermentação das substâncias orgânicas em ácidos orgânicos de estrutura simples; e na segunda fase os ácidos orgânicos são transformados em gases (metano e carbônico). Um dos problemas deste processo se dá quando ocorre apenas a primeira fase da decomposição e, pela presença do ácido sulfídrico na reação, surge um forte odor de ovo podre característico deste tipo de reação. Os processos anaeróbios que podem ser utilizados no tratamento de efluentes têxteis são os seguintes: lagoas anaeróbia e facultativa, filtros anaeróbios, biodigestores de leito fluidificado e leito de lodo.

→ **tratamento aeróbio:** Neste processo os microrganismos responsáveis pela depuração se alimentam da matéria orgânica presente no efluente e a convertem em gás carbônico, água e material celular. A degradação aeróbia dos poluentes (inorgânicos e orgânicos) exige que a reação ocorra em presença de oxigênio dissolvido e outras condições ambientais inerentes ao processo de transformação de substância poluente em substância inerte, como, por exemplo, temperatura, pH, tempo de detenção e outros parâmetros. No âmbito dos tratamentos biológicos para efluentes industriais, os processos aeróbios são os mais empregados, principalmente se tratando de águas residuárias têxteis. No tratamento biológico por via aeróbia o processo de lodos ativados e a filtração biológica são os mais empregados, no entanto, nos sistemas de tratamento de efluentes têxteis, o processo de lodos ativados está presente na maioria absoluta dos sistemas. A concepção básica e original do lodos ativados é mostrada na figura abaixo.



## Figura 2 – Esquema do sistema de lodos ativados

Fonte: Carreira (2006 p.201).

O lodo biológico é formado a partir da matéria orgânica, responsável pela nutrição, desenvolvimento e reprodução dos microorganismos-biomassa, constituída, dentre outros, por bactérias e protozoários. Essa biomassa forma flóculos que se associam à matéria orgânica não viva, dando origem ao lodo.

O tanque de sedimentação é o processo de adensamento mais utilizado, nele o lodo é concentrado pela ação da gravidade em decantadores de fluxo horizontal ou circulares. A prática do uso de clarificadores para adensar sólidos por corrente descendente é muito difundida, mas se não for bem monitorada, pode ter a sua eficiência bastante reduzida. Para isso é importante que sejam realizados testes de sedimentação do lodo. No adensamento dos sólidos, uma manta de lodo precisa ser criada, cobrindo todo o tanque, prevenindo o escoamento do líquido pelo fundo. No entanto, uma excessiva retenção de sólidos sedimentados causa gaseificação e redução na remoção dos sólidos suspensos totais e concentração de DBO5. Os clarificadores devem ser construídos com declividade do fundo de 2:12 até 2,5:12.

A característica principal deste sistema é trabalhar com elevada concentração de biomassa no reator biológico. Esta concentração é mantida pela recirculação dos sólidos separados no decantador (flocos), propiciando maior permanência da biomassa no sistema, o que garante uma elevada eficiência na remoção da carga orgânica. O excedente de biomassa (lodo biológico) é removido do sistema.

