

# Reaproveitamento do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria têxtil.

Carolina Portugal Bastos Pinto

## Projeto de Final de Curso

Orientador  
Prof.<sup>a</sup> Valeria Castro de Almeida, D.Sc.


Abril de 2009


# REAPROVEITAMENTO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL.

***Carolina Portugal Bastos Pinto***

Projeto de Final de curso submetido ao corpo docente da Escola de Química ,  
como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de graduada em  
Engenharia Química.

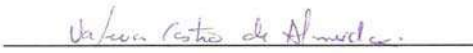
Aprovado por:

  
Cheila Gonçalves Mothé, D.Sc.

  
Fabiana Valeria da Fonseca Araújo , D.Sc.

  
Ladimir José de Carvalho, D.Sc.

Orientado por:

  
Valéria Castro de Almeida, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Abril de 2009

Pinto, Carolina Portugal Bastos.

Estudo de caso: Reaproveitamento do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria têxtil. Carolina Portugal Bastos Pinto. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2009

xii , 59 p

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de química, 2009

Orientador : Valeria Castro de Almeida

1. Reaproveitamento do Lodo 2. Tratamento de efluente 3. Indústria têxtil 4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ) 5. Valeria Castro de Almeida I. Título

A todos os amigos , familiares , professores  
que me ajudaram e apoiaram nessa longa jornada

## AGRADECIMENTOS

Ao Corpo Docente e funcionários da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, pela formação obtida durante graduação e principalmente à professora Valéria Castro de Almeida pela paciência e insistência e por acreditar e apoiar o trabalho e pela dedicação e as horas perdidas.

À Lexmar Indústria e comércio de malhas LTDA, por fornecer material para a elaboração desta monografia.

A meu querido e amado namorado Marcelo de Carvalho Duarte pela paciência e ajuda e por acreditar no meu trabalho e estar sempre do meu lado

Aos meus pais Julio Diniz Bastos Pinto e Luisa Maria Portugal Araujo, por terem me dado a vida e educação que me tornou a pessoa que sou hoje, pois sem eles eu não chegaria aonde cheguei.

Ao meu irmão Diogo Portugal Bastos Pinto

A meus sogros Luis Gomes Duarte Neto e Nadja Glória de Carvalho Duarte pela ajuda e suporte durante todo esse período.

A meu professor e amigo Antonio Barbosa Lima, pela orientação dada durante a formação colegial e pela ajuda prestada em todos os momentos de dúvidas.

Aos amigos Daniel Cortes e Greice Parreira por entenderem as ausências.

Aos amigos Marcela Baratta Ribeiro e Fernando Peçanha pela ajuda durante toda a graduação.

A Gabriele Azevedo Cunha pela ajuda na parte experimental

A todos os amigos e familiares que nem sempre estão por perto mais que sempre tem um papel especial em nossa vida

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado á Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Graduado em Engenharia Química.

## **REAPROVEITAMENTO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL.**

Carolina Portugal Bastos Pinto

Abril, 2009

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Valéria Castro de Almeida, D.Sc.

A toxicidade dos resíduos têxteis é uma das questões mais relevantes no âmbito dos impactos ambientais, tanto para os órgãos ambientais quanto para a própria sociedade. A quantidade de lodo gerado em estações de tratamento é um fator econômico importante no contexto de tratamento de rejeitos líquidos. A disposição do lodo é problemática e pode representar até 60% dos custos operacionais de uma unidade de tratamento de efluentes. Há uma grande preocupação com o destino final de vários tipos de resíduos, principalmente com aqueles que contêm elementos potencialmente tóxicos, por serem considerados danosos ao meio ambiente e, conseqüentemente, podendo passar a integrar a cadeia alimentar em altos teores, o que causaria danos à saúde dos animais e do homem.

Este trabalho teve como objetivo o reaproveitamento do lodo gerado na estação de tratamento de uma indústria têxtil com sua incorporação à pasta de cimento visando no futuro o desenvolvimento materiais alternativos construtivos promovendo o reaproveitamento econômico do lodo têxtil até então descartados nos aterros.

Os estudos experimentais realizados em corpos de prova, tais como absorção de água, resistência à compressão, difração de Raios X, e microscopia eletrônica de varredura, levam a concluir a viabilidade da substituição parcial do cimento pelo lodo, levando em conta suas diferentes aplicações

# ÍNDICE

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Capítulo 1 – Introdução                          | 1  |
| 1.1. Breve história da indústria têxtil          | 3  |
| 1.1.1. Fase Colonial                             | 4  |
| 1.1.2. Fase de Implantação                       | 4  |
| 1.1.3. Fase de Consolidação                      | 5  |
| 1.1.4. Fase atual                                | 6  |
| 1.2. Panorama Econômico da Indústria Têxtil      | 7  |
| 1.3. A indústria têxtil e seu processo           | 9  |
| 1.3.1. Descrição do processo produtivo           | 9  |
| 1.3.1.1. Beneficiamento primário                 | 9  |
| 1.3.1.2. Mercerização                            | 9  |
| 1.3.1.3. Purga                                   | 10 |
| 1.3.1.4. Alvejamento                             | 10 |
| 1.3.1.5. Beneficiamento secundário               | 11 |
| 1.3.1.6. Beneficiamento terciário                | 12 |
| 1.3.2. Corantes                                  | 13 |
| 1.3.3. Aditivos                                  | 17 |
| 1.4. Gerações de efluentes da indústria têxtil   | 18 |
| 1.4.1. Efluente Líquido                          | 19 |
| 1.4.1.1. Sólidos Sedimentáveis (SS)              | 19 |
| 1.4.1.2. Metais pesados                          | 20 |
| 1.4.1.3. Hidrocarbonetos                         | 20 |
| 1.4.1.4. Compostos Orgânicos Halogenados         | 20 |
| 1.4.1.5. Detergentes e agentes tensoativos       | 20 |
| 1.4.1.6. Cor, temperatura e pH                   | 21 |
| 1.4.2. Emissões atmosféricas                     | 21 |
| 1.4.3. Resíduos sólidos                          | 21 |
| 1.5. O processo de tratamento de efluente têxtil | 23 |
| 1.5.1. Definições do processo                    | 23 |
| 1.6. Legislação Brasileira                       | 24 |
| 1.7. Caracterização dos Resíduos Sólidos         | 26 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.7.1. Classificação                                                                     | 26 |
| 1.7.1.1. Por sua natureza física                                                         | 26 |
| 1.7.1.2. Por sua composição química                                                      | 26 |
| 1.7.1.3. Pelos riscos potenciais ao ambiente                                             | 27 |
| 1.8. Disposição final do lodo da ETE                                                     | 30 |
| 1.9. Objetivo                                                                            | 36 |
| Capítulo 2 – Metodologia Experimental                                                    | 37 |
| 2.1. Resíduo sólido – Lodo da Estação de tratamento de Efluente de uma indústria Têxtil. | 37 |
| 2.2. Caracterização do Lodo                                                              | 44 |
| 2.2.1. Difração de Raios-X                                                               | 44 |
| 2.2.1.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)                                       | 45 |
| 2.3. Preparação dos corpos de prova                                                      | 45 |
| 2.4. Caracterização física e mecânica dos corpos de prova                                | 46 |
| 2.4.1. Ensaio de absorção de água (AA)                                                   | 46 |
| 2.4.2. Determinação da resistência a compressão                                          | 46 |
| Capítulo 3 – Resultados e discussões                                                     | 47 |
| 3.1. Caracterização do Lodo                                                              | 47 |
| 3.1.1. Análise da massa bruta do lodo                                                    | 47 |
| 3.1.2. Difração de Raios X                                                               | 49 |
| 3.1.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)                                         | 50 |
| 3.2. Caracterização física e mecânica dos corpos de prova                                | 54 |
| 3.2.1. Absorção de água (AA)                                                             | 54 |
| 3.2.2. Resistência à compressão                                                          | 55 |
| Capítulo 4 – Conclusão e sugestão                                                        | 56 |
| Referencia Bibliográfica                                                                 | 57 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|            |                                                                                                                        |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 | Exemplo de corante direto (I – Vermelho congo) contendo grupos diazo como grupos cromóforos                            | 14 |
| Figura 1.2 | Estrutura Molecular do corante ácido Violeta                                                                           | 14 |
| Figura 1.3 | Exemplo de processo de redução do corante a cuba                                                                       | 15 |
| Figura 1.4 | Exemplo de reação com corantes contendo grupo tiosulfato com íons sulfeto.                                             | 16 |
| Figura 1.5 | Exemplo do processo de tintura de algodão com corante contendo grupo sulfatoetilsufona como centro reativo da molécula | 16 |
| Figura 1.6 | Exemplo de corante solubilizado temporariamente através de reação de hidrolise                                         | 17 |
| Figura 1.7 | Exemplo de Corante branqueador                                                                                         | 17 |
| Figura 1.8 | Diagrama de blocos do tratamento de Lodo ativado                                                                       | 23 |
| Figura 2.1 | Gradeamento                                                                                                            | 38 |
| Figura 2.2 | Tanque de equalização sendo preenchido                                                                                 | 39 |
| Figura 2.3 | Tanque de equalização vista lateral                                                                                    | 39 |
| Figura 2.4 | Tanque Biológico vista lateral                                                                                         | 41 |
| Figura 2.5 | Sedimentador                                                                                                           | 42 |
| Figura 2.6 | Tanque de adensamento do Lodo                                                                                          | 42 |
| Figura 2.7 | Prensa                                                                                                                 | 43 |
| Figura 2.8 | Lodo <i>in natura</i>                                                                                                  | 44 |
| Figura 3.1 | Difratograma do lodo                                                                                                   | 49 |
| Figura 3.2 | Fotomicrografia do lodo                                                                                                | 50 |
| Figura 3.3 | Fotomicrografia do lodo e análise por EDS                                                                              | 50 |
| Figura 3.4 | Fotomicrografia da pasta cimento + 30% de lodo e análise por EDS                                                       | 52 |
| Figura 3.5 | Fotomicrografia mistura cimento + 30% de lodo                                                                          | 53 |
| Figura 3.6 | Fotomicrografia da pasta de cimento                                                                                    | 53 |
| Figura 3.7 | Percentual de absorção de água para a misturas cimento + lodo                                                          | 54 |
| Figura 3.8 | Resistência à compressão dos corpos de prova preparados                                                                | 55 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|            |                                                                                    |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1.1 | Aditivos utilizados no processo de tingimento                                      | 18 |
| Tabela 2.1 | Exigências Para Lançamento De Efluentes Líquidos<br>Têxteis - Diretos e Indiretos. | 24 |
| Tabela 3.1 | Análise da massa bruta de Lodo                                                     | 47 |
| Tabela 3.2 | Solubilidade do Lodo                                                               | 48 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

|                 |                                                 |
|-----------------|-------------------------------------------------|
| DQO             | Demanda química de Oxigênio                     |
| AOX             | Organohalogenados Adsorvíveis                   |
| ETE             | Estação de tratamento de efluentes              |
| IBGE I          | Instituto Brasileiro de geografia e estatística |
| CDI             | Conselho de desenvolvimento industrial          |
| PIB             | Produto Interno Bruto                           |
| ITMF            | International Textile manufacturers Federation  |
| CPRH            | Companhia Pernambucana do Meio Ambiente         |
| SS              | Sólidos Sedimentáveis                           |
| PVC             | Policloreto de Vinila                           |
| CONAMA          | Conselho Nacional do Meio Ambiente              |
| NBR             | Norma Brasileira Regulamentadora                |
| ABNT            | Associação Brasileira de Normas Técnicas        |
| CNEN            | Comissão Nacional de Energia Nuclear            |
| NO <sub>x</sub> | Compostos de nitrogênio                         |
| CPII – 32       | Cimento Portland                                |
| MEV             | Microscopia de Eletrônica de Varredura          |
| EDS             | Energy Dispersive System                        |
| AA              | Absorção de Água                                |
| MPa             | MegaPascal                                      |
| mg              | Miligrama                                       |
| kg              | Quilograma                                      |
| pH              | Potencial de Hidrogênio                         |
| % p/p           | Percentual Peso/Peso                            |
| VMP             | Valores Máximos Permitidos                      |
| M <sub>s</sub>  | massa do corpo seco                             |
| M <sub>u</sub>  | massa do corpo saturado de água                 |
| Kgf             | Quilograma força                                |
| cm              | Centímetros                                     |
| Θ               | Teta                                            |
| D               | Diâmetro                                        |
| α               | Alfa                                            |

# Capítulo 1

## Introdução

A indústria têxtil brasileira constitui uma atividade tradicional, tendo sido peça fundamental na estratégia de desenvolvimento da política industrial brasileira. Através dela o Brasil iniciou seu processo de industrialização.

A maioria das empresas do setor têxtil é de pequeno e médio porte, embora 80-90 % do faturamento e a maior parcela da produção do setor seja devido às atividades das indústrias de grande porte. O investimento realizado nesses empreendimentos provém basicamente do capital nacional, sendo que a região sudeste concentra a maioria dessas indústrias, seguida das regiões sul e nordeste do país (LEÃO, 2002).

As indústrias têxteis produzem uma quantidade considerável de artigos tais como: artigos de confecção, cama, mesa e banho, cortinas, toalhas de mesa, tapetes, lonas automotivas, tecidos industriais, são apenas alguns exemplos produzidos pelas diversas indústrias do ramo. Cada um desses artigos é produzido de maneira própria, resultando em uma grande variedade de fluxos produtivos.

Em termos de produção e de número de trabalhadores, a indústria têxtil é uma das maiores do mundo. A facilidade de produção é muito grande, desde indústrias com o processamento totalmente automatizado até pequenas instalações artesanais, mas todas consumindo grandes quantidades de água, corantes e produtos químicos utilizados ao longo de uma complexa cadeia produtiva (SANIM, 1977).

O processo produtivo da cadeia têxtil inicia-se com a matéria-prima - fibras, indo para a fiação, seguindo para a tecelagem plana ou para a malharia e, por último, para o acabamento.

As fibras têxteis podem ser de origem natural (animal e vegetal) ou manufaturada (sintéticas ou artificiais). Dentre as fibras de origem natural, destacam-se o algodão e a lã. As fibras manufaturadas podem ser produzidas

a partir da celulose regenerada (viscose ou acetato) ou totalmente sintéticas (poliéster ou 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 (CARREIRA, 2006).

