

**Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Mecânica**

**Curso de Especialização em Gestão Ambiental
UNICAMP/CETESB**

**O Papel da Indústria Têxtil na Gestão dos
Recursos Hídricos através da Implementação de
Medidas de Prevenção à Poluição**

**Autora: Biom. Lucila Ramos Ferrari
Orientador: Prof. Ms. André Luiz Ferreira**

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai e amigo (*in memoriam*).

À amiga Glória, companheira de equipe no projeto de prevenção à poluição no setor têxtil, pelo auxílio, pelos ensinamentos, paciência, dedicação e principalmente solidariedade à mim prestadas.

Ao professor e amigo André, orientador, pela confiança depositada, pois sem a sua sensibilidade, compreensão e colaboração certamente o destino poderia ter sido outro.

Ao professor e amigo Fernando Rei, coordenador do curso, por viabilizar a minha participação. E, principalmente pela amizade, competência, dedicação e confiança depositada.

À amiga Déa, por autorizar minha participação no curso, e principalmente por demonstrar ser uma pessoa séria em um país onde esse adjetivo parece estar esquecido. Obrigado por ter te conhecido.

Ao amigo e companheiro de equipe, Cláudio Palombo, pela revisão ortográfica.

À amiga Yolanda, pela tentativa de obter uma cópia da fotografia de satélite da bacia do rio Piracicaba.

Aos colegas de turma pelos momentos de convívio que nos possibilitaram crescer.

À todos os que falam e entendem a voz do coração!

SUMÁRIO

| | Pag |
|--|------------|
| APRESENTAÇÃO | 6 |
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 2. BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – UGRHI 05 | 11 |
| 2.1. Bacia do Rio Piracicaba | 13 |
| 2.1.1. Caracterização..... | 13 |
| 2.1.2. Os principais problemas da bacia do Rio Piracicaba..... | 14 |
| 2.1.3. Gestão dos recursos hídricos nas indústrias..... | 15 |
| 3. PROCESSO INDUSTRIAL TÊXTIL | 17 |
| • Preparação dos fios e fiação..... | 18 |
| • Engomagem..... | 18 |
| • Tecelagem..... | 19 |
| • Desengomagem..... | 19 |
| • Mercerização ou caustificação..... | 19 |
| • Purga..... | 20 |
| • Alvejamento..... | 20 |
| • Tingimento contínuo..... | 20 |
| • Tingimento descontínuo..... | 21 |
| • Acabamento contínuo..... | 22 |
| • Acabamento descontínuo..... | 24 |
| 4. PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES | 26 |
| 4.1. Descrição da Estação de Tratamento de Efluentes – ETE (processo contínuo)..... | 26 |
| 4.1.1. Funcionamento da ETE - processo contínuo..... | 28 |
| 4.2. Descrição da Estação de Tratamento de Efluentes – ETE (processo descontínuo)..... | 31 |
| 4.2.1 Funcionamento da ETE - processo descontínuo..... | 31 |
| 5. METODOLOGIA | 34 |
| 6. RESULTADOS | 35 |
| 6.1. Caracterização dos poluentes gerados..... | 35 |
| 6.1.1. Processo de engomagem contínuo..... | 36 |

| | | | |
|------------------|--|--|------------|
| 6.1.2. | Processo | de | engomagem |
| descontínuo..... | | | 36 |
| 6.1.3. | Processo | de | tingimento |
| contínuo..... | | | 37 |
| 6.1.4. | Processo | de | tingimento |
| descontínuo..... | | | 39 |
| 6.1.5. | Processo | de | acabamento |
| contínuo..... | | | 40 |
| 6.1.6. | Processo | de | acabamento |
| descontínuo..... | | | 42 |
| 6.2. | Caracterização da ETE – processo descontínuo..... | | 42 |
| 6.3. | Caracterização da ETE – processo contínuo..... | | 47 |
| 6 | 6.4. Caracterização da microbiota..... | | 51 |
| | • | Caracterização da microbiota – processo descontínuo..... | 53 |
| | • | Caracterização da microbiota – processo contínuo..... | 58 |
| 6.5. | Processos utilizados para remoção de cor do efluente têxtil..... | | 61 |
| 6.5.1. | Ozonização..... | | 61 |
| 6.5.2. | Biodegradação | de corantes “azo” sob condições anóxicas..... | 63 |
| 6.5.3. | Coagulação | com cloreto férrico..... | 64 |
| 6.5.4. | Coagulação | com polímeros..... | 72 |
| 7. | OPORTUNIDADES DE PREVENÇÃO À POLUIÇÃO | | 75 |
| 7.1 | Setor de engomagem..... | | 75 |
| 7.2 | Setor de tingimento..... | | 75 |
| 7.3 | Setor de acabamento..... | | 78 |
| 8. | DISCUSSÃO..... | | 79 |
| 9. | RECOMENDAÇÕES..... | | 81 |
| 9.1. | Setor de engomagem..... | | 81 |
| 9.2. | Setor de tingimento/acabamento..... | | 81 |
| 9.3. | Estação de Tratamento de Efluentes – ETE..... | | 82 |
| 10. | CONCLUSÕES..... | | 83 |
| 11. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | | 85 |
| 12. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | | 89 |

....Essa água brilhante que escorre nos riachos e rios não é apenas água, mas o sangue de nossos antepassados. Se lhe vendermos a terra, vocês devem lembrar que ela é sagrada, e devem ensinar as suas crianças que ela é sagrada, e que cada reflexo nas águas límpidas dos lagos fala de acontecimentos e lembranças da vida do meu povo. O murmúrio das águas é a voz de meus ancestrais.