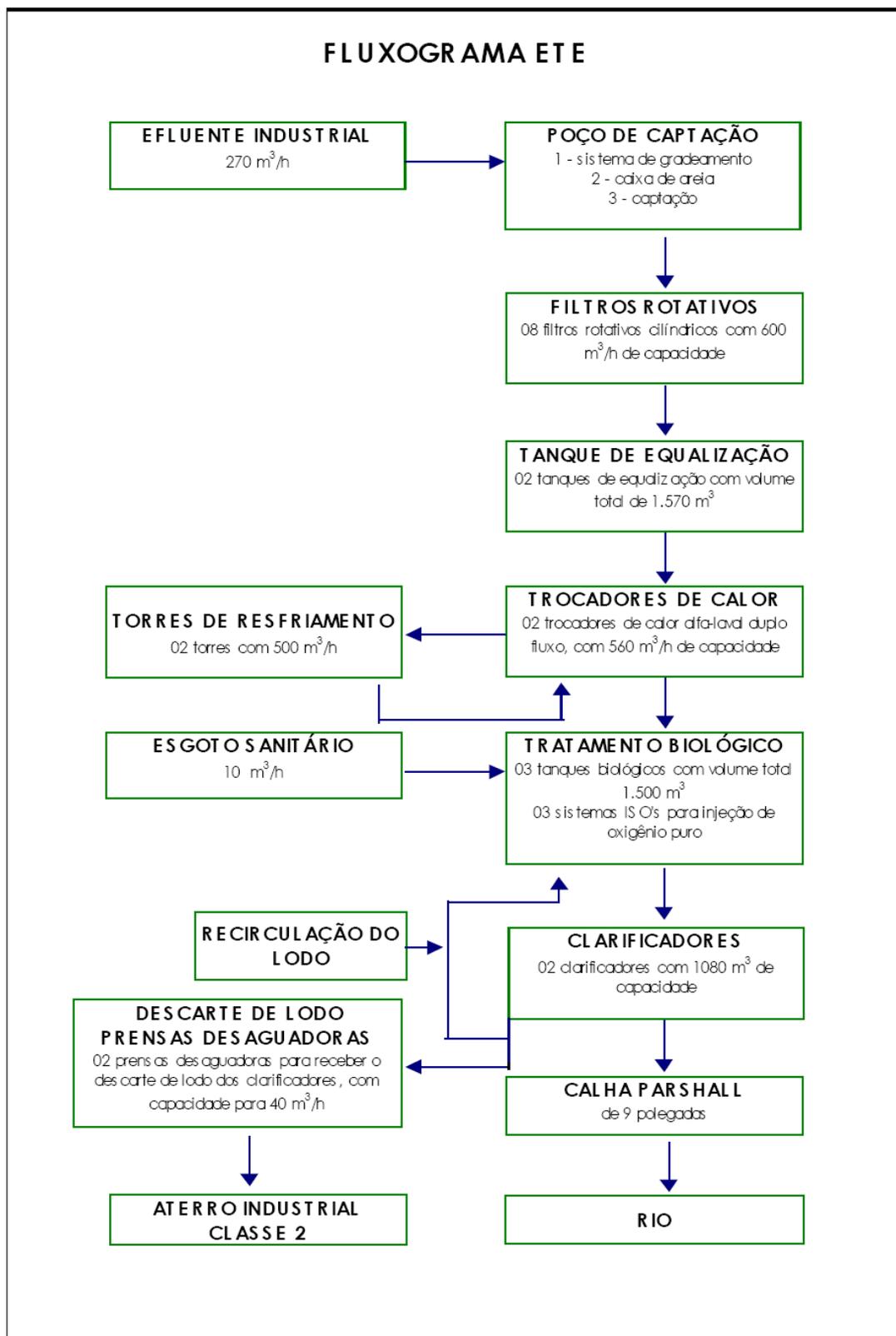
As três variantes do processo de lodos ativados mais utilizadas são: o sistema convencional, aeração prolongada e o sistema rápido. As diferenciações entre essas variantes são definidas com base no parâmetro idade do lodo e no tempo de aeração. No sistema convencional a idade do lodo deve estar na faixa de 5 a 15 dias; já para o sistema de aeração prolongada a faixa deve ser de 20 a 30 dias e para o sistema rápido deve ser inferior a 5 dias. O tempo de detenção no tanque de aeração pode variar de 6 a 120 horas, dependendo das condições dos efluentes.

Dessas variantes a mais utilizada na indústria têxtil é a de lodos ativados com aeração prolongada. Nessa variante, a relação entre a carga orgânica no afluente e a massa de microorganismos no reator biológico é baixa e, conseqüentemente, o tempo de retenção é alto. O resultado dessa configuração é uma elevada remoção de carga orgânica, com menor geração de lodo em relação à variante convencional. A remoção de cor depende basicamente do tipo de corante usado no tingimento, mas em geral ocorre por adsorção do corante pelo lodo biológico (Peres & Abrahão, 1998). Algumas unidades de valo de oxidação “carrossel” foram implantadas no Brasil, na região de Blumenau – Santa Catarina (empresas: Malwee - Malharia e Döhler Industrias Têxteis).