É incontestável que a água é o produto auxiliar de maior consumo na indústria têxtil, conseqüentemente um dos produtos mais importantes no processo produtivo.

Numerosas operações são necessárias a fim de dar ao tecido o máximo de propriedades, gerando assim em cada etapa diferentes despejos. A principal origem dos efluentes gerados pelas indústrias têxteis é proveniente dos processos de lavagem, tingimento e acabamento.

Dado o grau de variedade de fibras, corantes auxiliares e produtos de acabamento em uso, esses processos geram efluentes de grande complexidade química. Dependendo da origem, os efluentes apresentam normalmente vazões, cargas orgânicas, condutividade devida aos sais e auxiliares de tingimento adicionados, e cor, elevadas, pH alcalino, com contaminação principalmente na forma solúvel (VANDEVIVERE *et al.*, 1998; RAMOS, 2002).

A composição de um efluente misto em uma indústria de processamento têxtil, normalmente apresenta as seguintes características (BITENCOURT, 2002):

- Cor intensa, devido a grande quantidade de corantes não fixados.
- Altas temperaturas, devido ao emprego destas, em algumas etapas do processamento.
- Grande quantidade de DQO refratária devido a corantes de alta massa molecular.
- Altas concentrações de AOX (Organohalogenados Adsorvíveis), sulfitos e metais pesados encontrados nos alvejantes e halógenos, enxofre ou metal pesado que se encontre presentes muitas vezes nos corantes.

A quantidade de efluente líquido a ser tratada antes de se descartada resulta na geração de uma grande quantidade de lodo.

O lodo é um produto semi-sólido que tem origem nos tratamentos primários e secundários das ETEs de águas residuárias. Os lodos primários são aqueles obtidos naturalmente por sedimentação natural ou flotação de parte do material sólido em suspensão, sem utilização de produtos químicos. Na classe dos lodos químicos estão aqueles cuja obtenção se dá com o auxílio de produtos químicos, que podem ser realizados no tratamento primário ou terciário. Os lodos secundários são obtidos nos tratamentos biológicos, os quais podem ser aeróbios ou anaeróbios (ROSA 2004).

Dentre os diferentes contaminantes dos lodos industriais, os metais pesados são os mais discutidos na literatura.

## **1.1 Breve História da indústria Têxtil**

Fonte: [www.textilia.net](http://www.textilia.net) acessado em fevereiro 2009

O processo de industrialização no Brasil teve seu início com a indústria têxtil. Suas raízes precedem à chegada e a ocupação do país pelos portugueses porquanto os índios que aqui habitavam já exerciam atividades artesanais, utilizando-se de técnicas primitivas de entrelaçamento manual de fibras vegetais e produzindo telas grosseiras para várias finalidades, inclusive para proteção corporal.

A evolução histórica da indústria têxtil no país pode ser identificada em quatro etapas importantes: a fase colonial, a fase de implantação, a fase da consolidação e a fase atual que serão analisadas a seguir.

### **1.1.1 Fase Colonial**

O período colonial que se estende de 1500 até 1844 a característica fundamental é a insipiência da indústria têxtil, além de sua descontinuidade. As diretrizes da política econômica para as colônias eram ditadas pela Metrópole. Assim, era comum a adoção de políticas de estímulo ou restrição, segundo seus interesses ou necessidade de cumprimento de acordos comerciais com outros países.

Em 1785, por Alvará de D. Maria I, mandou-se fechar todas as fábricas de tecidos de algodão, lã e outras fibras, com exceção daquelas que fabricavam tecidos grosseiros destinados à vestimenta de escravos e para enfiamento ou embalagens. A determinação da extinção das fiações e tecelagens existentes no Brasil tinha como objetivo evitar que um número maior de trabalhadores agrícolas e extrativistas minerais fossem desviados para a indústria manufatureira.

Com a chegada de Dom João VI ao Brasil, o Alvará de D. Maria I foi revogado, mas o surto industrialista que poderia ter-se verificado não ocorreu. Ao contrário, foi aniquilado em razão de medidas econômicas de interesse de Portugal que assinara em 1810 um tratado de aliança e comércio com a Inglaterra, instituindo privilégios para os produtos ingleses, reduzindo-se os direitos alfandegários para 15%, taxa essa inferior até mesmo à aplicada para os produtos portugueses que entrassem no Brasil. Com isso, nossa incipiente indústria têxtil não tinha como competir com os tecidos ingleses, perdurando essa situação até 1844, quando novo sistema tarifário veio comandar o processo evolutivo da industrialização brasileira.

### **1.1.2 Fase de Implantação**

Em 1844, esboçou-se a primeira política industrial brasileira, quando foram elevadas as tarifas alfandegárias para a média de 30%, fato que provocou protestos de várias nações européias. A medida propiciou realmente um estímulo à industrialização, especialmente para o ramo têxtil, qual foi o pioneiro desse processo.

Contudo, o processo da industrialização não se deu de imediato; ele foi lento, podendo ser considerado o período de 1844 até 1913 como fase de implantação da indústria no Brasil. Em 1864, o Brasil já tinha uma razoável cultura algodoeira, matéria-prima básica da indústria têxtil, mão-de-obra abundante e um mercado consumidor em crescimento. Outros fatores não-econômicos também influenciaram a evolução da indústria têxtil, dentre os quais se citam: a guerra civil americana, a guerra do Paraguai e a abolição do tráfico de escravos, fato este que resultou na maior disponibilidade de capitais, antes empregados nessa atividade.

Assim, em 1864 estariam funcionando no Brasil 20 fábricas, com cerca de 15.000 fusos e 385 teares. Menos de 20 anos depois, ou seja, em 1881, aquele total cresceria para 44 fábricas e 60.000 fusos, gerando cerca de 5.000 empregos. Nas décadas seguintes, houve uma aceleração do processo de industrialização e, às vésperas da I Guerra Mundial, contávamos com 200 fábricas, que empregavam 78.000 pessoas.

### **1.1.3 Fase de Consolidação**

Como vimos anteriormente, no início da I Guerra Mundial o Brasil já dispunha de um importante parque têxtil. A guerra pode ser considerada como fator decisivo na consolidação da indústria têxtil brasileira. A limitação da capacidade do País de importar propiciou a oportunidade de crescimento da produção interna no vácuo deixado pelo não-suprimento externo de tecidos. Assim, a interrupção do fluxo de entrada de artigos oriundos do exterior, pela concentração dos Países europeus e Estados Unidos no esforço da guerra, funcionou como elemento de estímulo para o crescimento da indústria brasileira. Segundo dados do IBGE, em 1919, a indústria têxtil contava com 105.116 trabalhadores, o que representava 38,1% do contingente empregado nas indústrias de transformação.

Com o fim do conflito na década de 20, novamente arrefeceu a atividade têxtil pela retomada das importações de tecidos diante da dificuldade de competição com os similares estrangeiros que eram vendidos no Brasil a preços inferiores aos que eram cobrados em seus países de origem.

Em 1929, a grande crise que se abateu sobre a economia mundial propiciou nova oportunidade de crescimento da indústria brasileira, a exemplo do que havia ocorrido durante a I Guerra. A capacidade de importação foi drasticamente reduzida, levando praticamente todos os países a adotarem políticas de substituição dos importados pela produção interna das mercadorias necessárias a seu abastecimento.

Esse processo foi aprofundado pela eclosão da II Guerra Mundial, período em que ocorreram realmente excepcionais alterações na estrutura industrial brasileira. Como os fornecedores tradicionais do Brasil estavam envolvidos no conflito, abriu-se a possibilidade de o mercado ser suprido por



meio do incremento da produção interna, com o surgimento de muitas fábricas em praticamente todos os setores da atividade manufatureira. No ramo têxtil, as fábricas se ampliaram, passando a operar com mais de um turno de trabalho e produzindo mais para atender o mercado interno e, ainda, exportando para mercados importantes, principalmente da Europa e dos Estados Unidos.

O número de operários ocupados no ramo têxtil triplicou no período de 1920 a 1940. A participação do setor no Produto Industrial atingiu 23,1%, o que bem demonstra o nível de pujança alcançado no período.

Todavia, terminado o conflito mundial, novamente o setor retornou à situação anterior. Com a normalização paulatina do mercado internacional, perdemos nossos clientes externos e as exportações caíram a níveis insignificantes. De uma média anual de cerca de 20 mil toneladas de tecidos de algodão exportados no período de 1942 a 1947, caímos para 1.596 toneladas em 1951, que se reduziram a quase nada nos anos seguintes. Os investimentos foram travados e o obsoletismo do equipamento em uso ficou patente.

#### **1.1.4 Fase atual**

A segunda metade dos anos 50 marca, todavia, o início da fase industrial brasileira em processo acelerado, com ênfase para os setores mais dinâmicos e não-tradicionais.

Nessa fase, o setor têxtil, por influência sistêmica do desenvolvimento industrial da época, também começou a passar por grandes transformações. É assim que, a partir de 1970, incentivos fiscais e financeiros administrados pelo CDI - Conselho de Desenvolvimento Industrial, órgão do Ministério da Indústria e Comércio, possibilitou um movimento de fortes investimentos em modernização e ampliação da indústria têxtil, com vista, principalmente, ao aumento das exportações brasileiras de produtos têxteis.

Em célebre reunião realizada na sede do Sindicato da Indústria de Fiação e Tecelagem do Estado de São Paulo, o então Ministro da Fazenda, Antonio Delfim Netto, desafiou o setor a exportar 100 milhões de dólares por ano em manufaturados têxteis. Realmente, as exportações têxteis, que tinham

alcançado apenas 42 milhões de dólares em 1970, deslancharam continuamente, atingindo US\$ 535 milhões em 1975, US\$ 916 milhões em 1980, US\$ 1,0 bilhão em 1985, US\$ 1,2 bilhões em 1990 e US\$ 1,5 bilhão em 1992.

A partir de 1993, porém, nossas vendas externas novamente regrediram, agora por conta das novas e profundas transformações ocorridas na economia e na política brasileira, tais como a abertura do mercado interno aos fornecedores externos, iniciada em 1990, a eliminação de entraves burocráticos às importações, a redução das tarifas aduaneiras, etc., as quais ocasionaram o fechamento de muitas empresas e obrigaram o setor a investir fortemente na sua modernização para reduzir custos e poder competir com os produtos importados.

## **1.2 Panorama econômico brasileiro da indústria têxtil**

Fonte: [www.abit.org.br](http://www.abit.org.br) acessado fevereiro 2009

O Brasil é um país de misturas, uma nação que desde o seu nascimento foi criada a partir de uma intensa mescla cultural. Até hoje o país é definido pelas suas combinações inovadoras: de design com técnicas tradicionais, de grandes belezas naturais com ferramentas tecnológicas e de preservação do meio ambiente com o trabalho social.

Assim também é o setor têxtil e de confecção nacional, que compreende mais de 30 mil empresas e gera 1,65 milhões de empregos em toda a sua extensa cadeia, que inclui fios, fibras, tecelagens e confecções.

A indústria têxtil Brasileira produz anualmente aproximadamente 1.700.000 toneladas de malhas, fios e tecidos. O consumo médio de água nos processos têxteis é de 20 m<sup>3</sup>/t de material acabado, o que nos leva a um consumo anual aproximado de 34.000.000 m<sup>3</sup> de água. A cada 24 toneladas de material produzido, gera-se aproximadamente uma tonelada de lodo têxtil, o que resulta em 73.000 toneladas de lodo têxtil gerado anualmente.

Com auto-suficiência de algodão os criadores brasileiros podem deixar a imaginação fluir, misturar matérias-primas e desenvolver produtos exclusivos impulsionando cada vez mais o setor e mantendo o país entre os seus grandes produtores.

O Brasil está na lista dos 10 principais mercados mundiais da indústria têxtil, bem como entre os maiores parques fabris do planeta; é o segundo principal fornecedor de índigo e o terceiro de malha está entre os cinco principais países produtores de confecção e é hoje um dos oito grandes mercados de fios, filamentos e tecidos.

Um dos motivos deste sucesso é a diversidade. Pela sua extensão territorial e variedade cultural, cada região brasileira atua de modo diferenciado, inovando nos meios de produção e no tratamento dos tecidos.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, o faturamento total do setor têxtil equivale a 4,4 % do PIB brasileiro (que representa o valor agregado de cada segmento econômico) e emprega cerca de 2 % da população ativa. Certamente este setor é de grande relevância para a economia do país e com forte impacto social

Como país produtor de artigos têxteis, o Brasil exerce um papel importante no cenário mundial, posicionando-se em 6º lugar na produção de fios, filamentos e tecidos planos, em 2º lugar no que se refere aos tecidos de malha e em 5º em confeccionados, considerando-se as informações fornecidas pelos países membros da International Textile Manufacturers Federation – ITMF ([www.fiec.org.br/publicacoes/jornalfiec/edicoes/](http://www.fiec.org.br/publicacoes/jornalfiec/edicoes/)).

### **1.3 A INDÚSTRIA TÊXTEL E SEU PROCESSO**

Os produtos têxteis são derivados da manufatura de fibras que podem ser naturais ou sintéticas. As duas principais fibras naturais (animais e vegetais) são a lã e o algodão e, as principais fibras sintéticas (polímeros naturais ou sintéticos) incluem o poliéster o rayon, o nylon, o poliacrílico e as poliamidas.

Existem diferentes sistemas de produção têxtil. Essa diversidade de sistema decorre do tipo de produto final que se deseja fabricar. Apesar dessa diversificação é possível caracterizar o processo têxtil como um conjunto de operações o qual pode ser dividido em cinco etapas distintas: beneficiamento (produção de fibras), fiação (produção do fio), tecelagem e malharia (produção do tecido), acabamento (tingimento, amaciamento e/ou estamparia) e a confecção (produção de roupas).

### **1.3.1 Descrição do processo produtivo**

Fonte: (IMMICH, 2006)

#### **1.3.1.1 Beneficiamento primário**

No beneficiamento primário os tecidos passam por tratamentos para eliminar óleos, ceras, pigmentos, marcações e sujeiras adquiridas durante os processos de fiação e tecelagem. Após essa etapa, a fibra têxtil está limpa, brilhante, alva e hidrofílica.