Os rio são nossos irmãos, saciam nossa sede. Os rios carregam nossas canoas e alimentam nossas crianças. Se lhe vendermos nossa terra, vocês devem lembrar e ensinar a seus filhos que os rios são nossos irmãos e seus também. E, portanto, vocês devem dar aos rios a bondade que dedicariam a qualquer irmão.....

Carta do Chefe Seattle

APRESENTAÇÃO

A qualidade das águas disponíveis para os diferentes empregos pelo homem depende do uso e forma de ocupação dos solos em torno dos mananciais e da bacia hidrográfica como um todo. Esta qualidade é resultante das condições naturais e das atividades humanas desenvolvidas na região.

O Setor Têxtil é um segmento produtivo que desempenha elevado grau de representatividade no cenário econômico paulista, com cerca de 1945 indústrias no Estado, empregando aproximadamente 201.143 funcionários (Carta Têxtil, 1997).

Esse setor ocupa uma posição de destaque na bacia do Rio Piracicaba, mais especificamente nos municípios de Americana, Nova Odessa e Santa Bárbara d'Oeste, onde seu polo industrial está concentrado, sendo responsável pela geração de 99,52% da carga orgânica potencial (8.887,62 t DBO.ano⁻¹) respondendo ainda, por 99,64% da carga orgânica remanescente (1870, 80 t. DBO.ano⁻¹) lançada no Rio Piracicaba..

Com o intuito de minimizar o lançamento dessas cargas poluidoras, a CETESB, com a participação voluntária das empresas do setor têxtil, iniciou um programa de prevenção à poluição, visando conscientizar e auxiliar os empresários na melhoria de seus processos industriais, bem como a qualidade do efluente final descartado, incentivando a redução do consumo de água de forma a reutilizá-la no processo, diminuindo a captação dos mananciais ou da rede pública.

A prevenção à poluição refere-se a qualquer prática que vise a redução e/ou eliminação, seja em volume, concentração ou toxicidade das cargas poluentes na própria fonte geradora. Inclui modificações nos equipamentos, processos ou procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos e substituição de matérias-primas e substâncias tóxicas que resultem na melhoria da qualidade ambiental.

O objetivo básico desse programa foi implementar medidas de Prevenção à Poluição no processo industrial, visando a melhoria do desempenho ambiental das indústrias, atingindo não somente os padrões de emissão, mas também os de qualidade ambiental. Em abril de 1998, foi celebrado um Protocolo de Intenções entre a CETESB e duas empresas do setor.

Considerando que a maioria das indústrias do setor têxtil emprega o sistema de lodos ativados para tratar seus efluentes; as medidas de prevenção à poluição quando aplicadas no processo industrial refletem de maneira positiva no desempenho desse sistema de tratamento. Com esta finalidade procedeu-se uma avaliação do processo implantado, objetivando sua otimização e a geração de um efluente final de melhor qualidade.

A presente monografia tem como objetivo mostrar os resultados obtidos através da implementação de medidas de prevenção à poluição nessas duas empresas. Uma apresentando processo contínuo e a outra descontínuo.

Os dados apresentados são reais, porém, devido a existência de uma cláusula no protocolo onde estes não poderiam ser revelados sem autorização das referidas empresas, estas não serão identificadas.

Inicialmente é mostrada a caracterização da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI -5 e, mais especificamente, a bacia do rio Piracicaba, onde se situam as referidas empresas, bem como os principais problemas ambientais da região; a descrição do processo industrial têxtil contínuo e descontínuo; a caracterização dos efluentes gerados; o processo de tratamento de efluentes; as oportunidades de prevenção à poluição; os resultados e as conclusões.

Lembrando que uma das metas desse trabalho foi incentivar a indústria a reutilizar o efluente final tratado no processo produtivo. Técnicas de remoção de cor para o efluente têxtil são apresentadas a partir de consulta em bibliografia especializada, bem como de experiências bem sucedidas de outras empresas do setor. No que se refere ao processo

específico para remoção de cor com coagulantes, foram realizados alguns testes no laboratório da empresa, onde o processo é contínuo.

A implantação das sugestões ora propostas deverão resultar tanto em benefícios ambientais, como também em uma economia para a empresa, através da redução de custos. Enfatiza-se, entretanto, como principal benefício a melhoria da qualidade das águas.