A geração de lodo nos sistemas biológicos de tratamento de efluentes situa-se entre 10% e 30% da massa de lodo dos processos físico-químicos. Dentre os processos biológicos, os sistemas anaeróbios geram até cinco vezes menos lodo, se comparado aos aeróbios (LEÃO et al. 2002).

A redução do teor de umidade do lodo implica na diminuição da carga volumétrica a ser tratada. As características do lodo irão condicionar a escolha do tipo de processo de desidratação a ser utilizado.

O fluxograma típico de uma ETE de indústria têxtil é mostrado na figura 3 abaixo.



**Figura 3 – Fluxograma ETE Teka - Blumenau**

Fonte: Andrade (2003 p.63).

## 4 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado para a construção da fundamentação teórica foi o da análise bibliográfica e documental, indicada para proporcionar melhor visão do problema e torná-lo mais específico. Através da revisão bibliográfica obtêm-se informações sobre o tema, material e leitura, permitindo-se a determinação das dimensões do problema e dos objetivos do estudo.

A parte prática do trabalho teve início a partir do contato com indústrias têxteis e empresas proprietárias de aterros industriais e transportadoras de lodo de Santa Catarina e São Paulo, por meio de e-mails e telefonemas, no intuito de levantar a quantidade de lodo têxtil produzida mensalmente pelas indústrias do ramo e os preços cobrados no mercado atual, por aterros de resíduos licenciados, para dispor esse tipo de resíduo.

Considerando-se a Carta Têxtil de 2002, elaborada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, que indicava serem 545 as indústrias de acabamento têxteis (tingimento) no Brasil, distribuídas praticamente em todas as regiões do país (IPT, 2002), ficou evidente a necessidade de se restringir essa pesquisa. Na região de Americana foram escolhidas 5 unidades para a obtenção de informações: Santista Têxtil S/A; Canatiba Têxtil; Companhia Jauense de Tecidos e a Cermatex. No pólo têxtil de Blumenau selecionou-se 16 empresas, entre indústrias têxteis e proprietárias de aterros industriais, quais sejam: Anglian Water; Artex - Grupo Coteminas; Dölher Têxtil; Companhia Hering; Karsten Têxtil; Malwee Malhas; Marisol; Tecelagem Kuehnrich-Teka; Sulfabril Têxtil; Dalila Têxtil; Cia Fabril Lepper; Cremer S.A.; Santec Resíduos; Momento Engenharia Ambiental; Catarinense Engenharia Ambiental S.A e Aterro Serrana. A seleção foi em função da idade das empresas e porte de produção.

Observou-se uma certa dificuldade na obtenção de dados com as indústrias talvez pelo fato de os Sistemas de Tratamento de Efluentes Têxteis não estarem muitas vezes em perfeito funcionamento ou mesmo pela competitividade que há no setor. Muitas vezes as pessoas contactadas não entendem perfeitamente as intenções da pesquisa. Em alguns casos, através de um simples e-mail foi possível obter a resposta positiva para a solicitação, em outros foi necessário um contato mais pessoal, por exemplo, através de uma ligação telefônica. Além disso, a princípio não se conhece a pessoa que possui o poder de autorizar a participação do funcionário na pesquisa, e em muitas das situações, quem fornece os dados solicita o anonimato dos atores envolvidos.

Diante das dificuldades explanadas, as empresas deixarão de ser referenciadas pelos seus nomes para que fique assim preservada a imagem dos atores, em função de qualquer tipo de análise que vier a ser realizada quando da sintetização dos dados obtidos para a pesquisa.

A partir das informações adquiridas, analisou-se, entre as alternativas de redução de volume de lodo têxtil levantadas, que a secagem térmica proporciona uma das mais eficientes formas de remoção de umidade de lodos. Em vista disto, escolheu-se estudar a viabilidade econômica da utilização de secador térmico

rotativo de lodos – modelo Bruthus, fabricado pela empresa Albrecht Equipamentos Industriais Ltda, pois percebe-se que este modelo específico de secador vem sendo utilizado com grande êxito no mercado brasileiro, em termos de redução do volume dos resíduos.