#### **1.3.1.2 Mercerização**

A mercerização é o tratamento com solução de hidróxido de sódio (soda cáustica) concentrado a frio, máximo 18°C, que é aplicado, sob tensão, aos fios e tecidos de algodão. A solução de soda é removida por lavagens, ainda sob tensão, após o tratamento. A soda que permanece no tecido é neutralizada com ácido acético ou clorídrico a frio, seguido de enxágüe para remoção do ácido.

Esse tratamento proporciona ao material celulósico brilho acentuado, maior afinidade aos corantes, toque mais macio, maior resistência mecânica, maior absorção e encolhimento. A solução de soda cáustica promove a expansão da fibra, que se rompe após a retirada desse álcali, assumindo uma seção circular. Esse rearranjo interno da estrutura cristalina das fibras da celulose é que confere as características do tecido mercerizado.

A alcalinização, também chamada de caustificação ou lixiviação, proporciona ao material têxtil encolhimento, espessamento, aumento da resistência e do poder de absorção dos corantes.

#### **1.3.1.3 Purga**

A purga objetiva retirar impurezas naturais do tecido ou fio, como óleos, gorduras e lubrificantes adicionados à fibra na tecelagem. Os tecidos sintéticos são submetidos apenas a uma purga leve para eliminação de gomas. A remoção das impurezas se processa a quente, podendo ocorrer perda de peso

do tecido, de 3 a 7%, dependendo da quantidade de impurezas e das condições de extração e lavagem.

Os produtos químicos utilizados neste processo incluem álcalis, para saponificar óleos naturais, e surfactantes para emulsionar e suspender impurezas não saponificáveis.

A purga torna a fibra mais absorvente, o que melhora a eficácia dos tratamentos subseqüentes, como alveamento e tingimento. Após o banho de purga, o tecido é submetido a lavagens a quente e a frio, a fim de que o álcali residual seja removido.

#### **1.3.1.4 Alveamento**

O alveamento é um processo químico que elimina cor indesejável de fibras, fios ou tecidos. Vários tipos de produtos químicos são utilizados como alvejantes e a seleção depende do tipo de fibra e do tratamento subseqüente.

O processo de alveamento envolve as seguintes etapas:

- O tecido é saturado com o alvejante, ativador, estabilizador e outros produtos necessários;
- A temperatura é elevada ao valor recomendado para a fibra específica e mantida durante o tempo requerido para o processo;
- O tecido é lavado.

Atualmente, o reagente alvejante mais utilizado é o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), sendo ainda importante o uso de hipoclorito de sódio ( $NaClO$ ), clorito de sódio ( $NaClO_2$ ) e dióxido de enxofre ( $SO_2$ ).

#### **1.3.1.5 Beneficiamento secundário**

Após a fase de preparação dos tecidos, através dos processos de beneficiamento primário, segue-se o tingimento.

O tingimento é executado para conferir cor aos fios ou tecidos. Os corantes são, em geral, moléculas pequenas que contêm dois componentes

principais: o cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional que liga o corante à fibra.

A adsorção e retenção do corante a fibra pode ser química, físicas ou ambas, dependendo da fibra e do corante. O grau de adsorção é função de vários fatores, tais como tempo de contato, temperatura, pH e auxiliares químicos. Os produtos têxteis podem ser tingidos por três métodos, de acordo com a maneira de introdução do corante na fibra:

- **Tingimento por exaustão:** difusão do corante dissolvido para o interior das fibras (contínuo ou em batelada);
- **Tingimento com pigmentos:** deposição do corante insolúvel sobre a fibra e fixação com um ligante;
- **Tingimento com géis:** incorporação do corante durante a produção de fibras sintéticas.

Os produtos auxiliares usados no tingimento podem constituir parte integrante do processo, como agentes redutores para tingimento com corantes a cuba, ou podem levar a melhorias do produto, tais como uniformidade do tingimento, propriedades de solidez, etc.

Uma das classificações utilizadas para os produtos auxiliares é relacionada ao seu uso, sendo distinguidos agentes de solubilização, agentes umectantes, agentes de pós-tratamento e agentes redutores, além de equalizantes, aceleradores e antiquebraduras.

Dessa forma, as características desses efluentes de tingimento dependem do corante utilizado, da fibra, dos métodos de tingimento e dos produtos auxiliares adicionados.

Após a etapa de tingimento, o tecido segue para o acabamento final, ou passa ainda por outro processo denominado estampagem, que objetiva conferir cor em locais específicos do tecido.

### 1.3.1.6 Beneficiamento terciário

Na etapa de acabamento final ou beneficiamento terciário, os tecidos são submetidos a uma série de processos com o objetivo de conferir aspecto que atenda aos desejos do consumidor, além de garantir diversos tipos de resistência ao uso. O tecido deve apresentar largura regular e na medida requerida pelo comprador, toque exigido e estabilidade dimensional. Quanto ao aspecto visual, pode-se atribuir como acabamento final, brilho, relevo, matificação e transparência.

O acabamento pode ser de dois tipos:

- **Acabamento mecânico:** envolve processos como chamuscagem, ciré, lixagem, felpagem, decatissagem, foulonagem, sanforizagem, etc.;
- **Acabamento químico:** compreende processos como amaciamento, adição de produtos que conferem ao tecido repelência à água e outros capazes de evitar rugas. Muitas vezes, o material têxtil é submetido a um acabamento combinado entre os dois tipos citados.

### 1.3.2 Corantes

Cores sempre exerceram fascínio sobre a humanidade. Por toda a história, corantes e pigmentos foram objetos de atividades comerciais. Hoje, são mais de oito mil compostos diferentes sendo vendidos. Estas substâncias podem ser tanto orgânicas como inorgânicas. São que dão cor a nossas roupas, papéis, casas ou carros. Muitos dos velhos tecidos encontrados em múmias egípcias eram coloridos. O uso de corantes pelo homem tem mais de 4.000 anos. Mesmo nas cavernas, utilizavam pigmentos para fazer inscrições rupestres. Eram, inicialmente, obtidos de fontes naturais. O uso de corantes artificiais só iniciou em 1856. Entretanto, muitos corantes naturais utilizados na antiguidade ainda são empregados, e em larga escala. Exemplos são o índigo, um pigmento azul, extraído de planta homônima (*indigofera tinctoria*).

A partir do processo de beneficiamento pode - se obter as principais substancia presentes nos efluentes têxteis. Fica claro que dependendo da indústria, essa composição do efluente varia de acordo com as etapas de beneficiamento adotadas e o tipo de fibra que está sendo beneficiada.

Uma das substancias presentes em abundancia nos efluentes são os corantes e pigmentos, visto que eles são amplamente utilizados e em grandes quantidades se levarmos em conta a grande quantidade de tecido que é beneficiado por dia na indústria. Por mais que o processo de tingimento seja eficiente, sempre ocorre a perda de corante durante o processo.

Torna-se então importante ter-se uma visão mais ampla dos tipos de corantes mais comuns utilizados na indústria têxtil.

Os corantes podem ser classificados como:

- **Corantes diretos ou substantivos**

Constituem uma classe de corantes que são solúveis em água e se ligam à fibra por interações de Van-der-Waals. A afinidade pode ser aumentada pelo uso de eletrólitos. É constituído principalmente por corantes contendo mais de um grupo azo ou pré-transformado em complexos metálicos. O Corante mais representativo desse grupo é o vermelho congo.

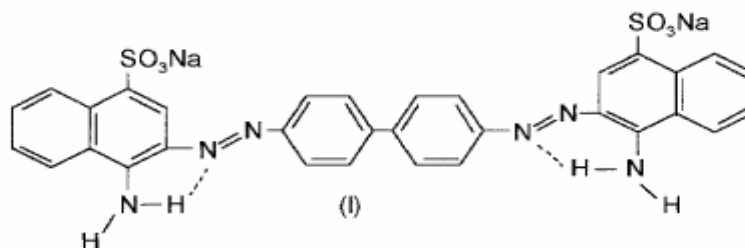


Figura 1.1 – Exemplo de corante direto (I – Vermelho congo) contendo grupos diazo como grupos cromóforos

Fonte: Guaratini e Zanoni

- **Corantes ácidos**

São corantes ácidos que tingem as fibras protéicas ou poliamídicas por interação com o par de elétrons presentes nessas fibras. O tingimento com esse corante é feito em banho contendo o corante, um ácido e um sal. Dependendo da situação, o tingimento pode ser feito sem a adição de ácido.



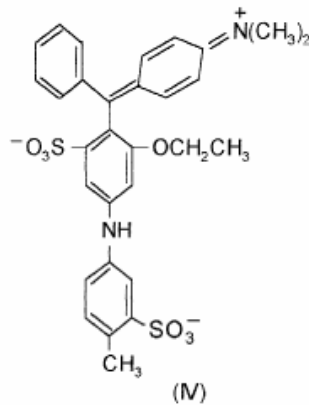


Figura1.2 – Estrutura Molecular do corante ácido Violeta

Fonte: Guaratini e Zanoni

- **Corantes Básicos**

São utilizados para tingir lã, acrílico e seda natural e são solúveis em soluções aquosas aciduladas. Tais corantes são mais utilizados em sua forma modificada para que possam tingir a fibra acrílica.

- **Corantes azóicos**

São obtidos sinteticamente sobre a fibra no momento do tingimento quando aplicados dois compostos no material têxtil:

- O naftol, que é insolúvel em água, porém quando solubilizado em hidróxido de sódio forma naftalato de sódio que reage com a celulose.

- Uma base insolúvel em água, que é solubilizada por adição de nitrito de sódio ou ácido clorídrico, tornando-se assim uma base diazotada. Estes Corantes podem ser obtidos sobre as fibras vegetais, a seda natural, a viscose e a poliamida.

- **Corantes a cuba, a tina ou de redução**

São substâncias insolúveis em água, que por redução com hidrossulfito de sódio em meio alcalino, se transformam em derivados solúveis e tingem o material celulósico da fibra. Entre esses corantes, encontramos exemplos de maiores índices de solidez em geral. (Alcântara e Daltin, 1996)

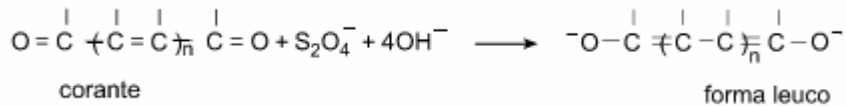


Figura 1.3 – Exemplo de processo de redução do corante a cuba

Fonte : Guaratini e Zanoni

- **Corantes ao enxofre**

Após aplicação, caracterizam-se por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos. São aplicados após pré-redução em banho de hidrossulfito de sódio. Apresentam resíduos altamente tóxicos.

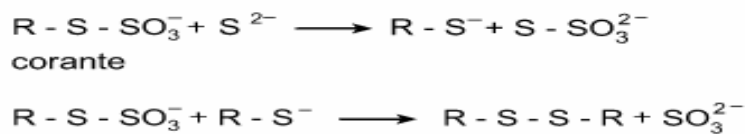


Figura 1.4 – Exemplo de reação com corantes contendo grupo tiosulfato com íons sulfeto.

Fonte: Guaratini e Zanoni

- **Corantes Reativos**

São corantes contendo grupos eletrofílicos (reativos) capazes de formar ligações covalentes com o grupo hidroxila das fibras celulósicas, com grupo amino, hidroxilas e tiois das fibras protéicas e com grupo amino de poliamidas. Contém a função azo e antraquinona em sua composição como grupos cromóforos e os grupos clorotriazinila e sulfato etilsulfonila como grupos reativos. Confere maior estabilidade na cor do tecido.

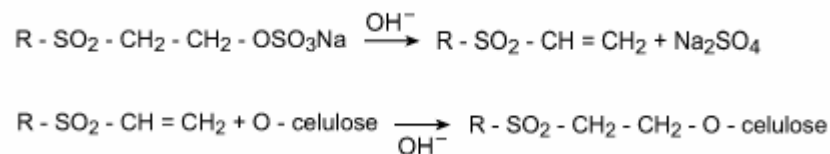


Figura 1.5 – Exemplo do processo de tintura de algodão com corante contendo grupo sulfatoetilsufona como centro reativo da molécula

Fonte: Guaratini e Zanoni

- **Corantes dispersos**

Corantes insolúveis em água, que atualmente utilizados em fibras hidrofóbicas. Para sua aplicação são necessários agentes dispersantes que normalmente estão contidos na formulação do corante. Tem grande utilidade no tingimento de poliéster, através de maquinas pressurizadas que operem a alta temperatura.

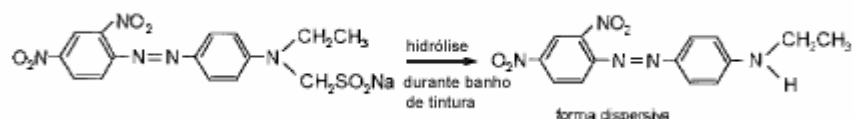


Figura 1.6 – Exemplo de corante solubilizado temporariamente através de reação de hidrólise

Fonte: Guaratini e Zanoni

- **Corantes brancos ou branqueadores ópticos**

São substancias que quando aplicadas em tecidos brancos, proporcionam alta reflexão de luz, inclusive de comprimentos de onda fora da faixa do visível que são transformados em visíveis por excitação e retorno dos elétrons aos níveis normais. (Alcântara e Daltin, 1996)

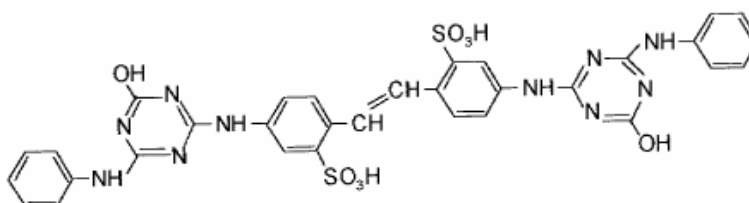


Figura 1.7 – Exemplo de Corante branqueador

Fonte: Guaratini e Zanoni

### 1.3.3 Aditivos

Aditivos são comumente adicionados aos tecidos durante o tingimento de forma a melhorar a fixação do corante ao tecido. Essa substancia também podem ser encontradas nos efluentes têxteis. Por isso é de suma importância ter-se conhecimento dessas substancias e suas funções no processo de tingimento.