1. INTRODUÇÃO

Quando se depara com a imensidão dos mares e oceanos tem-se a impressão de que a água é um recurso infindável, mas não é verdade. De toda a água disponível no planeta, 97,45% são provenientes dos oceanos e apenas 2,6% é água doce, sendo que apenas 0,6% estão disponíveis (águas subterrâneas, lagos, atmosfera e rios) Dentro desta disponibilidade hídrica, 88% das águas é consumida na agricultura, 5% para uso doméstico e 7% para uso industrial

Nas últimas décadas, os procedimentos adotados no desenvolvimento urbano, industrial e agrícola causaram, não apenas no Estado de São Paulo, imensos problemas de degradação e de comprometimento dos recursos hídricos. Essas questões estão vinculadas aos mecanismos e padrões culturais da sociedade. Os rios encontram-se poluídos e assoreados, e a água está minguando e, ao mesmo tempo, a memória sobre as antigas características e usos da água, no passado, também se dilui.

Esquece-se que os córregos, as fontes e as cachoeiras, assim como as árvores e os animais que fazem parte dos ecossistemas naturais, inserem-se no cotidiano e são protagonistas da história da humanidade. A reflexão sobre as relações que as comunidades humanas, o Estado e o setor econômico mantêm com a natureza é um caminho para repensar atitudes e encontrar formas de recuperação e de preservação dos rios.

A crescente escassez de água própria para o consumo humano em todo o mundo, faz com que este recurso natural torne-se cada vez mais um objetivo prioritário na definição de políticas públicas em diversos países. Estimativas apresentadas alertam para a necessidade de se elaborar uma política internacional para gestão do uso da água, caso contrário, no cenário apresentado para as próximas décadas, apenas cerca de dez países terão condições de ofertar água potável para suas populações.

Os governos e entidades internacionais têm fomentado essa discussão, mostrando a importância da institucionalização do planejamento e adoção imediata do uso racional da água para garantir a manutenção da oferta deste recurso, para todos os usuários.

A companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental - CETESB vem atuando na fiscalização e no controle da poluição; entretanto, observa-se que, apesar de seus esforços, a qualidade das águas de nossos rios e ambiental de um modo geral, vem se deteriorando. Daí a necessidade de se tomar atitudes mais pró-ativas, no sentido de não somente exercer a função de órgão fiscalizador, como também a de auxiliar a indústria de maneira a obter efetivamente ganhos ambientais.

O programa de prevenção à poluição implantado nesta companhia teve como meta institucionalizar a prevenção à poluição nas suas atividades de fiscalização de maneira a interiorizá-la. Inicialmente foram escolhidos três segmentos industriais, entre eles o segmento têxtil.

Sendo a indústria têxtil uma das maiores do mundo em termos de produção, consome cerca de 15% da quantidade de água disponível para indústria na sua atividade produtiva, gerando um efluente altamente poluído, proveniente principalmente dos setores de engomagem, tinturaria e acabamento. Estes efluentes, antes de serem lançados ao corpo receptor, são submetidos a tratamento biológico aeróbio para remoção da matéria orgânica. Medidas de prevenção à poluição contribuem para otimização desse tratamento como também para melhoria da qualidade do efluente lançado de volta ao manancial.

2. BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ - UGRHI 05

Em 1991, a Lei Estadual 7663/91, definiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e nas disposições transitórias criou o *Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba-Capivari e Jundiaí - CBH-PCJ*. O processo de instalação deste comitê foi de dois anos, sendo marcado por ampla negociação entre os órgãos do Estado, Municípios inseridos na bacia e sociedade civil.

A figura 1 mostra a localização da Unidade de Gerenciamento Hídrico - UGHI 5 no Estado de São Paulo.

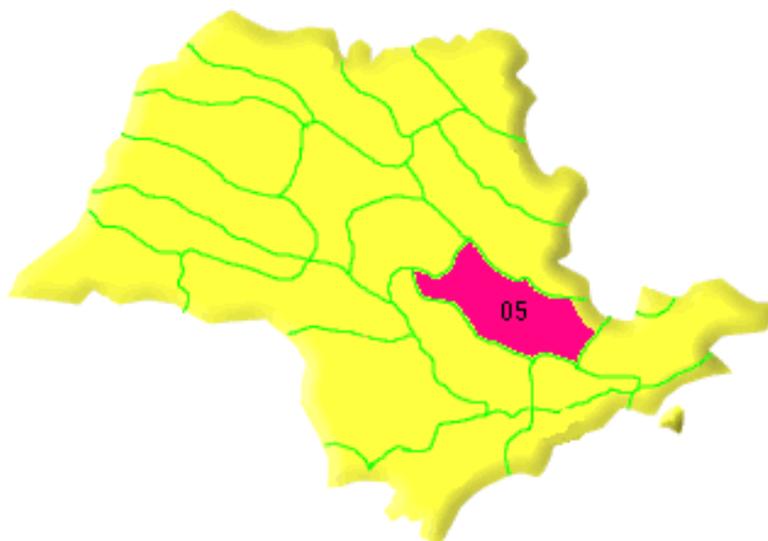


Figura 1 - Localização da Unidade de Gerenciamento Hídrico 5 no Estado de São Paulo.

As bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí somam uma área aproximada de 14 205 quilômetros quadrados, dos quais 1100 localizam-se no Estado de Minas Gerais, totalizando sedes de 58 municípios do lado paulista e 4 sedes do lado mineiro.

A região apresenta alto índice de urbanização em relação a outras regiões do país, abrigando uma população de 3.874.068 habitantes, sendo 3.612.619 na zona urbana e 261.449 na zona rural, conforme dados do IBGE (1996). As projeções de população para os

anos 2005 e 2010 margeiam os números de 4.500.000 e 5.000.000 de habitantes, respectivamente, com incremento do parque industrial expandindo-se em cerca de 1400 novas empresas por ano.

A figura 2 mostra a UGHI 5, mais especificamente o Rio Piracicaba e os municípios envolvidos no parque industrial têxtil da região, Americana, Nova Odessa e Santa Bárbara d'Oeste.

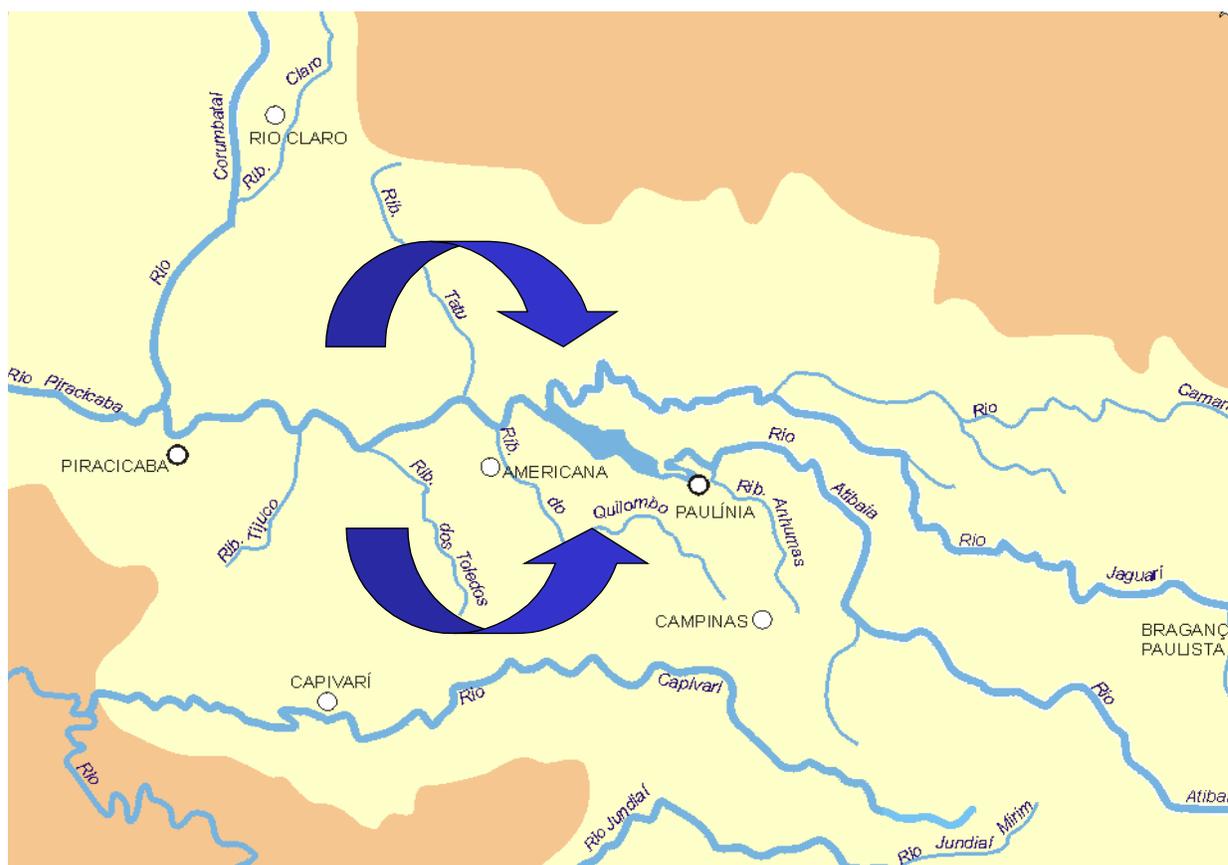


Figura 2 - Localização dos municípios de Americana, Nova Odessa e Santa Bárbara d'Oeste.

A instalação do Comitê propiciou a discussão das prioridades de intervenção e investimentos requeridos na bacia, desenvolvendo uma nova forma de gestão dos recursos hídricos nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.

As demandas pela utilização dos recursos hídricos na região têm crescido, já considerada crítica nos últimos estudos de análise de demanda e disponibilidade realizadas pelo Comitê

de Bacia. Os corpos d'água já apresentam deficiências quanto à disponibilidade de atendimento à demanda para abastecimento público durante o período de estiagem, fato relacionado a alta concentração de poluentes orgânicos, resultado principalmente do lançamento *in natura* de esgotos domésticos; contudo, a contribuição das cargas lançadas pelas indústrias também devem ser consideradas.