Deste modo, contactou-se a fabricante do equipamento supra citado para a obtenção de informações pertinentes ao estudo, como: características do modelo Bruthus, custos para a aquisição do aparelho, entre outras.

#### **4.1 Dados Obtidos**

As características do secador Térmico de Lodo - Bruthus, de acordo com a empresa fabricante, são:

- Composto de tambor rotativo de múltiplas passagens e sistema interno de moagem, com a função de granular o lodo. Aumenta desta forma a eficiência de secagem, já que a superfície de contato do lodo com o ar quente aumenta. Além disso, garante uma completa higienização do substrato, atendendo desta forma os parâmetros estabelecidos na norma Americana U.S. EPA 40 CFR - Part 503, Appendix B de Fev/1993, a qual é utilizada pelo CONAMA no Brasil.
- O lodo normalmente vem com uma umidade que varia de 60 a 90%, dependendo do sistema de desaguamento (centrífuga, filtro-prensa, desaguadora, leito de secagem, etc), e a umidade residual fica em torno de 10 a 20% dependendo da destinação que se pretende dar ao resíduo após a secagem.
- O fluxo de ar quente dentro do secador é paralelo (flui no mesmo sentido do lodo),
- O equipamento utiliza ainda: gerador de ar quente (ar de chaminé de caldeira, queimador a gás ou outra fonte de ar quente), sistema de alimentação (silo, transportador helicoidal), sistema de descarga (válvula rotativa, esteira transportadora ou transportador helicoidal), sistema de filtragem dos gases (ciclone, multiciclone, lavador de gases).
- O equipamento é 100% nacional, patenteado pela Albrecht sob o número PI 9901124-7 de 1999. Tem por finalidade evaporar a água contida no lodo, permitindo desta forma a disposição e/ou reutilização do mesmo sem causar danos ambientais. Desta forma, o equipamento pode reduzir o peso do lodo em até 8 vezes, dependendo da origem do mesmo, reduzindo assim o custo de disposição, transporte, manuseio e conseqüentemente o passivo ambiental da empresa.



**Figura 4 – Secador Térmico Rotativo de Lodos - Bruthus**

Fonte: Albrecht

Portanto, para a secagem dos lodos têxteis esta máquina utiliza como fonte de energia térmica os gases produzidos nas próprias caldeiras das empresas, o que proporciona uma economia de combustível, e evita que esses gases sejam lançados na atmosfera. Após a secagem os gases são conduzidos a um sistema de filtragem, que pode ser composto por ciclone/multiciclone, lavador de gases e outros.

De acordo com as informações fornecidas pelas empresas proprietárias de aterros industriais e empresas de fretes contactadas, verificou-se que os valores cobrados por tonelada, com o preço do frete incluído, para que as indústrias depositem seus lodos, varia de R\$ 80,00/t a R\$ 200,00/t.

Para o cálculo da viabilidade econômica do secador térmico de lodos considerou-se as seguintes variáveis, fornecidas pela empresa fabricante, a respeito das características médias de funcionamento do equipamento para o lodo provenientes de ETEs têxteis:

- Massa de lodo a secar, variou-se entre 50 kg/h e 550 kg/h , o que representa um intervalo entre 36 t/mês e 396 t/mês de massa de substrato gerada;
- Umidade de entrada do lodo: 76%;
- Umidade final desejada: 20%;
- Rendimento térmico específico: 950 kcal/kgH<sub>2</sub>O;
- Custo de disposição final em aterro industrial, foram adotados os seguintes valores: R\$100,00/ton; R\$130,00/ton; R\$150,00/ton; R\$180,00/ton; e R\$200,00/ton;
- Consumo de energia elétrica: 22,00kW;
- Preço da energia elétrica em Santa Catarina: R\$ 0,125/kWh;
- Custo de manutenção: R\$800,00/mês;
- Custo do secador: R\$500.000,00.

Com estes dados calculou-se a economia líquida mensal obtida com a aquisição do secador, em termos de custos com a disposição final do lodo (Anexo B). Em outras palavras, avaliou-se o quanto a indústria deixará de gastar para dispor seu lodo em aterros e, por último, dividiu-se este valor (economia mensal nos gastos) pelo preço total do equipamento.