Tabela 1.1 – Aditivos utilizados no processo de tingimento

| Produto                                  | Função                                                                                                                                                                | Base química mais usada                           |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Umectante                                | Homogeniza e acelera a hidrofiliabilidade do tecido evitando diferente tempo de contato de regiões de fibras com soluções de corantes, o que provocaria manchas.      | Nonilfenol etoxilado; Ácidos graxos etoxilados.   |
| Antiespumante                            | Evita transbordamento do banho de corante pela formação de espuma em máquinas de alta agitação                                                                        | Emulsões de silicone; Hidrocarbonetos alifáticos. |
| Umectante de baixa espuma                | Evita a formação de espuma sem a necessidade de anti-espumante                                                                                                        | Álcool graxo etoxilado e propoxilado              |
| Seqüestrante                             | Evita que altos teores de metais na água precipitam os corantes e mancham os tecidos                                                                                  | Acrilatos; Ácidos cítricos.                       |
| Ajustadores de pH                        | Leva a solução ao pH necessário para que ocorra a reação fibra/corante                                                                                                | Carbonato / Barrilha                              |
| Eletrólito                               | Colabora no processo de montagem do corante aumentando a força iônica do meio. Diminui a quantidade de corante perdido na solução após o tingimento                   | Cloreto de Sódio; Sulfato de Sódio.               |
| Retardamento de montagem ou igualizante. | Evita o tingimento muito rápido das partes mais expostas do tecido, fornecendo oportunidade de, com agitação, todas as regiões do tecido ser coloridas uniformemente. | Éteres poliglicóis; Naftaleno sulfonato de sódio. |
| Dispersantes                             | Usados para dispersar corantes não solúveis em água.                                                                                                                  | Tensoativos em geral                              |

Fonte: Alcântara e Daltin

#### 1.4 Gerações de Efluentes da Indústria Têxtil

Fonte: (CPRH, 2001)

A indústria têxtil gera efluentes líquidos, gasosos e resíduos sólidos. Os efluentes originários dos diversos processos têxteis são uma função direta do tipo de substrato têxtil que está sendo processado, dos corantes utilizados e do tipo de equipamento. Portanto, pode-se observar uma gama enorme de variações das características quantitativas e qualitativas dos efluentes, principalmente dos efluentes líquidos.

### **1.4.1 Efluente Líquido**

A indústria têxtil é uma das maiores produtoras de efluentes líquidos. São necessários aproximadamente 80 litros de água para produzir 1 kg de tecido. Contudo, há referência a valores da ordem de 150 litros, sendo que 80 % deste volume são descartados como efluente e apenas 12 % do total compõem as perdas por evaporação. A característica destes efluentes depende da tecnologia e dos processos industriais utilizados e também dos tipos de fibras e produtos químicos empregados. O alto consumo de água demandado pela indústria têxtil é devido às operações de lavagem, tingimento e acabamento dos tecidos, bem como de lavagem de pisos e equipamentos.

Os efluentes industriais contêm inúmeras substâncias contaminantes, devido à intensa utilização de produtos químicos, que podem causar danos ao meio ambiente se não forem adequadamente removidas ou tratadas. Muitas dessas substâncias que não foram retiradas no tecido são descartadas com o efluente.

Os poluentes da indústria têxtil apresentam-se em elevadas concentrações que, associado a grandes vazões, proporcionam ao efluente uma carga considerável de difícil tratamento. Geralmente os poluentes resultantes da indústria têxtil são orgânicos e solúveis.

A carga poluidora dos efluentes líquidos provenientes da indústria têxtil pode ser classificada da seguinte maneira:

#### **1.4.1.1 Sólidos sedimentáveis (SS)**

Os valores dos SS podem variar muito, dependendo de fatores como tipo de processo de beneficiamento aplicado, tipo de fibra, tipo de tecido, tipo de tratamento, etc. Em geral, os valores encontram-se abaixo de 50 ml/l.

#### **1.4.1.2 Metais pesados**

A carga de efluentes têxteis por metais pesados é pouca, quando aplicado o alto padrão técnico disponível hoje em dia. O cádmio é praticamente ausente e o mercúrio pode estar presente em poucas quantidades (através de soda cáustica e ácido clorídrico produzido por eletrodos de mercúrio); cromo,

cobalto e cobre podem chegar aos efluentes, dependendo do processo de tingimento usado (em geral abaixo de 1 mg/l); e alguns processos de acabamento tipo .wash and wear. Usam zinco (poucos mg/l).

#### **1.4.1.3 Hidrocarbonetos**

Uma carga importante dos efluentes têxteis constitui-se de hidrocarbonetos provenientes da engomagem dos fios e/ou acabamento do tecido.

#### **1.4.1.4 Compostos orgânicos halogenados**

Outra carga importante dos efluentes é formada por compostos orgânicos halogenados, que geralmente são medidos através do parâmetro AOX (compostos orgânicos halogenados adsorvíveis em carvão ativado). Eles compõem uma gama de substâncias diferentes, como hidrocarbonetos clorados, PVC, pigmentos verdes (não tóxicos), fenóis clorados (tóxicos), etc. As principais fontes no processo produtivo são o alvejamento, tingimento de fibras sintéticas e corantes reativos (contendo cloro).

#### **1.4.1.5 Detergentes e agentes tensoativos**

Essas substâncias são usadas como detergentes para lavagem, emulsificadores, agentes humidificantes, agentes de correção no tingimento e agentes para aumentar a lisura e maciez do tecido. Muitas delas não são biodegradáveis. Os agentes tensoativos (detergentes, emulsionantes e dispersantes) podem ser os principais responsáveis pela toxicidade dos efluentes têxteis, e, daí a necessidade de um critério rigoroso na escolha dos mesmos. Aminas quaternárias usadas, por exemplo, em processos de amaciamento, são muito tóxicas e devem ser evitadas - sempre que possível.

#### **1.4.1.6 Cor, Temperatura e pH.**

Os efluentes têxteis podem apresentar alterações intensas na coloração (dependendo dos corantes e pigmentos usados), na temperatura (às vezes acima de 40 °C) e no pH. Os efluentes provenientes de um processo com lã mostram, normalmente, um pH baixo (ácido), enquanto processos com algodão têm efluentes com pH altos (alcalino).

#### **1.4.2. Emissões Atmosféricas**

As emissões atmosféricas provenientes da Indústria têxtil são originadas, principalmente, nos sistemas de geração de vapor e, em segundo plano, nos sistemas de secagem dos tecidos e na estamparia, em virtude da presença de materiais voláteis (amaciantes).

Atenção especial deve ser dada às emissões provenientes da termofixação do poliéster e da lycra. Elas podem causar incômodo na vizinhança, acarretando reclamações. Entretanto, em geral, são atóxicas e podem ser controladas por dispersão atmosférica, através de modelo matemático, com anuência do órgão de controle ambiental.

As emissões das caldeiras de geração de vapor dependem do tipo de combustível utilizado.

#### **1.4.3 Resíduos Sólidos**

A geração de resíduos sólidos nas indústrias têxteis é diretamente relacionada às características das matérias-primas utilizadas, ao tipo de processo empregado, às técnicas de reaproveitamento adotadas e às alternativas de reciclagem.

Dentre os diversos resíduos gerados, podem-se identificar:

- . Resíduos orgânicos de processo (cascas, piolho);
- . Resíduos de materiais têxteis;
- . Resíduos têxteis de manutenção contaminados (buchas, panos);
- . Resíduos de tintas, pigmentos e corantes;
- . Resíduos gerados fora do processo industrial;
- . Resíduos de varrição não perigosos;
- . Sucatas de metais ferrosos;
- . Embalagens metálicas (latas vazias de pigmentos, corantes e produtos auxiliares);
- . Bombonas plásticas;
- . Tambores metálicos;

- . Lodos da estação de tratamento de águas residuárias;
- . Lodos da estação de tratamento de água potável; e
- . Outros (restaurantes, escritórios, etc.).

Os resíduos gerados pela indústria têxtil variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos, novos maquinários, novas técnicas e, também, conforme a demanda do consumidor por outros tipos de tecidos e cores.

A carga poluidora das fábricas de tecidos é proveniente dos processos em que se utilizam produtos químicos. Dessa forma, a redução do uso desses produtos no processamento industrial e a recuperação de subprodutos e/ou reciclagem possibilitam a minimização da geração de resíduos. Em alguns desses processos, a geração de resíduos se dá de forma mais intensa e merece uma atenção especial, tanto em relação aos custos envolvidos, por tratar-se de matéria prima, quanto à questão do meio ambiente, que exige uma disposição adequada.

#### **1.4 - O processo de tratamento de efluente têxtil.**

As indústrias têxteis que dispõem de etapas produtivas de beneficiamento possuem sistemas de tratamento de efluentes (ETE). Nesses sistemas de tratamento ocorre a geração de elevadas quantidades de lodo, numa razão direta entre a eficiência na remoção de matéria orgânica e o sistema de tratamento físico-químico, em função do processo utilizado.

##### **1.5.1- Definições do processo**

Os processos utilizados com maior frequência na indústria têxtil estão representados pelos sistemas de lodos ativados (Figura 1.8). Este processo consiste na agitação dos efluentes na presença de microorganismos e ar, durante o tempo necessário para metabolizar e floccular uma grande parte da matéria orgânica. Infelizmente, o processo apresenta o grande inconveniente de ser bastante susceptível à composição do efluente (cargas de choque), além de produzir um grande volume de lodo.





Figura 1.8 – Diagrama de blocos do tratamento de Lodo ativado  
Fonte: Kunz *et al*

Em geral, na indústria têxtil os processos de tratamento estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos de precipitação-coagulação, seguidos de tratamento biológico via sistema de lodos ativados. O sistema apresenta uma eficiência relativamente alta, permitindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes. Infelizmente, o problema relacionado com o acúmulo de lodo torna-se crítico, uma vez que o teor de corantes adsorvido é bastante elevado, Tornado muito difícil qualquer possibilidade de reaproveitamento. (KUNZ et al,2002)

## 1.5 A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Fonte : (CPRH,2001)

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, órgão supremo do meio ambiente brasileiro, estabelece na resolução n.º 357 os padrões de lançamento de efluentes líquidos. A legislação brasileira estabelece, também, que estados e municípios podem ter suas próprias legislações, embora mais restritivas que a federal.

A Tabela 2.1 apresenta as exigências da legislação federal (CONAMA) e das legislações dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Pernambuco

TABELA 2.1 – Exigências Para Lançamento De Efluentes Líquidos Têxteis - Diretas e Indiretas.

| Parâmetros                   | Unidade | Federal                   | Rio de São Paulo | Santa Catarina      | Pernambuco            |                       |
|------------------------------|---------|---------------------------|------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
|                              |         | Art.21 res. CONAMA no. 20 | Diretriz DZ- 205 | Art.18 Dec.No. 8468 | Art.19 Dec.No. 14.250 | Art.29 Dec. No. 7.269 |
| pH                           |         | 5,0-9,0                   |                  | 5,0-9,0             | 6,0-9,0               | 5,0-9,0               |
| Temperatura                  | °C      | <40                       |                  | <40                 | <40                   | <40                   |
| Material sedimentável        | ml/l    | 1,0                       |                  | 1,0                 | <1,0                  | <1,0                  |
| Material flutuante           | mg/l    | Ausente                   |                  |                     |                       | Ausente               |
| DBO <sub>5,20</sub>          | %       |                           |                  | 60(4)               | 60                    |                       |
| Red. DBO <sub>5,20</sub>     |         |                           |                  | 80                  | 80                    |                       |
| Carga ≤ 100 kg/dia           |         |                           | 70% (5)          |                     |                       |                       |
| Carga > 100 kg/d             |         |                           | 90% (5)          |                     |                       |                       |
| DQO                          | mg/l    |                           | 200(6)           |                     |                       |                       |
| P, total                     | mg/l    |                           |                  |                     | 1,0                   |                       |
| N-NH <sub>4</sub>            | mg/l    | 5                         |                  |                     |                       |                       |
| Fe                           | mg/l    | 15                        |                  | 15                  | 15                    |                       |
| As                           | mg/l    | 0,5                       |                  | 0,2                 | 0,1                   |                       |
| Ba                           | mg/l    | 5,0                       |                  | 5,0                 | 5,0                   |                       |
| B                            | mg/l    | 5,0                       |                  | 5,0                 | 5,0                   |                       |
| Cd                           | mg/l    | 0,2                       |                  | 0,2                 | 0,1                   |                       |
| Pb                           | mg/l    | 0,5                       |                  | 0,5                 | 0,5                   |                       |
| Cu                           | mg/l    | 1,0                       |                  | 1,0                 | 0,5                   |                       |
| Cr-VI                        | mg/l    | 0,5                       |                  | 0,1                 | 0,1                   |                       |
| Cr III                       | mg/l    | 2,0                       |                  |                     |                       |                       |
| Cr total                     | mg/l    |                           |                  | 5,0                 | 5,0                   |                       |
| Ni                           | mg/l    | 2,0                       |                  | 2,0                 | 1,0                   |                       |
| Ag                           | mg/l    | 0,1                       |                  | 0,02                | 0,02                  |                       |
| Se                           | mg/l    | 0,05                      |                  | 0,05                | 0,02                  |                       |
| Zn                           | mg/l    | 5,0                       |                  | 5,0                 | 1,0                   |                       |
| F <sup>-</sup>               | mg/l    | 10,0                      |                  | 10,0                | 10,0                  |                       |
| CN <sup>-</sup>              | mg/l    | 0,2                       |                  | 0,2                 | 0,2                   |                       |
| SO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | mg/l    | 1,0                       |                  |                     |                       |                       |
| S <sup>-2</sup>              | mg/l    | 1,0                       |                  |                     | 1,0                   |                       |
| OG minerais                  | mg/l    |                           |                  | 100                 | 20                    | 50                    |
|                              |         |                           |                  |                     | 30                    |                       |
| Fenois                       | mg/l    | 0,5                       |                  | 0,5                 | 0,2                   |                       |
| Tricloro-eteno               | mg/l    | 1,0                       |                  |                     | 1,0                   |                       |
| Tetracloro-eteno             | mg/l    | 1,0                       |                  |                     | 1,0                   |                       |
| Tetracloro-metano            | mg/l    | 1,0                       |                  |                     | 1,0                   |                       |
| Dicloro-eteno                | mg/l    | 1,0                       |                  |                     | 1,0                   |                       |

O licenciamento ambiental de uma indústria têxtil existente ou a se instalar, deve considerar os padrões de lançamento e as reais necessidades do corpo receptor, para resguardar as suas características de uso exigidas. Isto quer dizer que, embora a indústria têxtil possa oferecer padrões de emissão dentro das especificações previstas, é preciso restringi-las e/ou adequá-las em favor da qualidade do corpo receptor.