2.1. Bacia do Rio Piracicaba

2.1.1. Caracterização

A bacia do Rio Piracicaba possui uma área de drenagem de 11.400 km², tendo como principais contribuintes os rios: Atibaia, Corumbataí, Jaguari, Camanducaia, Passa Cinco e Piracicaba, sendo que este último tem sua foz no Reservatório de Barra Bonita apresentando 115 km de extensão; possui ainda os reservatórios são: de Salto Grande ou Americana, Atibainha, Cachoeira, Barra Bonita, Jacaré e Jaguari.

No uso e ocupação do solo, 57% da área da bacia é recoberta por pastagens para rebanho de corte e leite. Na agricultura, a cana-de-açúcar merece destaque, seguida pela fruticultura (citrus). As áreas urbanas são densamente ocupadas abrigando importante parque fabril do Estado. Entre as atividades industriais destacam-se: papel e celulose, alimentícia, têxtil, curtumes, metalúrgicas, químicas, indústrias do ramo sucro-alcooleiro e refinaria de petróleo.

É apresentada na tabela 1, a carga orgânica poluidora da bacia do Piracicaba.

Tabela 1- Carga orgânica potencial e remanescente gerada pela bacia do Rio Piracicaba.

| Fonte | Carga Potencial (t DBO_{5,20} .d⁻¹) | Carga Remanescente (t DBO_{5,20} .d⁻¹) |
|----------------------------------|---|--|
| Doméstica | 121,64 | 117,0 |
| Industrial com lançamento | 156,8 | 40,1 |
| Industrial sem lançamento | 952,2 | 0,0 |
| Total | 1230,6 | 157,1 |

Fonte: CETESB - Unidade Regional de Campinas, 1994

Como a bacia do rio Piracicaba apresenta uma disponibilidade hídrica significativa, parte de suas águas represadas nas suas cabeceiras são revertidas para outras regiões para fins de

abastecimento público, Sistema Cantareira, Jundiaí, Campinas; cerca de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ são revertidos para região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

O abastecimento de água na região atinge 94,8% da população da bacia do rio Piracicaba., sendo que este também é utilizado como manancial de abastecimento para o municípios de Piracicaba e Americana, e em 1999, foram captados, respectivamente, 0,551 e $0,716 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

2.1.2. Os principais problemas ambientais da bacia do Rio Piracicaba

Os problemas ambientais apresentados pela região são vários, advindos da ocupação desordenada e conseqüente desmatamento exacerbado, acarretando assoreamento do Rio Piracicaba em alguns pontos, além de prejudicar fauna e flora locais.

O acelerado crescimento demográfico, as grandes áreas irrigadas e a industrialização da região, demandam um grande volume de água, gerando conflitos de uso. A situação desta bacia torna-se agravada devido à transferência de suas águas para o Sistema Cantareira, além da grande carga orgânica lançada pelas indústrias e do pequeno volume de esgoto doméstico tratado.

Há a necessidade de se garantir as condições mínimas de qualidade e quantidade de água nos períodos de estiagem, pois a diminuição da vazão reduz a capacidade de assimilação das cargas poluidoras lançadas nesse sistema, interferindo não só no processo de autodepuração pelas águas da bacia, como influenciando na capacidade de geração de energia elétrica.

A Usina Hidrelétrica de Americana, nessa época, pode interromper sua produção por um período de seis horas. Na de Atibaia, de pequeno porte ($10 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$), reduz o nível de água do reservatório abaixo da cota do vertedouro. Ao ser interrompida a geração de energia por algumas horas, a vazão de jusante torna-se praticamente nula, prejudicando a captação de água na cidade de Itatiba.

Um outro aspecto relevante está relacionado aos diversos conflitos de uso. O quadro sócio-econômico da região apresenta-se em patamares superiores quando comparado com a maioria das cidades brasileiras, acarretando um padrão de consumo dos recursos hídricos mais elevados, interferindo na disponibilidade quantitativa/qualitativa desse bem natural.

2.1.3. Gestão dos recursos hídricos nas indústrias

A água é um recurso natural finito e de suma importância, no processo de transformação tecnológica, arrefecimento térmico e refrigeração dos equipamentos industriais, lançamento de despejos, e uso doméstico em seus complexos empresariais.

A constante melhoria da qualidade dos corpos hídricos é, para indústria, imprescindível, sobretudo no caso de regiões em que o balanço hídrico é negativo.

A conciliação do processo industrial como recurso hídrico, significa integrar a indústria efetivamente ao meio ambiente, através da minimização dos impactos ambientais advindo de sua atividade. Dessa forma, a adoção de tecnologias limpas no processo produtivo pode também promover o aumento qualitativo e quantitativo da disponibilidade hídrica dentro do contexto.