A partir das cinco alternativas adotadas para o custo de disposição final em aterros, foram geradas cinco curvas, variando-se o “retorno do investimento” em função da “produção de lodo” gerada pelas empresas (Anexo A).

Para fins de comparação da viabilidade econômica de um investimento de R\$500.000,00, que é o preço médio do equipamento estudado, elaborou-se um gráfico com o custo para a disposição de lodos observado no mercado, variando estes valores em função da produção mensal de lodo das indústrias têxteis. Comparou-se o custo de disposição final do lodo com o retorno do investimento inicial a uma taxa de 0,8% ao mês (Anexo C).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de dados coletados de micro, pequenas, médias e grandes indústrias têxteis de Santa Catarina e São Paulo, foram obtidos valores como: produção média mensal das indústrias do ramo, preço de transporte e disposição final do lodo em aterros industriais, além de outras variáveis. De posse deste números, e utilizando ainda o levantamento de PRIM (1996) para a produção de lodo têxtil no estado de Santa Catarina, estimou-se a geração de lodo, por porte das indústrias do setor, varia conforme os dados abaixo:

- **GRANDES:** > 300 toneladas/mês;
- **MÉDIAS:** 150 a 300 toneladas/ mês;
- **MICRO E PEQUENAS:** 30 a 150 toneladas/ mês;

Com as cinco alternativas de custo de disposição final em aterro industrial , referente ao gráfico do Anexo A, geraram-se cinco curvas, variando o “retorno do investimento” em função da “produção de lodo” gerada pelas empresas. Analisando-se essas curvas, verifica-se que quanto maior a geração de lodos de uma empresa e o custo pago por tonelada para a disposição de seus resíduos, mais rápido será o retorno do investimento, e mais interessante passa a ser investir na aquisição do secador térmico.

A análise deste gráfico apontou ainda que, para empresas que produzem a partir de 200 toneladas de lodo por mês, o retorno do investimento no secador térmico ficou aproximadamente entre 2 e 5 anos, intervalo de tempo considerável e passível de investimento.

O Gráfico do Anexo C nos revela, para efeitos de comparação, que para as micro empresas que produzem em torno de 30 toneladas de lodos por mês, tendo um custo total para dispor o lodo de até R\$ 140,00 por tonelada, podem optar por depositar o valor do preço do secador em um investimento com rendimento de 0,8% ao mês, o que resultaria em um retorno de R\$ 4.000,00 mensais. Portanto, em termos

de viabilidade econômica, para as empresas que dispõem deste montante e gastam menos de R\$ 4.000,00 por mês para darem um destino final aos seus lodos, não seria viável investir na aquisição do secador térmico – Bruthus.

As indústrias que produzem em torno de 150 toneladas de lodo têxteis por mês (ou 200kg/h em média) têm a opção de adquirir equipamentos de dimensões menores, cujo investimento poderá ser menor. No entanto, as micro e pequenas empresas, que geram quantidades mensais menores que 100 toneladas de lodos, devem estudar outras formas de redução do volume dos lodos, como por exemplo, a adição de ácido fólico em sistemas de tratamentos biológicos, pois a Albrecht, detentora da patente do secador – Bruthus, não fabrica equipamentos com capacidade menor que 200kg/h.

## **6 CONCLUSÃO**

O processo produtivo da cadeia têxtil, que se inicia com a seleção da matéria prima, tem como consequência a geração de uma grande variedade de produtos finais. Na manufatura dos produtos, a água é a matéria prima mais utilizada, e os despejos, ricos em substâncias orgânicas, constituem uma enorme preocupação, principalmente os materiais sintéticos e os metais pesados.

O efluente final têxtil é caracterizado por altas concentrações de corantes, pigmentos e substâncias químicas. Quanto melhor for a eficiência do sistema de tratamento destes efluentes e a qualidade da água tratada, maior será a produção de lodo. A eficiência do processo de pré-tratamento é outro aspecto que influencia na geração de lodo, principalmente se o efluente carrear altos teores de areia e minerais.