### **1.7. Caracterização dos Resíduos Sólidos**

De acordo com a classificação fornecida pela norma brasileira NBR 10004- Resíduos Sólidos o resíduo gerado nos processos têxteis deve ter uma disposição correta devido à sua composição complexa, pois utilizam corantes nos processos de tingimento, além de soda, polímero, sulfato de alumínio, ferro, cal e produtos utilizados no tratamento de efluentes.

Estes resíduos sólidos conhecidos como lodo não devem ser dispostos no ambiente, pois além de sua composição variada este lodo é solúvel em água e, quando em contato com a natureza sem nenhum tratamento pode causar poluição.

Segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), e para efeito desta norma técnica, aplica-se a seguinte definição de resíduos sólidos:

Resíduos sólidos: “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

## **1.7.1 Classificação**

### **1.7.1.1. Por sua natureza física**

Por sua natureza física, atualmente bastante utilizada nos projetos de coleta seletiva, pode ser: seco e molhado.

### **1.7.1.2. Por sua composição química**

De uma forma bem genérica, os resíduos sólidos podem ter sua composição química classificada como: matéria orgânica e matéria inorgânica.

### **1.7.1.3. Pelos riscos potenciais ao ambiente**

A Norma NBR 10004:2004 (ABNT, 2004) – Resíduos sólidos – Classificação e com auxílio dos ensaios de lixiviação e solubilização, descritos na NBR 10005:2004 e NBR 10006:2004 (ABNT, 2004 b e c), respectivamente, classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao ambiente e à saúde pública, a fim de que estes possam ser manuseados e terem seu destino de forma adequada. A periculosidade de um resíduo é definida como a característica apresentada que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar:

- a) Risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) Risco ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

Deste modo, esta Norma NBR 10004:2004 classifica os resíduos em:

#### **Resíduos Classe I – Perigosos**

São aqueles que representam periculosidade, ou uma das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade

#### **Resíduos Classe II – Não Perigosos**

##### **Resíduos Classe II A – Não Inertes**

São os que não se enquadram nem como perigosos nem como inertes, podendo ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

### **Resíduos Classe II B – Inertes**

São aqueles que após o ensaio de solubilização não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água (com exceção de aspecto, turbidez, dureza e sabor) (ABNT, 2004).

#### **Pela sua origem**

Pela sua origem ou fonte geradora os resíduos sólidos permitem a seguinte classificação:

#### **Resíduos domiciliares**

São os resíduos sólidos gerados em atividades nos domicílios residenciais, preponderando em sua constituição matéria orgânica, plásticos, latas, vidros etc. Seus riscos à saúde e ao ambiente são crescentes à medida que são introduzidos pelo consumo da sociedade novos produtos como pilhas, tintas, pesticidas, solventes e materiais de limpeza, termômetros, lâmpadas, etc.

#### **Resíduos comerciais**

São resíduos gerados em estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços, variando sua composição segundo as características das atividades desenvolvidas pelo gerador. Para efeito prático se assemelham bastante aos resíduos domiciliares.

#### **Resíduos públicos**

São formados pelos resíduos sólidos resultantes das atividades de varrição e limpeza de logradouros públicos, tais como: papéis, folhagem, areia, resíduos de podas de árvore e capina retirada de animais mortos, resíduos de feiras livres, etc.

### **Resíduos de serviços de saúde**

São os resíduos provenientes de todos os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento; serviços de medicina legal; drogarias e farmácias inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos; importadores, distribuidores e produtores de materiais e controle para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de tatuagem, entre outros similares.

### **Resíduos Industriais**

São os resíduos provenientes de atividades no âmbito da indústria, onde se inclui a maioria dos resíduos perigosos, definidos como Classe I pela NBR 10004:2004. Entretanto, parte de seus resíduos, gerados pelos escritórios e refeitórios das indústrias, por exemplo, se assemelham aos domiciliares.

Pelos seus graves riscos à saúde pública e ao ambiente estão obrigados a monitoramento, tratamento e destinação final específicos, sendo de responsabilidade do gerador a sua gestão ambiental adequada.

### **Resíduos de atividades rurais**

São aqueles resíduos resultantes principalmente das atividades agrícolas e de criação de animais, entre outras, com destaque para as embalagens resultantes da aplicação de defensivos e demais insumos utilizados nestas atividades.

### **Resíduos da construção civil**

Segundo a Resolução no 307/02 do CONAMA, os resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terreno, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações,

fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou Metralha.

### **Resíduos de serviços de transporte**

São os resíduos resultantes das atividades de transporte e os gerados pelos portos, aeroportos, postos de fronteira e terminais rodoviários, ferroviários e portuários.

### **Resíduos radioativos**

São os resíduos que emitem radiações acima dos limites definidos pelas normas ambientais, e que por força da lei, seu manuseio, acondicionamento e disposição final estão sob tutela da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN (ERTHAL, 2006)

Logo, para que um resíduo tenha destino adequado, é necessário que ele seja classificado de acordo com as normas brasileiras. A NBR 10.004 - Classificação de resíduos (ABNT, 1987c). (SISINNO, 2003)

## **1.8 Disposição final do lodo da ETE**

Com o crescente aumento na concorrência e das preocupações com a melhoria da qualidade do meio ambiente, indústrias vêm buscando alternativas para diminuir custos visando à redução do impacto ambiental e o aumento da credibilidade perante o mercado consumidor. Esse comportamento está de acordo com uma legislação mais exigente, com o desenvolvimento de políticas econômicas mais eficazes e outras medidas destinadas a incentivar a proteção ao meio ambiente, mostrando que cada vez mais as empresas estão se tornando cientes de como é importante a questão da preservação ambiental e do desenvolvimento sustentável. (FERNANDES *et al*, 2003).

A indústria têxtil tem um alto potencial poluidor, por utilizar produtos com um alto grau de toxicidade e uma quantidade muito elevada de água. Essa água utilizada gera um grande volume de efluente a ser tratado, e como resultado desse tratamento, gera-se uma grande quantidade de lodo.

Esse lodo gerado do tratamento de efluentes representa um problema no que diz respeito à disposição final, pois nele podem estar presentes

substâncias conhecidas (como por exemplo, sódio, cálcio, magnésio, cloretos, etc.) e desconhecidas, além do que, quando misturado ao meio ambiente, ou mesmo durante o tratamento, podem sofrer transformações e serem produzidas substâncias com alto poder poluidor.

Um grande número de localidades urbanas e rurais vem sofrendo transformações ambientais danosas decorrentes da disposição inadequada de resíduos sólidos, dentre esses os industriais, como por exemplo, o lodo gerado nas estações de tratamento de efluente têxtil. Sem infra-estrutura necessária para oferecer a destinação adequada a esses resíduos sólidos, muitas dessas áreas tornam-se soluções improvisadas ou emergenciais, que acabam por se transformarem em definitivas, gerando uma série de transtornos que por sua vez se refletem em graves problemas de saúde pública.

Essas soluções contribuem para um mau gerenciamento desses resíduos sólidos e podem acarretar: a improdutividade das áreas utilizadas para a disposição de resíduo, problemas econômicos e sociais; danos ambientais no ar, na água e no solo.

As alternativas mais utilizadas para disposição final do lodo de estações de tratamento de efluentes são:

### **Aterros (“landfilling”)**

Os aterros industriais e sanitários têm sido os destinos preferenciais de resíduos, procurando confiná-los na menor área e reduzi-los ao menor volume possíveis. Os resíduos são cobertos sucessivamente com camadas de solo, constituindo as células, que se sobrepondo constituem os aterros. Geralmente eles são implantados obedecendo a normas dos órgãos ambientais da Administração Pública e por eles fiscalizados.

Um aspecto fundamental para a implantação de um aterro é o cuidado em relação ao uso e ocupação do solo e seus arredores, uma vez que os poluentes ou contaminantes podem ser transportados, propagando-se por diferentes vias, como, por exemplo, através de águas superficiais e subterrâneas. Esses poluentes são de naturezas diversas podendo-se destacar os metais pesados. (NASCIMENTO et al, 2006)



A maior restrição quanto aos aterros é a demanda por grandes extensões de área para sua viabilização operacional e econômica, além de que os resíduos permanecem potencialmente perigosos no solo até que possam ser incorporados naturalmente ao meio ambiente (MONTEIRO *et al*, 2001).

Atualmente, em alguns países, essa prática vem sendo abandonada, pois apresenta um elevado custo inicial, sacrifica a área, pode contaminar os lençóis freáticos e exige monitoramento mesmo após o encerramento das atividades.

### **Incineração**

No mundo inteiro a evolução das tecnologias de incineração e dos próprios incineradores com a aplicação de práticas como: alimentação contínua de combustível, aperfeiçoamento do controle de combustão, uso de câmaras múltiplas e a instalação de sistemas de controle da poluição, dentre outras, aumentaram a eficiência do processo, propiciando uma diversificação dos usos de incineradores de resíduos (CAIXETA , 2005)

Em seu trabalho (MENEZES,2000) descreve sobre quatro gerações de incineradores , sendo que a última geração de incineradores, a atual , possui sofisticados sistemas de tratamento de gases, contemplando a remoção de poluentes como NOx, dioxinas e furanos, e também tecnologias de tratamento para a produção de resíduos finais inertes, que podem ser reciclados ou dispostos no meio ambiente sem causar problemas.

Verifica-se que o avanço da tecnologia tem ocorrido também nos processos de pré - tratamento do lixo a ser incinerado visando aumentar a homogeneização, diminuir a umidade e aumentar o poder calorífico, bem como nos processos de combustão.

A implantação de incineradores no Brasil teve maior projeção para o tratamento de resíduos classificados como especiais (aeroportuários, hospitalares e industriais). Com isso, verifica-se que a incineração no país ainda se caracteriza pela grande quantidade de incineradores de pequeno porte, instalados principalmente em hospitais, os quais operam de forma precária, sem manutenção adequada e sem controle das emissões atmosféricas. (CAIXETA , 2005)

### **Co-Incinação / co-processamento**

Este processo, co-incinação de resíduos perigosos em fornos de fabricação de clínquer, também denominada usualmente de co-processamento apesar de se enquadrar parcialmente na conceituação inicial de incinação, tem um tratamento em separado por ser considerado como um subprocesso dos processos de produção de cimento. Vários técnicos tendem a não considerar o co-processamento como um processo de incinação. Neste processo os resíduos entram em substituição à parte do combustível (economia de energia) ou à parte da matéria prima.

Para que os resíduos sejam introduzidos nos fornos de clínquer estes têm que sofrer pré-tratamentos específicos que garantam que as características dos resíduos se mantêm constantes e não vão produzir efeitos nocivos ao cimento produzido ou ao meio ambiente.

Tanto devido aos grandes problemas de controle das emissões dos fornos de cimento, quanto em decorrência da manutenção das características técnicas do cimento produzido, surgem sérias limitações em relação aos resíduos aceitos para serem co-processados. Muitos resíduos não têm sido aprovados para serem tratados por este processo, dentre eles: dioxinas, organoclorados, explosivos, radioativos, hospitalares, agrotóxicos, pesticidas, resíduos com altos teores de cloro, enxofre e metais pesados, e lixo urbano (MARINEIDE, 1999).

### **Compostagem**

A compostagem é considerada uma alternativa de tratamento da matéria orgânica presente em resíduos sólidos. A degradação biológica da matéria orgânica é acompanhada principalmente pelo controle da temperatura, como um dos fatores principais do desempenho da compostagem. É o fator mais indicativo do equilíbrio biológico na massa de compostagem o que reflete a eficiência do processo. A compostagem deve registrar temperaturas de 40 a 60°C, até os primeiros 30 (trinta) dias, como indicador de condições satisfatórias de equilíbrio no seu ecossistema (PEREIRA NETO e CUNHA, 1995).

Neste processo, o lodo é disposto em pequenos montes onde ocorre a oxidação pela percolação do ar do exterior para o interior da massa.

Após aproximadamente 30 dias, o lodo pode ser empregado com adubo, com aplicações limitadas

A produção de um composto orgânico de boa qualidade requer matéria orgânica não contaminada e que não seja compostada juntamente com substâncias tóxicas. Porém, não há contaminação que não possa ser evitada com uma separação na fonte ou uma “catação” (triagem) e/ou peneiramento na unidade de triagem e compostagem. O grau de qualidade do composto orgânico irá indicar seu uso mais apropriado. (PEREIRA NETO, 1999).

### **Utilização na construção civil**

Uma vez que os principais componentes do cimento Portland: cálcio, sílica, alumínio e ferro são, também, encontrados nos lodos de ETE, estes podem ser empregados na produção de argamassas, artefatos e blocos de concreto para a construção civil, substituindo, em até certas proporções, as matérias-primas normalmente utilizadas. Considerando que o setor da construção civil é o maior consumidor individual de recursos naturais, demandando de 20 a 50% do total de insumos extraídos, a reciclagem de lodo em concretos pode ser uma alternativa para a diminuição de impactos ambientais. Em se tratando da produção de tijolos, determinadas concentrações de lodo na massa podem prejudicar as características finais e dificultar o processamento.

Alguns pesquisadores, estudando a reciclagem secundária de lodo seco em matriz de concreto, pela avaliação da resistência mecânica à compressão e do teor de absorção de água, concluíram sobre a sua viabilidade em aplicações não-estruturais na construção civil. (HOPPEN et al, 2005)

O lodo pode ser utilizado como auxiliar nas misturas de cimento dentro dos padrões ABNT. Os ensaios de ruptura e compressão mostraram que as lajotas suportam até 60 t com uma redução de custo de 30%.