Na medida em que a indústria implanta medidas de Prevenção à Poluição no processo produtivo, tais como a segregação de efluentes, a substituição de produtos químicos e tóxicos, lançamento gradual de cargas poluídas, acabam refletindo de maneira positiva no desempenho do sistema de tratamento dos efluentes industriais, obtendo-se, assim, um efluente final de melhor qualidade a ser descartado. Cabe ressaltar que este mesmo efluente final poderá ser reutilizado nesse processo se assim o desejarem.

A figura 3 mostra a indústria têxtil inserida no contexto global da gestão dos recursos hídricos.

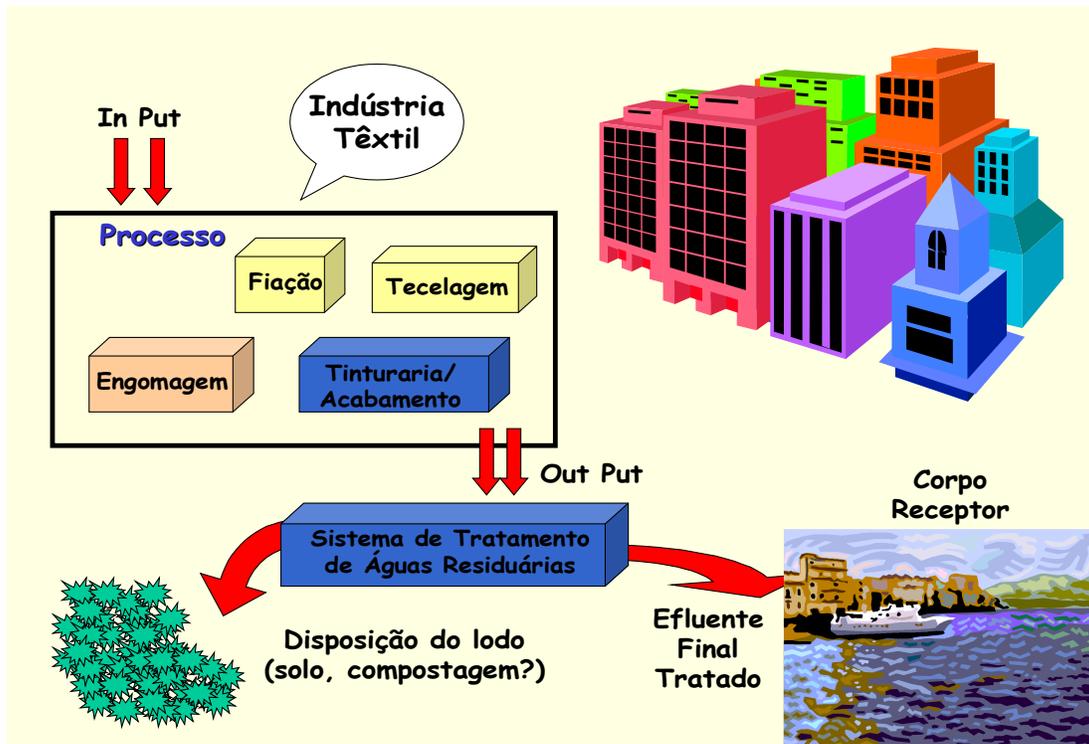


Figura 3 - O processamento têxtil no contexto global do sistema.

3. PROCESSO INDUSTRIAL TÊXTIL

As fibras têxteis podem ser classificadas em dois grandes grupos: natural (algodão, juta, lã e seda) e artificial (poliamida, poliéster, raion e acetato de celulose).

O processo industrial para obtenção de tecidos de algodão, raion, poliéster, poliéster-algodão e poliéster-raion, descrito de maneira genérica, pode ser dividido nas seguintes etapas: preparação dos fios e fiação, engomagem, tecelagem, desengomagem e lavagem, alvejamento, mercerização, tingimento, secagem, estampagem, tingimento do tecido, lavagem e acabamento. A figura 4 mostra este processo com a caracterização de seus efluentes.