A aplicação de uma sistemática para a redução da geração de resíduos é de suma importância, e vem se tornando uma preocupação crescente para as indústrias brasileiras do setor devido ao alto custo de transporte e disposição final dos resíduos em aterros industriais.

Estudou-se aqui a opção da remoção da umidade para a redução de massa e volume do lodo em excesso a ser tratado ou descartado da estação de tratamento de efluentes têxteis. Dentre as tecnologias atualmente disponíveis, destacou-se a possibilidade de utilização pelas indústrias do setor de um secador térmico rotativo de lodos – modelo Bruthus, fabricado pela empresa Albrecht Equipamentos Industriais Ltda.

O resultado da pesquisa apontou que, para as empresas que produzem em torno de 200 toneladas de lodo por mês, o retorno do investimento no secador térmico ficou aproximadamente entre 2 e 5 anos, intervalo de tempo apreciável e passível de se investir. Para uma produção mensal de lodo maior que 225 toneladas, independente do valor que a indústria gasta por tonelada para dispor o lodo, o retorno do investimento será menor que quatro anos e, portanto, ainda uma alternativa viável.

Espera-se com este estudo apresentar às indústrias têxteis uma alternativa na redução de seus custos, encaminhando menor quantidade de lodo aos aterros industriais e, assim, contribuir para o retardamento do processo de degradação dos

solos, visto que os aterros para disposição de resíduos exigem constante monitoramento, mesmo após o encerramento de suas atividades, pela possibilidade de contaminação do lençol freático.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, F. **Remoção de cor de efluentes têxteis com tratamento de lodos ativados e um polieletrólito orgânico.** 2003. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC.
- ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. **Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final.** Vol 6. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.
- BERTACCHI, M.C. **Investigação da adição de Dosfolat em sistemas de lodos ativados para controle e redução de lodo gerado.** 2005. 218f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CARREIRA, M.F. **Sistemas de tratamento de efluentes têxteis: Análise comparativa entre as tecnologias usadas no Brasil e na Península Ibérica.** 2006. 674 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC., Florianópolis – SC.
- CARVALHO, M. M. **Um sistema de controle de qualidade para indústria têxtil.** 1991. 256 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistema) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC., Florianópolis – SC.
- CETESB. Manuais Ambientais CETESB - **Compilação de Técnicas de Prevenção à Poluição para a Indústria Têxtil.** São Paulo, 2000.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Prevenção à Poluição.** Disponível em: [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Projeto piloto de prevenção à poluição nas indústrias do setor têxtil.** Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>
- FATMA - FUNDAÇÃO DE MEIO AMBIENTE. **Governo do Estado de Santa Catarina** Disponível em: [www.fatma.sc.gov.br](http://www.fatma.sc.gov.br)
- IPT. **Carta Têxtil de 2002.** Disponível em: <<http://www.ipt.br/>>
- LEÃO, M.M.D.; CARNEIRO, E.V.; SCHWABE, W.K.; RIBEIRO, E.D.L.; TORQUETTI, Z.S.C.; SOARES, A.F.S.; NETO, M.L.F. **Controle Ambiental na Indústria Têxtil: Acabamento de Malhas.** Belo Horizonte: Projeto Minhas Ambiente, 2002. 356p.

- MARTINS, G. B. H. **Práticas limpas aplicadas às indústrias têxteis de Santa Catarina**, 1997. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis – SC.
- NEOTEX – Soluções Ambientais. **Dosfolat: avaliação dos benefícios em planta, interferentes e resultados**. Disponível em: [www.neotex.com.br/Guideline-Dosfolat.pdf](http://www.neotex.com.br/Guideline-Dosfolat.pdf)
- NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 3ª ed. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2001. 298 p.
- PERES, C. S; ABRAHÃO, A. J. **Características e sistema de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis – Uma primeira abordagem**. *Revista Química Têxtil*, São Paulo –SP, v.21, n.52, setembro de 1998.
- PRIM, E.C.C. **Reaproveitamento de lodo têxtil e da cinza pesada na construção civil: Aspectos Tecnológicos e Ambientais**. 1998. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis – SC.
- SINDITEC - SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE TECELAGENS DE AMERICANA, NOVA ODESSA, SANTA BÁRBARA E SUMARÉ. **Resumo da atividade têxtil no pólo de Americana** Disponível em: <http://www.sinditec.com.br/>.
- SINTEX - SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE FIAÇÃO, TECELAGEM E DO VESTUÁRIO DE BLUMENAU. **Dados Têxteis da região de Blumenau - SC** Disponível em: [www.sintex.org.br](http://www.sintex.org.br)
- SPERLING, M.V. **Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos**. Vol 2. Ed. DESA-UFMG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1996. 211p.
- SPERLING, M.V. **Lodos Ativados**. Vol 4. Ed. DESA-UFMG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002. 428p.
- VARELLA, M.A.S. **A Otimização da Disposição final do lodo industrial como contribuição à gestão ambiental**. 2000. 96f. Relatório de Estágio (Departamento de Ciências da Administração) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis – SC.