O lodo gerado é um problema para a indústria, pois não se apresenta ainda uma disposição final adequada apesar dos constantes avanços técnicos na área.

Com isso, devido à dificuldade ou falta de gerenciamento adequado desses resíduos sólidos, principalmente os lodos de estações de tratamento de efluente têxtil, que vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de encontrar outra forma de disposição final, tentando paralelamente diminuir o impacto ambiental e agregar valor ao que antes era apenas descartado.

### **1.9 Objetivo**

Os resíduos provenientes das estações de tratamento de efluentes (ETE) das tinturarias têxteis, lodo têxtil, somam um grande volume a ser depositado em aterros industriais. Dentre os diferentes contaminantes dos lodos industriais, os metais pesados são os mais discutidos na literatura.

O objetivo deste trabalho foi buscar alternativa para seu reaproveitamento como material construtivo no intuito de minimizar sua deposição.

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Na realização da parte experimental desta pesquisa foram utilizados os materiais abaixo relacionados:

- Resíduo sólido – lodo da Estação de Tratamento de Efluente de uma indústria têxtil
- Cimento Portland CII -32 F Cimento Portland Mauá.

#### **2.1 Resíduos sólidos – Lodo da Estação de tratamento de Efluente de uma indústria Têxtil.**

Para o desenvolvimento da parte experimental deste trabalho foi utilizado o lodo resultante do tratamento de efluentes de uma indústria têxtil localizada no município de Petrópolis, região serrana do estado do Rio de Janeiro. A produção desta indústria é direcionada ao beneficiamento de tecidos de puro algodão e de tecidos mistos de algodão com poliéster

Esta indústria utiliza no tratamento de seus efluentes líquidos um procedimento similar ao processo de tratamento descrito no item 1.5, porém com pequenas modificações para atender suas necessidades específicas. Deste modo as seguintes etapas do tratamento são utilizadas por esta indústria:

- Separação de sólidos grosseiros (Sistema de grades)
- Tanque de equalização (Bacia de equalização)
- Tanque de Aeração (Tratamento Biológico)
- Tratamento físico-químico
- Decantador (Decantador secundário)
- Prensagem do lodo

➤ **Separação de sólidos Grosseiros**

A etapa separação de sólidos grosseiros consiste na separação de sólidos que tenham sido carreados junto com o efluente, como por exemplo: pedaços grandes de tecido, ou eventuais dejetos como, papel, pedaços de plástico entre outros. A separação desses sólidos é de extrema importância para a estação, visto que os mesmos poderiam causar entupimento em bombas, tubulações, válvulas e conseqüentemente causar perda de eficiência nas etapas subseqüentes do processo



Figura 2.1 – Gradeamento

Fonte: [www.ikinhamalhas.com.br](http://www.ikinhamalhas.com.br)

➤ **Tanque de equalização (Bacia de Equalização)**

A etapa de equalização (Bacia de equalização) é composta por um tanque cúbico de aproximadamente 20 m<sup>3</sup>, no qual todo o efluente bruto é despejado e mantido sob aeração de forma a, *“Minimizar ou controlar as variações na vazão e concentração de efluentes para que se atinjam as condições ótimas para o processo de tratamento subseqüente”*.

A diferença na composição do efluente deve-se ao fato de que a indústria trabalha com processos de tingimento em batelada, e a cada batelada, o efluente sai com uma composição distinta, pois cada uma apresenta um tipo de processos diferente, com concentrações de matérias primas diferentes. Logo é de extrema importância a mistura desse efluente de forma a gerar um efluente mais homogêneo que irá para o tratamento biológico, pois este tratamento, como citado por KUNZ *et al* (2002), “é bastante susceptível à composição do efluente (cargas de choque)”.



Figura 2.2 – Tanque de equalização sendo preenchido

Fonte: [www.ikinhamalhas.com.br](http://www.ikinhamalhas.com.br)



Figura 2.3 – Tanque de equalização vista lateral

Fonte: [www.ikinhamalhas.com.br](http://www.ikinhamalhas.com.br)

### ➤ **Tanque de Aeração (Etapa Biológica)**

A etapa de tratamento Biológico consiste na degradação das substâncias biodegradáveis presentes no efluente vindo da etapa de equalização. Essa etapa processa-se em um tanque cúbico com aproximadamente 20 m<sup>3</sup>, onde, microorganismos irão estabilizar aerobicamente a matéria orgânica e crescer.

O Tanque Biológico possui uma população de microorganismos característica que é composta por bactérias, fungos, algas e protozoários. Dentre a população biológica presente no sistema de lodo ativado, as bactérias constituem o grupo mais importante e as mais frequentes são: *Pseudomonas*, *Zoogloa*, *Schromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium*, *Klebscella* e bactérias nitrificantes como *Nitrossomas* e *Nitrobacter*. Formas filamentosas podem estar também presentes. Também são encontrados protozoários (segundo grupo mais numeroso após as bactérias) ciliados, flagelados e amebas, além de micrometazoários (anelídeos, rotíferos, nematóides e tardígrados). Estes atuam como polidores do efluente, consumindo bactérias dispersas que não floculam e flocos biológicos de partículas que não sedimentam, sendo sua presença um indicativo das condições de depuração do sistema.

Nesse tanque, sai uma corrente que passara pelo tratamento físico químico e irá para o decantador, parte do lodo é recirculada para o tanque de aeração onde entra em contato com a matéria orgânica do despejo afluente e parte é descartada, sendo concentrada por via mecânica.”





Figura 2.4 – Tanque Biológico vista lateral

Fonte: [www.ikinhamlas.com.br](http://www.ikinhamlas.com.br)

### ➤ **Tratamento Físico-Químico**

O tratamento físico químico é apropriado para a remoção de material coloidal, matéria orgânica, cor, turbidez, odor, álcalis, metais pesados e óleos, assim como corantes dispersos. É baseado na desestabilização do material coloidal e formação de microflocos, eliminando assim parte dos sólidos dissolvidos e em suspensão.

Nos efluentes têxteis, a presença de grande parte de seus poluentes é na forma coloidal (não dissolvida e não sedimentável). Através do tratamento físico químico (coagulação/floculação), essas substâncias podem ser agrupadas podendo ser eliminadas por sedimentação ou flotação.

Na indústria exemplificada, o tratamento Físico químico é feito após o tanque de aeração. A corrente sai do tanque de aeração e passa por uma vala onde uma vazão constante de descolorante, floculante e polímero são despejados sobre o efluente. Esses três agentes atuam sobre os microorganismos e partículas sólidas para melhorar sua decantabilidade. Essa corrente, após o tratamento físico químico, segue para o decantador (sedimentador).

➤ **Decantador (Decantador secundário)**

O processo de sedimentação pode ser descrito como a deposição da partícula por gravidade.

Nesse tanque ocorrerá a separação dos sólidos provenientes das etapas anteriores e o descarte do efluente tratado para o corpo hídrico.



Figura 2.5 – Sedimentador

Fonte: [www.ikinhamalhas.com.br](http://www.ikinhamalhas.com.br)

O lodo descartado, como já citado anteriormente irá ser concentrado mecanicamente. Antes, porém da concentração, ele fica retido em um tanque de adensamento para ser posteriormente prensado. A função do tanque de adensamento além de concentrar o lodo para posterior prensagem o armazena de forma que sua concentração no decantador seja ideal e o mesmo não seja descartado no corpo hídrico junto com o efluente.



Figura 2.6 – Tanque de adensamento do Lodo

Fonte: [www.ikinhamalhas.com.br](http://www.ikinhamalhas.com.br)

### ➤ **Prensagem do lodo**

O ultimo processo pelo qual o lodo passa é a retirada de água para que o mesmo possa ser ter uma disposição final correta. Ao final do processo de retirada de água, ele apresenta em torno de 60-90% de umidade. Esse teor de umidade irá depender diretamente da eficiência do processo de prensagem.

Depois de prensado ele é disposto em caçambas de 5 m<sup>3</sup> e levado para aterro industrial controlado. Quanto maior a umidade, menor a eficiência do processo de forma que a quantidade de sólido descartado diminui acarretando um acúmulo de lodo nos tanques, visto que o volume das caçambas é restrito.



Figura 2.7 – Prensa

Fonte: [www.ikinhamalhas.com.br](http://www.ikinhamalhas.com.br)

O Lodo é formado basicamente de matéria orgânica, proveniente dos microorganismos presentes no processo de tratamento de efluentes. Outras substâncias encontradas provêm do processo de beneficiamento do tecido.

Este lodo segundo a norma NBR 10004:2004, é um resíduo sólido Classe IIA , portanto não pode ser descartado na rede de esgotos ou em corpos de água. Sua disposição deve ser efetuada em aterro industrial, pois o contato com o meio ambiente pode causar a contaminação do meio.



Figura 2.8 – Lodo *in natura*

A amostragem do lodo foi feita de forma aleatória na caçamba. A amostra recolhida apresentou uma coloração azul, em função do corante utilizado pela indústria (corantes do tipo diretos, reativos, ao enxofre e dispersos de todas as cores) de odor desagradável e umidade oscilando em torno de 60 a 90%.

## 2.2 Caracterizações do lodo

O lodo foi caracterizado nos seguintes parâmetros: ponto de fulgor, pH, sulfitos, porcentagem de sólidos e cianetos. A presença de metais foi feita por solubilização. Utilizaram-se ainda as técnicas de difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

### 2.2.1 Difração de Raios-X

A utilização da técnica de difração de raios-X tem como finalidade a identificação da estrutura cristalina do resíduo. Esta técnica consiste em se incidir um feixe de raios-X de comprimento de onda  $\lambda$  sobre um cristal, variando-se o ângulo de incidência  $\theta$  de maneira que quando o ângulo de incidência iguala-se ao de reflexão ou a lei de Bragg é obedecida, ocorre um registro gráfico referente a um dos feixes de difração.

O equipamento utilizado foi um difratômetro de Raios-X *RIGAKO* modelo Mini-Flex. As análises foram realizadas utilizando o método do pó, com radiação  $K\alpha$  do cobre e varredura entre os ângulos de 10 a 80° ( $2\theta$ ).

### 2.2.1.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A utilização desta técnica permite realizar um estudo das características superficiais e da morfologia das partículas. Quando uma radiação é empregada para iluminar um objeto, o valor limite do poder de resolução é definido pelo comprimento de onda da radiação. No microscópio eletrônico, ao invés da luz visível, a amostra é bombardeada com um feixe de elétrons altamente energético, permitindo, portanto, um poder de resolução bem mais elevado que na microscopia ótica.

Utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura JSM 6460 LV JEOL. Acoplado a um analisador de EDS.

### 2.3 Preparações dos corpos-de-prova

Com a finalidade de verificar a possibilidade de usar o lodo na confecção de materiais construtivos foram confeccionados corpos-de-prova com as seguintes proporções:

| Sigla      | Mistura                   | Quantidade em volume (ml) |      |      |
|------------|---------------------------|---------------------------|------|------|
|            |                           | Cimento                   | Lodo | Água |
| <b>C</b>   | 100% cimento              | 4000                      |      | 1200 |
| <b>CL1</b> | 90% cimento + 10% de lodo | 2700                      | 300  | 850  |
| <b>CL2</b> | 80% cimento + 20% lodo    | 2400                      | 600  | 670  |
| <b>CL3</b> | 70% cimento + 30% lodo    | 2100                      | 900  | 550  |

As quantidades dos componentes foram determinadas por volume. A homogeneização da mistura foi feita manualmente. Inicialmente foi misturados o cimento e o lodo e posteriormente adicionada à água de amassamento.

A moldagem foi feita utilizando uma forma cilíndrica de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro. As amostras foram moldadas em três camadas de misturas, com espessuras aproximadamente iguais com aplicação de 20 golpes por camada com um soquete metálico. A relação água/cimento em torno de 0,25 foi necessária para garantir a homogeneidade dos compostos durante a mistura. Após 24h os corpos-de-prova foram deformados e deixados

a temperatura ambiente a período de cura de 7 e 28 dias. Foram preparados três corpos-de-prova para cada dia de ensaio.

## 2.4 Caracterização física e mecânica dos corpos-de-prova

A caracterização foi feita após 7 e 28 dias de cura por meios de ensaio de absorção, resistência à compressão.

### 2.4.1 Ensaio de absorção de água (AA)

A absorção de água é devido aos poros existentes no material dos grãos. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 9937 e 9777 calculada da seguinte maneira:

$$AA (\%) = \frac{(M_U - M_S)}{M_S} \times 100$$

\*  $M_S$  – massa do corpo seco                       $M_U$  – massa do corpo saturado de água

### 2.4.2 Determinação da resistência a compressão

Depois de completada a cura, os corpos-de-prova foram rompidos segundo a norma NBR - 7215 de corpos cilíndricos com 10cm de altura e 5 cm de diâmetro. O cálculo da resistência à compressão, em megapascals (MPa), de cada corpo-de-prova, foi feito dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova. Para cada traço das misturas foram realizados 3 ensaios.

$$P = (F/A) / 10 \qquad \text{eq. 2.1}$$

Onde: P = resistência à compressão em MPa

F = valor obtido pela máquina de compressão no início da ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>)

A = área da seção transversal do corpo-de-prova, calculado  $(\pi D^2)/4$ , em cm

## CAPÍTULO 3

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização do lodo

##### 3.1.1 Análise da massa bruta do lodo

A composição do lodo das estações de tratamento de efluente têxteis esta intrinsecamente ligada ao tipo de fibra, o tipo de processo de beneficiamento utilizado pela indústria e o tipo de produtos utilizados na estação de tratamento de efluentes.

O lodo pesquisado apresentava uma coloração azul escura devido, principalmente aos corantes utilizados nos processos de tingimento.

A Tabela 3.1 mostra a análise da massa bruta do lodo da indústria utilizada neste trabalho.