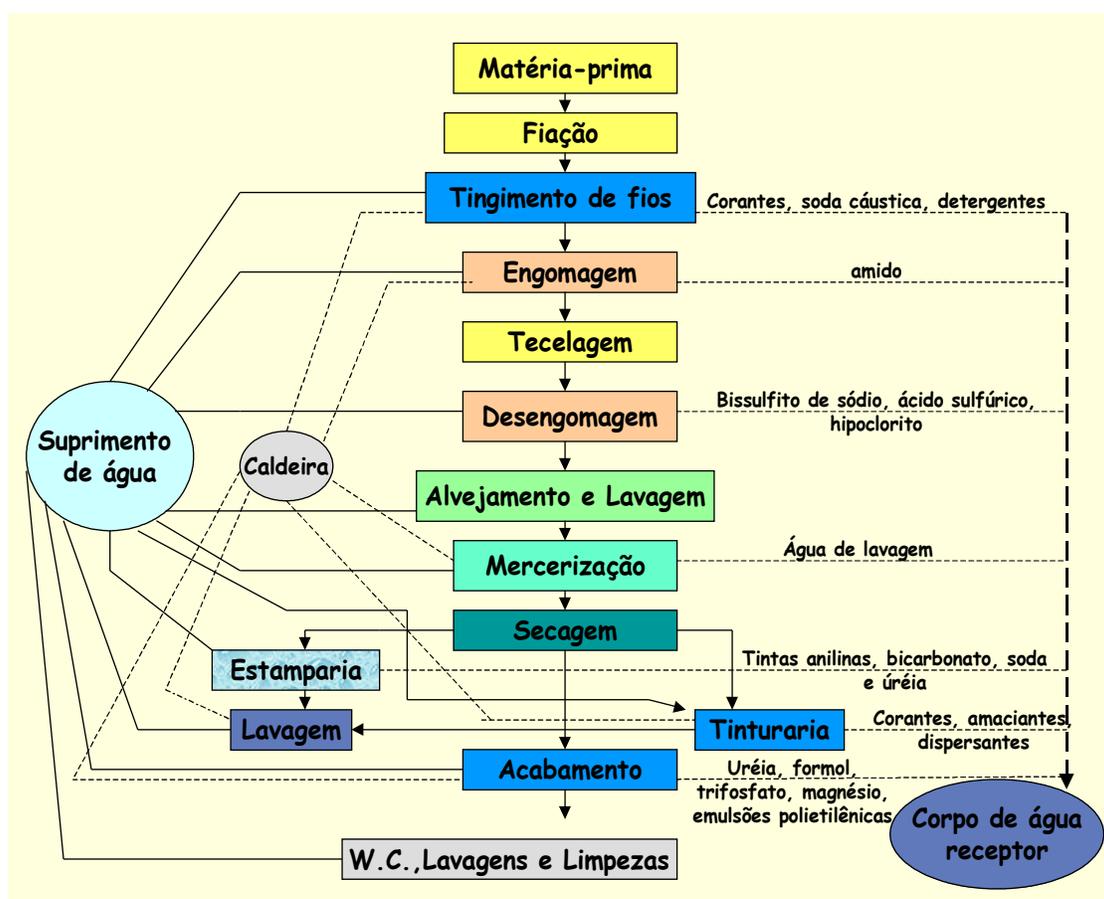


Figura 4 - Fluxograma geral do processamento têxtil com a caracterização de seus efluentes.

▪ **Preparação dos fios e fiação**

A matéria-prima vem acondicionada em fardos ou em fios de algodão, raion-viscose, poliéster ou de náilon. O algodão é processado nos abridores e batedores, cardas, passadores, penteadeiras, maçarqueiras, filatórios, retorcedoras e conicaleiras. Nesta etapa ocorre somente geração de material particulado.

▪ **Engomagem**

O processo de engomagem dos fios na indústria têxtil tem como finalidade fornecer características específicas na elaboração de diversos padrões de tecidos com garantia de qualidade e produtividade, ou seja, facilitar o trabalho de tecelagem e ausência de defeitos.

Os fios de algodão tem a característica de apresentar grande quantidade de fibras em sua seção transversal e, desta forma, durante o processo de tecimento (formação do tecido), onde existe grande atrito, estas fibras tendem a se desprender e gerar defeitos no produto final e constantes paradas nos teares devido a ruptura do fio de urdume (fio encontrado no sentido do comprimento do tecido).

Através da utilização da solução engomante, é possível manter as fibras coesas. Outro fator importante para uma boa engomagem é o aumento de resistência do fio, visto que estão sujeitos a grande tencionamento, principalmente no momento em que a trama (fio inserido no sentido transversal do tecido) é sobreposta uma a outra.

Preparação da Goma

A goma é preparada em cozinhadores específicos e dissolvida em água em volume pré-determinado, a temperatura ambiente. Adiciona-se, sob agitação mecânica, a matéria-prima, fécula de mandioca, amaciante e/ou colante e vapor. Esta mistura é aquecida por 10 a 15 minutos a 96 °C, sob agitação mecânica. O vapor é injetado diretamente e a sua condensação entra diretamente na composição do banho.

A composição da goma pode variar dependendo do produto final desejado, mas normalmente é composta por : água, vapor direto, fécula de mandioca, amaciante ou colante.

- **Tecelagem**

É o processo no qual os fios preparados são transformados em tecidos, através do entrelaçamento dos fios de trama e urdume, em máquinas denominadas teares.

- **Desengomagem**

Processo no qual os fios e/ou tecidos são embebidos com enzimas, detergentes alcalinos quentes ou sabão e emolientes dissolvidos em água, com a finalidade de destruir as gomas, o que ocorre após um período de 2 a 10 horas em temperatura superior a 120 C°. A seguir, o tecido passa por máquinas de lavar especiais denominadas *foulard*.

- **Mercerização ou Caustificação**

Esta etapa promove um aumento da resistência dos fios à tração, bem como melhora a absorção do corante pela fibra. O tecido é embebido em uma solução concentrada de hidróxido de sódio e posteriormente submetido a um "repouso", onde permanece em movimento circular, por cerca de 8 a 12 horas para depois ser lavado em *foulard* aquecido a 97°C.