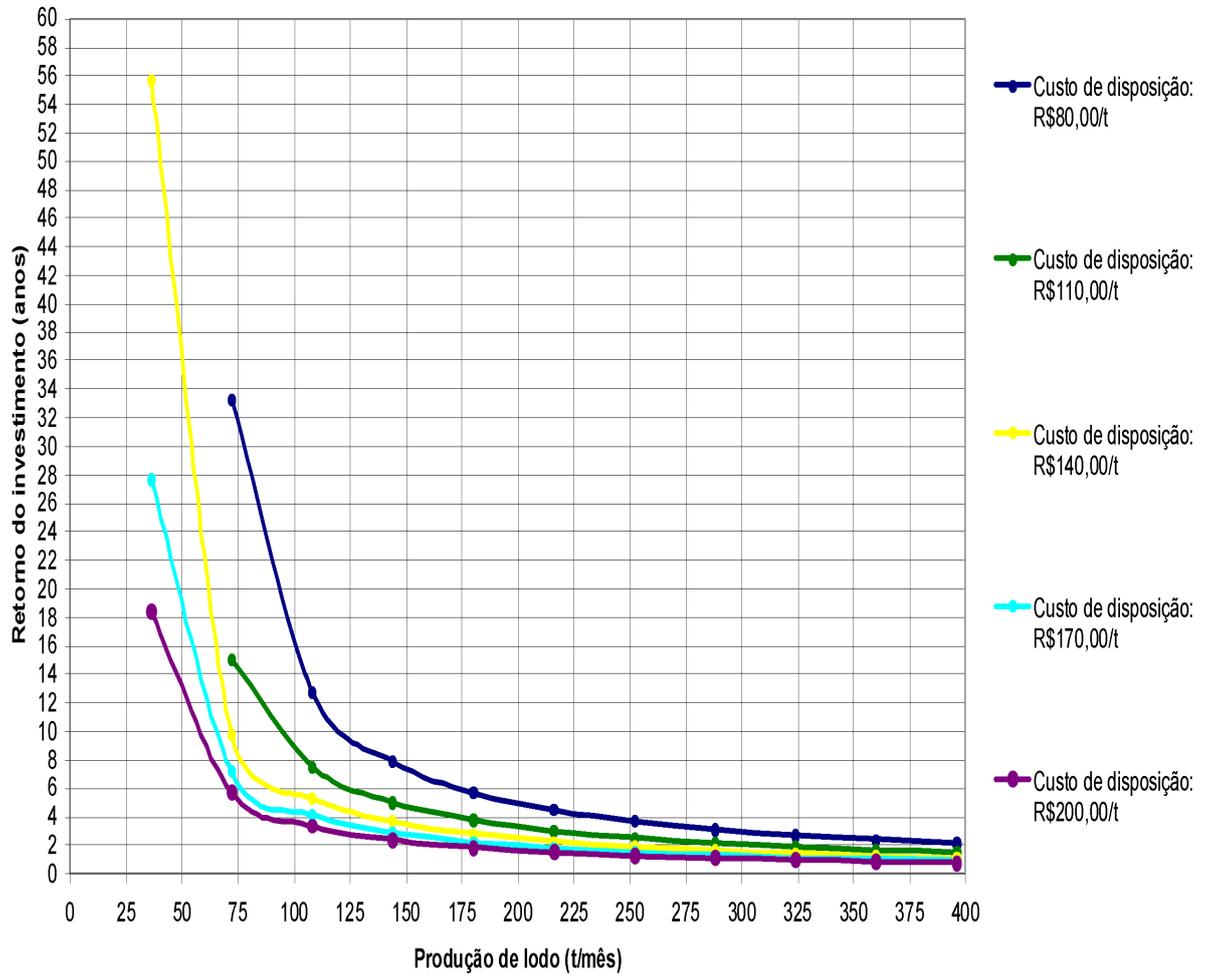
## **ANEXOS**

ANEXO – A: Produção de Lodo (t/mês) X Retorno do Investimento (anos);

ANEXO – B: Exemplo de Cálculo de Viabilidade Econômica do Secador Térmico de Lodos.

ANEXO – C: Produção de lodo (t/mês) x Custo na disposição do lodo (R\$), e investimento de R\$ 500 mil com rendimento de 0,8%/ mês.

ANEXO A  
PRODUÇÃO DE LODO (T/MÊS) X RETORNO DO INVESTIMENTO (ANOS)



## ANEXO B

### EXEMPLO DE CÁLCULO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SECADOR TÉRMICO DE LODOS

**Tipo de Lodo:** **Têxtil**

**ENTRADA:** Massa de Resíduo a secar = 500 kg/h **equivale a 360 ton/mês**  
 Umidade (entra) = 76 %  
 Umidade (final) = 20 %  
 Massa de água a evaporar = 350 kg H<sub>2</sub>O/h  
 Rendimento térmico específico = 950 kcal/kg H<sub>2</sub>O

**SAÍDA:** Massa de Resíduo seco = 150 kg/h **Destino: ATERRO INDUSTRIAL**  
 Densidade Sólidos (Resíduo BASE SECA) = 660 kg/m<sup>3</sup> Lodo Têxtil = 660 kg/m<sup>3</sup> em média  
 Densidade Resíduo ÚMIDO (ENTRADA) = 1100 kg/m<sup>3</sup>  
 Densidade Resíduo SECO (SAÍDA) = 728 kg/m<sup>3</sup>  
 Redução de MASSA = 3,3 : 1  
 Redução de VOLUME = 2,2 : 1

Custo de disposição atual mensal\* = R\$ 200,00 por tonelada de lodo  