Tabela 3.1 – Análise da massa bruta de Lodo

| Parâmetros             | Unidade | Resultados Analíticos | VMP-NBR 10004:2004 |
|------------------------|---------|-----------------------|--------------------|
| Ponto de fulgor        | °. C    | > 60                  | 60 (a, d)          |
| pH (suspensão 1:1)     | -       | 7,6                   | 2,0 – 12,5 (b)     |
| Sulfetos               | mg/Kg   | < 18                  | 500 (c)            |
| Porcentagem de sólidos | % p/p   | 11,7                  | -                  |
| Cianetos (como HCN)    | mg/Kg   | <1                    | 250 (c)            |

Fonte: Bioagri ambiental

(a) = Avaliação da inflamabilidade – item “a” do tópico 4.2.1.1 da NBR 10004:2004

(b) = Avaliação da Corrosividade – item “a” do tópico 4.2.1.2 da NBR 10004:2004

(c) = Avaliação da reatividade – item “e” do tópico 4.2.1.3 da NBR 10004:2004

(d) = Valor Máximo para Resíduos Líquido

Conforme se observa na Tabela 3.1 a quantidade de matéria orgânica é inferior a 11%. O lodo é um material de baixa densidade, provavelmente em função da grande quantidade de água presente no resíduo. O teor de sulfeto presente é ao enxofre presente nos corantes utilizados no beneficiamento do tecido.

Comparando os resultados encontrados com os Valores Máximos Permitidos (VMP) pela Norma NBR 10004:2004 , verifica-se que os parâmetros estão dentro dos limites máximos permitidos.

A Tabela 3.2 mostra o ensaio de solubilizado do lodo da indústria utilizada neste trabalho.

Tabela 3.2 – Ensaio de Solubilizado do lodo

| Parâmetros        | Unidade | Resultados<br>Analíticos | VMP-NBR<br>10004:2004 |
|-------------------|---------|--------------------------|-----------------------|
| Alumínio          | mg/L    | 0,621                    | 0,2                   |
| Arsênio           | mg/L    | <0,01                    | 0,01                  |
| Bário             | mg/L    | <0,01                    | 0,7                   |
| Cádmio            | mg/L    | <0,001                   | 0,05                  |
| Chumbo            | mg/L    | <0,01                    | 0,01                  |
| Cianeto           | mg/L    | 0,009                    | 0,07                  |
| Cloreto           | mg/L    | 76,3                     | 250                   |
| Cobre             | mg/L    | <0,005                   | 2,0                   |
| Cromo             | mg/L    | <0,01                    | 0,05                  |
| Ferro             | mg/L    | 1,4                      | 0,3                   |
| Fluoreto          | mg/L    | <0,2                     | 1,5                   |
| Índices de Fenóis | mg/L    | <0,001                   | 0,01                  |
| Manganês          | mg/L    | 0,012                    | 0,1                   |
| Merúrio           | mg/L    | <0,00005                 | 0,001                 |
| Nitrato (como N)  | mg/L    | <0,2                     | 10,0                  |
| Prata             | mg/L    | <0,05                    | 0,05                  |
| Selênio           | mg/L    | 0,012                    | 0,01                  |
| Sódio             | mg/L    | 94,0                     | 200                   |
| Sulfato           | mg/L    | 30                       | 250                   |
| Surfactantes      | mg/L    | <0,1                     | 0,5                   |
| Zinco             | mg/L    | <0,01                    | 5,0                   |

Fonte: Bioagri



Com relação ao Solubilizado de Lodo, podemos observar três parâmetros que estão acima do Valor Máximo Permitido (VMP) : alumínio , ferro , selênio.

### 3.1.2 Difração de Raios X

A Figura 3.1 mostra o difratograma do lodo.

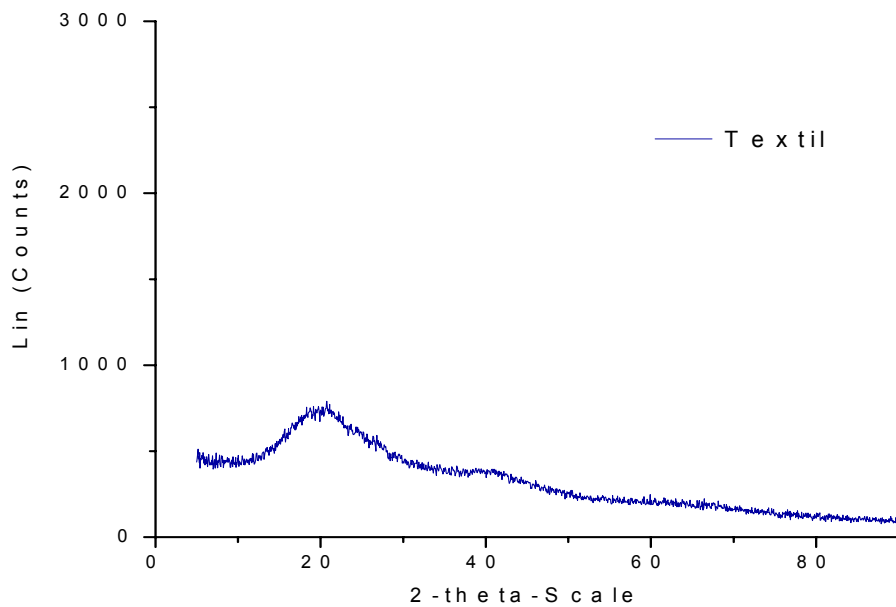


Figura 3.1 – Difratograma do lodo

O difratograma mostra que o material é amorfo e deslocamento da linha de base deve-se ao ferro presente no lodo.

### 3.1.3 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As Figuras abaixo mostram as fotomicrografias do lodo.

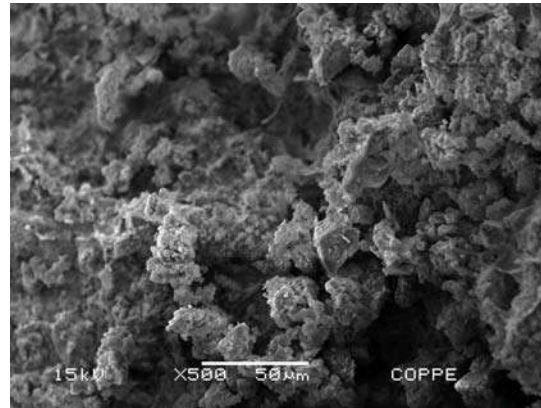
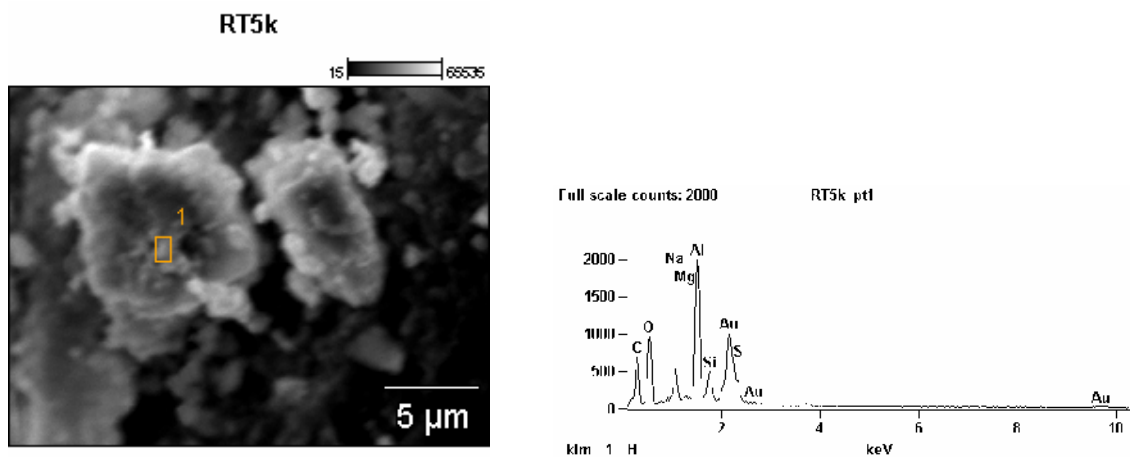


Figura 3.2 – Fotomicrografia do lodo

Observa-se na fotomicrografia do lodo in natura mostra uma superfície bastante heterogênea de aspecto pouco denso. Essa superfície heterogênea do lodo irá influenciar nas propriedades da pasta do cimento, pois este tipo de superfície facilita a formação de um filme de água junto às paredes do lodo enfraquecendo sua ligação com a pasta.

A figura 3.3 mostra a análise por Sistema de energia dispersiva (Energy Dispersive System – EDS) do lodo.



A análise por EDS foi realizada na área assinalada na foto. Foram identificadas as presenças de: carbono, sódio, alumínio magnésio e sílica. Em outro ponto da amostra de lodo o resultado por EDS pode ser visualizado abaixo.

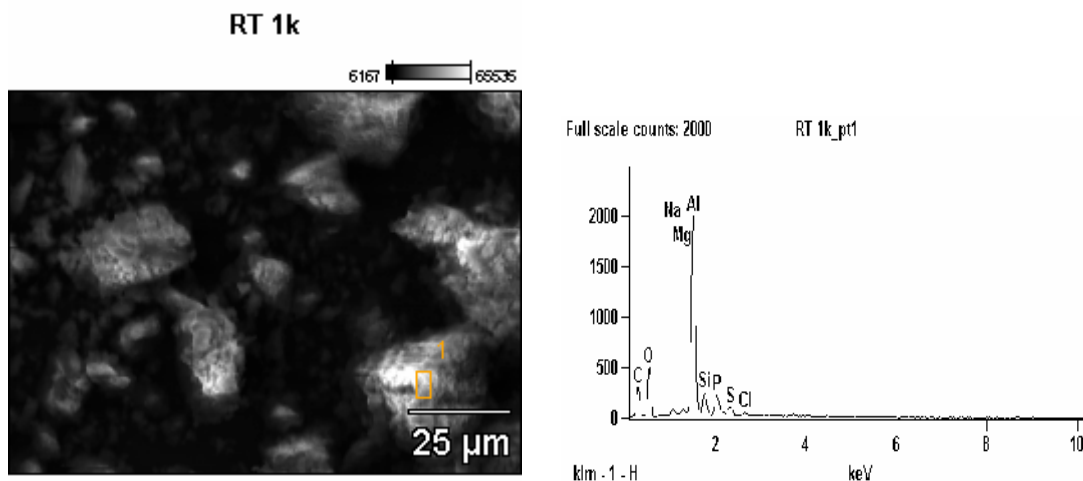


Figura 3.3 – Fotomicrografia do lodo e análise por EDS

Na área assinalada além dos elementos anteriormente identificados foi detectada a presença de cloreto.

Pelas informações da análise por EDS verifica-se que distribuição dos elementos presentes no lodo ocorre de modo não uniforme.

A Figura 3.4 mostra a fotomicrografia da pasta de cimento + 30% de lodo feito no tempo de cura de 28 dias.

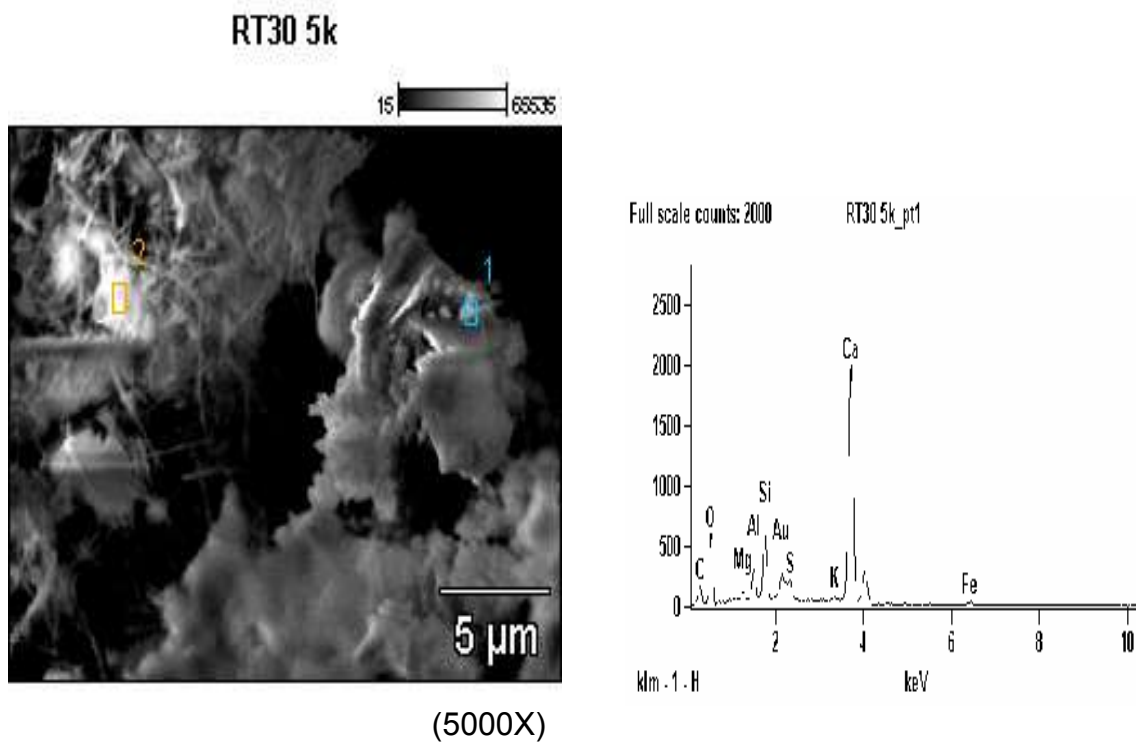
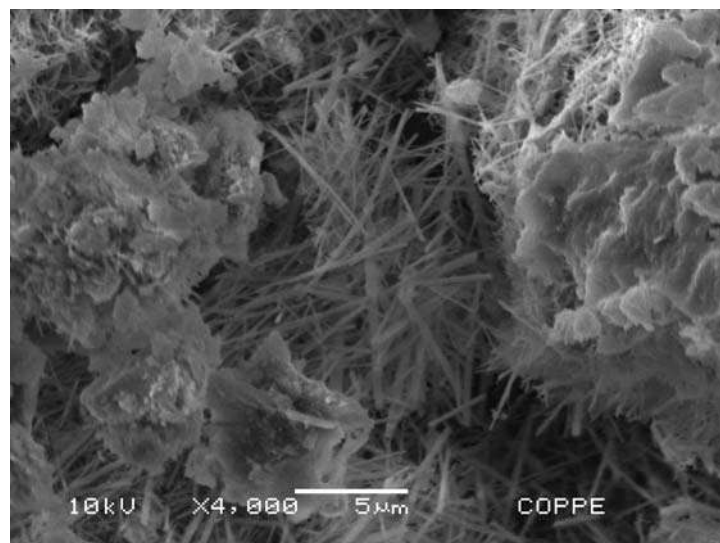


Figura 3.4 – Fotomicrografia da pasta cimento + 30% de lodo e análise por EDS

As análises das duas áreas assinaladas na fotomicrografia indicaram a presença de: carbono, oxigênio, magnésio, alumínio, sílica, potássio, cálcio, ferro.