 \*Transporte incluso = R\$ 0,20 R\$/kg  
 x 500 kg/h  
 x 24 h/dia  
 x 30 dias/mês  
 = R\$ 72.000,00 R\$/mês **antes da secagem térmica**

R\$ 72.000,00 R\$/mês  
 - 3,3 Redução de MASSA  
 Custo de disposição após secagem térmica = R\$ 21.600,00 R\$/mês **LODO**  
 Economia Líquida na disposição = R\$ 50.400,00 R\$/mês

Consumo de Energia Elétrica = 22,00 kW **potência consumida**  
 x 24 h/dia  
 x 30 dias/mês  
 = 15.840 kWh/mês  
 x 0,125 R\$/kWh **Dado de Santa Catarina**  
 = R\$ 1.980,00 R\$/mês

Custo Energia Térmica = R\$ 0,00 R\$/mês **Gás (caldeiras) disponível**

Economia Líquida na disposição = R\$ 50.400,00 R\$/mês  
 Custo de Energia Elétrica = R\$ 1.980,00 R\$/mês  
 Custo Energia Térmica (Biogás) = R\$ 0,00 R\$/mês **Combustível disponível**  
 Custos de Manutenção = R\$ 800,00 R\$/mês  
 Custos Operacionais = R\$ 0,00 R\$/mês **Poderá utilizar o operador da centrífuga**  
**Economia Líquida TOTAL = R\$ 47.620,00 R\$/mês**

**Preço do Secador = R\$ 500.000,00**

**Retorno do Investimento = 0,9 anos**

ANEXO C

PRODUÇÃO DE LODO (T/MÊS) X CUSTO NA DISPOSIÇÃO DO LODO (R\$), E INVESTIMENTO DE R\$ 500 MIL COM RENDIMENTO DE 0,8% / MÊS