A figura 3.5 mostra em mais detalhes a pasta cimento + 30% de lodo.



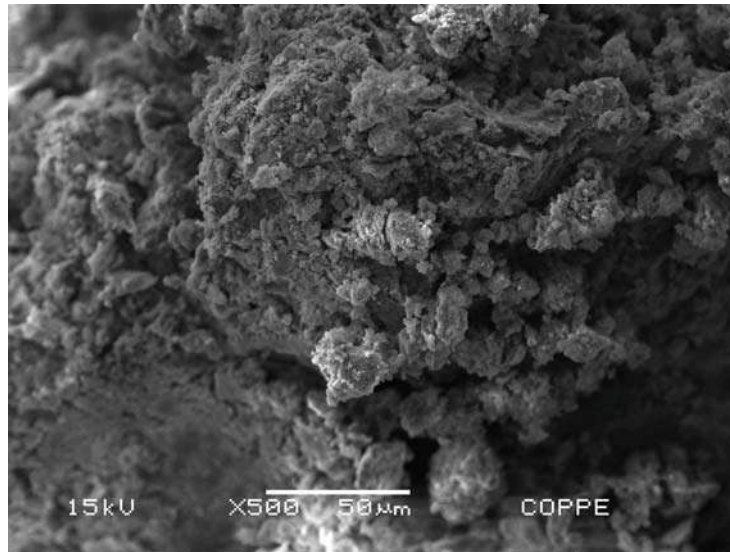


Figura 3.5 – Fotomicrografia mistura cimento + 30% de lodo

Analisando as fotomicrografias observa-se a presença de agulhas de etringita.

As fotomicrografias da pasta cimento + 30% de lodo mostram uma superfície pouco densa não muito agregada com áreas vazias em razão da forma do lodo que como anteriormente previsto causaria um enfraquecimento de sua ligação com a pasta (Figura 3.2). A superfície se apresenta como a zona de transição da pasta do cimento com o lodo devido às áreas vazias e heterogeneidade exibida. Diferentemente da pasta de cimento Portland que apresenta uma macro estrutura endurecida, porosa e heterogênea como pode ser visualizada na Figura 3.6.

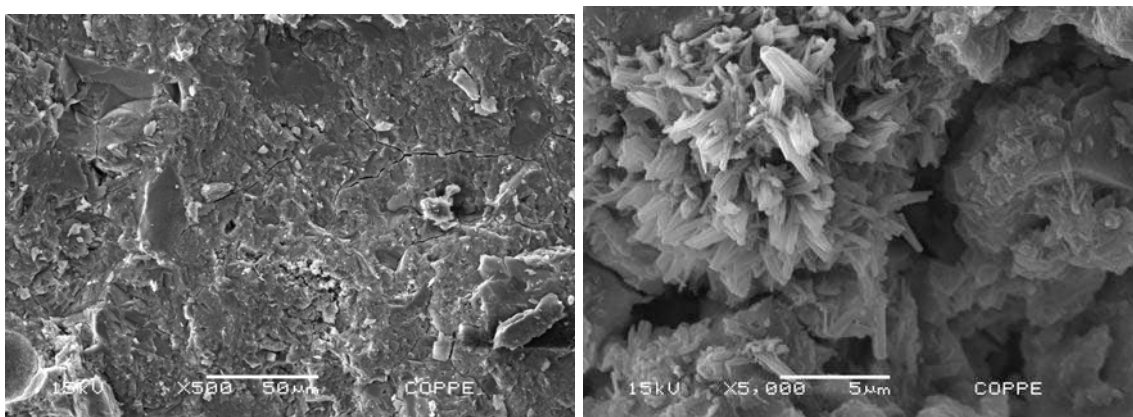


Figura 3.6 – Fotomicrografia da pasta de cimento

## 3.2 Caracterizações físicas e mecânicas dos corpos-de-prova

### 3.2.1 Absorção de água (AA)

Para a realização deste ensaio foram separados 3 corpos-de-prova para observa-se a absorção de água para os tempos de cura de 28 dias.

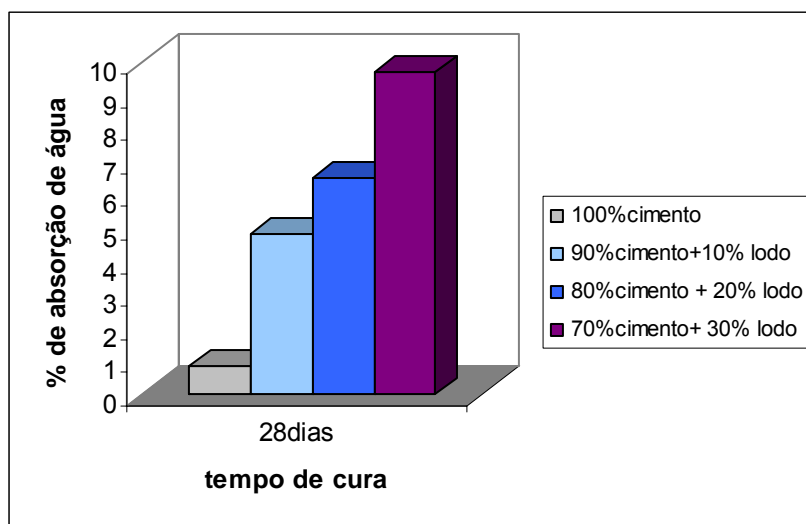


Figura 3.7 – Percentual de absorção de água para as misturas de cimento + lodo

Pelo gráfico observa-se que o aumento do teor de lodo na pasta de cimento acarreta em um percentual maior de absorção de água. Como foi identificada através da microscopia eletrônica, a pasta de cimento + lodo gera um material com área heterogênea com grandes vazios que provavelmente são responsáveis pelo aumento do percentual de absorção de água. Observa-se que à medida que o teor de lodo aumenta na pasta ocorre um aumento do percentual de absorção de água.

### 3.2.2 Resistência à compressão

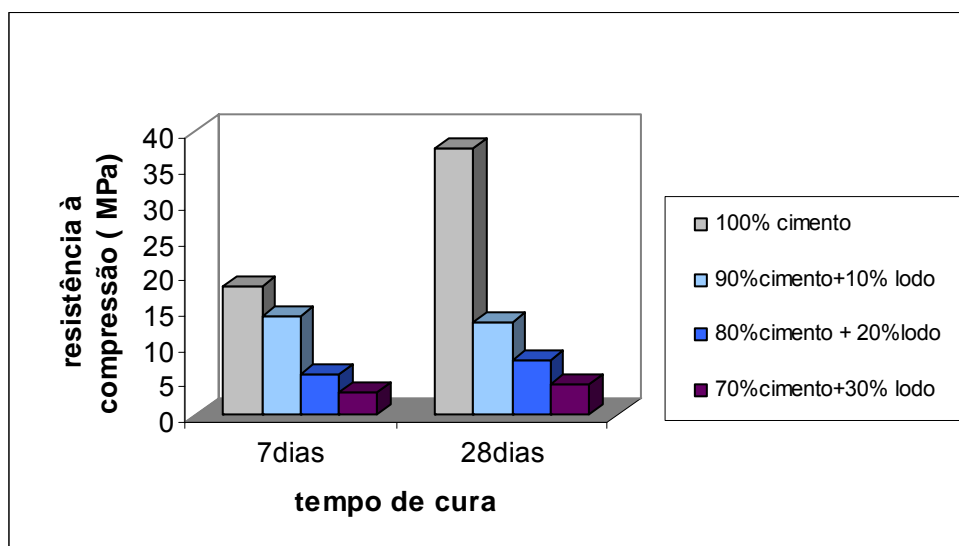


Figura 3.8 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova preparados

Na análise dos dados de resistência à compressão a pasta de cimento (C -100) foi usada como padrão de comparação para as misturas preparadas. Os valores encontrados para a pasta de cimento estão de acordo com as exigências mecânicas para este tipo de cimento, CP11-32F, (resistência à compressão para 3 dias  $\geq 10$ MPa, 7 dias  $\geq 20$ MPa e 28 dias  $\geq 32$  MPa).

Nas pastas preparadas com o lodo (CL10) (CL20) e (CL30) verifica-se que à medida que o teor de lodo aumenta na mistura ocorre uma diminuição da resistência à compressão. A principal causa desta diminuição pode ser atribuída ao teor de matéria orgânica presente no lodo. Verifica-se ainda que não ocorra um aumento significativo da resistência á compressão para os corpo-de-prova ensaiados aos 28 dias de cura. Observa-se que a presença do lodo interfere na matriz solidificada com o lodo de maneira negativa na resistência à compressão, mas não de forma crítica, pois as pasta analisados apresentam valores de resistência à compressão que permitem suas aplicações em diferentes finalidades.

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSÃO

O lodo analisado apresenta uma composição química variada devido aos produtos utilizados nos processos de tingimento e lavagem.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão demonstraram que a incorporação do lodo diminui a resistência da pasta de cimento devido à matéria orgânica nele existente. Porém os valores encontrados mostram valores de resistência suficientes para esses materiais serem utilizados como material construtivo.

Na incorporação de um material à pasta de cimento, a resistência à compressão não deve ser o único fator que deve ser verificado para sua possível utilização, sendo necessário analisar os componentes presentes quanto a sua atual sobre os demais materiais que podem entrar em contato bem como ao impacto ambiental causado pela lixiviação.

### SUGESTÕES

- Pesquisar como o lodo interfere nas reações de hidratação de cimento.
- Pesquisar se a presença de cloreto no lodo causa interferência em outros materiais usados na construção civil



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil, disponível em: <[www.abit.org.br](http://www.abit.org.br)>. Acesso em: 9 março 2009

ABNT. Determinação da Resistência à Compressão – Método de Ensaio – NBR 7215. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Resíduos Sólidos – Classificação – NBR 10004 / 1987. Rio de Janeiro, 1987.

BITENCOURT, M.P. Reaproveitamento do lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes de lavanderia (Tigimento e Lavagem) Maringá, 2002 Dissertação (Mestrado em Engenharia química), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UEM.

CARREIRA, M. F. - *Sistemas de Tratamento de Efluentes Têxteis – uma análise comparativa entre as tecnologias usadas no Brasil e na península Ibérica*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC (2006).

CPRH – Companhia Pernambucana do Meio Ambiente, Recife, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Classificação dos corpos de água e diretrizes para seu enquadramento – Resolução No. 357, 2005

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. Revista Química Nova, São Paulo, v. 23, p. 71-78, 1999.

GUARATINI, Cláudia C. I.; ZANONI, Maria Valnice B.. Corantes têxteis. Quím. Nova, São Paulo, v. 23, n. 1, Feb. 2000 . Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 08 Mar. 2009

IEMI – Instituto de Estudos de Marketing Industrial. História da Indústria Têxtil no Brasil. Disponível em: < [www.textilia.net](http://www.textilia.net)> Acesso em: 20 jan. 2009.

IMMICH, S.P.A. Remoção De Corantes De Efluentes Têxteis Utilizando Folhas De *Azadirachta Indica* Como Adsorvente. Tese de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, agosto de 2006

KUNZ, AIRTON ET AL . Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. Quím. Nova , São Paulo, v. 25, n. 1, Feb. 2002 . Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>. Acesso em: 03 Dec. 2008.

LEÃO, M. M. D. *ET AL*. Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas. Belo Horizonte. Segrad Editora e Gráfica, 2002. 356 p.

MARINEIDE, M. “Coprocessamento em fornos de cimento”, Gerenciamento Ambiental, Abril 1999.

MENEZES, R. A. A.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A. Estágio atual da incineração no Brasil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7., 2000, Curitiba. [Anais eletrônicos...] Curitiba: ABLP, 2000. Disponível em: <<http://www.luftech.com.br/art07.htm>>

MONTEIRO, J.H.P. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001

NASCIMENTO, SILVIA CREMONEZ; HYPOLITO, RAPHAEL; RIBEIRO, ANDRÉ AFONSO. Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, Sept. 2006 . Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>. Acesso em: 11 Mar. 2009

PEREIRA NETO, J. T. 1999. "Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Municípios de Pequeno Porte". Em *Ciência & Ambiente* - Janeiro/junho/1999. 41-52p.

PEREIRA NETO, J. T. e CUNHA, W. G. 1995. "Influência da inoculação de composto orgânico maturado, no período de compostagem de resíduos orgânicos". Artigo apresentado no XXVIII Congresso da ABES- 1995. Salvador-BA, 7p.

ROSA, E. V. C. Reaproveitamento de lodo têxtil em solo florestal: estudos dos aspectos físico-químicos, agrônômicos e ecotoxicológicos. Tese. Programa de Pós-Graduação em Química . UFSC, Florianópolis, 2004.

SANIN, L. B. B. - A Indústria Têxtil e o Meio Ambiente. *Tecnologia e Meio Ambiente*. In: XIV Congresso da FLAQT – Caracas, p.13-34 (1997).

SISINNO, Cristina L. S.. Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não-inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana. *Cad. Saúde Pública* , Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, Apr. 2003 . Disponível em: <http://www.scielosp.org/scielo>. Acesso em: 11 Mar. 2009.

Tratamento de Efluentes Têxteis. *Química Nova*, Vol. 25, n°1, 78-82, 2002. uma contribuição ao estado da arte. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1999, RIO DE JANEIRO. ANAIS, 1999.

VALDEVIVERE, P.C.; BIANCHI, R.; VESTRAETE, W. Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: review of emerging technologies. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. V.72, p.289-302, 1998.