A impregnação com solução alcalina é denominada caustificação; a mercerização diferencia-se pela maior concentração de soda empregada no banho.

- **Purga**

Processo físico-químico com o objetivo de eliminar os resíduos como ceras, gorduras, resinas naturais, óleos e impurezas adquiridas nos processos de fiação, tecelagem e engomagem, utilizando-se detergentes, emulsificantes, água e vapor.

- **Alvejamento**

Nesta etapa utiliza-se peróxido de hidrogênio e/ou cloro, para a remoção da cor natural das fibras.

- **Tingimento**

A principal matéria-prima empregada são os corantes, compreendendo compostos químicos orgânicos que podem ser naturais ou artificiais. Este processo pode ser realizado a quente e/ou a frio, dependendo da classe do corante utilizado.

- **Tingimento contínuo**

O tingimento é feito por processo contínuo ou descontínuo. No contínuo, o tecido, após a impregnação em banho contendo corantes e produtos auxiliares, é espremido entre dois cilindros sob pressão e seco. A figura 5 mostra de maneira generalizada o processamento têxtil contínuo.

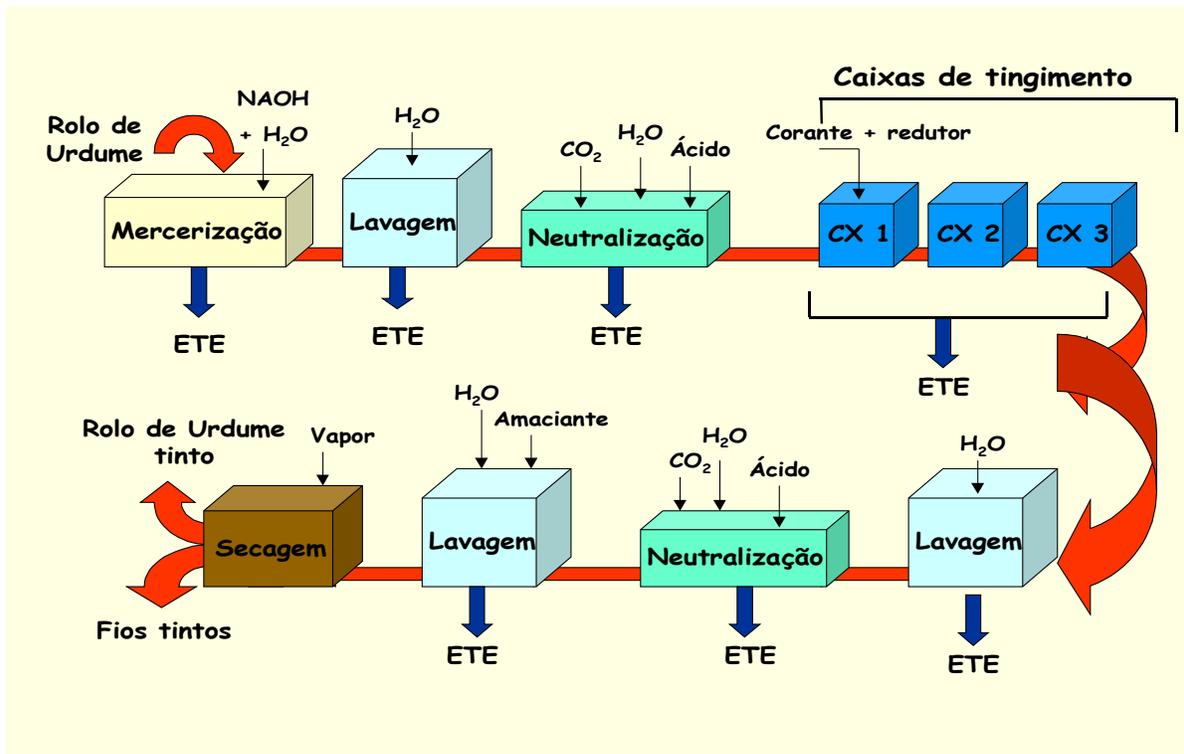


Figura 5 - Fluxograma do processo de tingimento contínuo.

- **Tingimento descontínuo**

No processo descontínuo, o tecido permanece em movimento, enrolando-se e desenrolando-se através de dois cilindros enquanto passa por soluções corantes e produtos químicos auxiliares empregados neste processo.

O tecido enrolado é impregnado em uma solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH). Posteriormente, permanece em "repouso" por aproximadamente 7 a 12 horas. Em seguida, efetua-se a lavagem em *foulard* para a eliminação da soda e encaminha-se ao *jigger* onde ocorre o tingimento. Adiciona-se água, vapor, corantes e produtos auxiliares, com diversas descargas sucessivas. Após esta etapa, o tecido é encaminhado para o *foulard*, onde há remoção do excesso de água para posterior acabamento. A figura 6 mostra o fluxograma do processo de tingimento descontínuo.

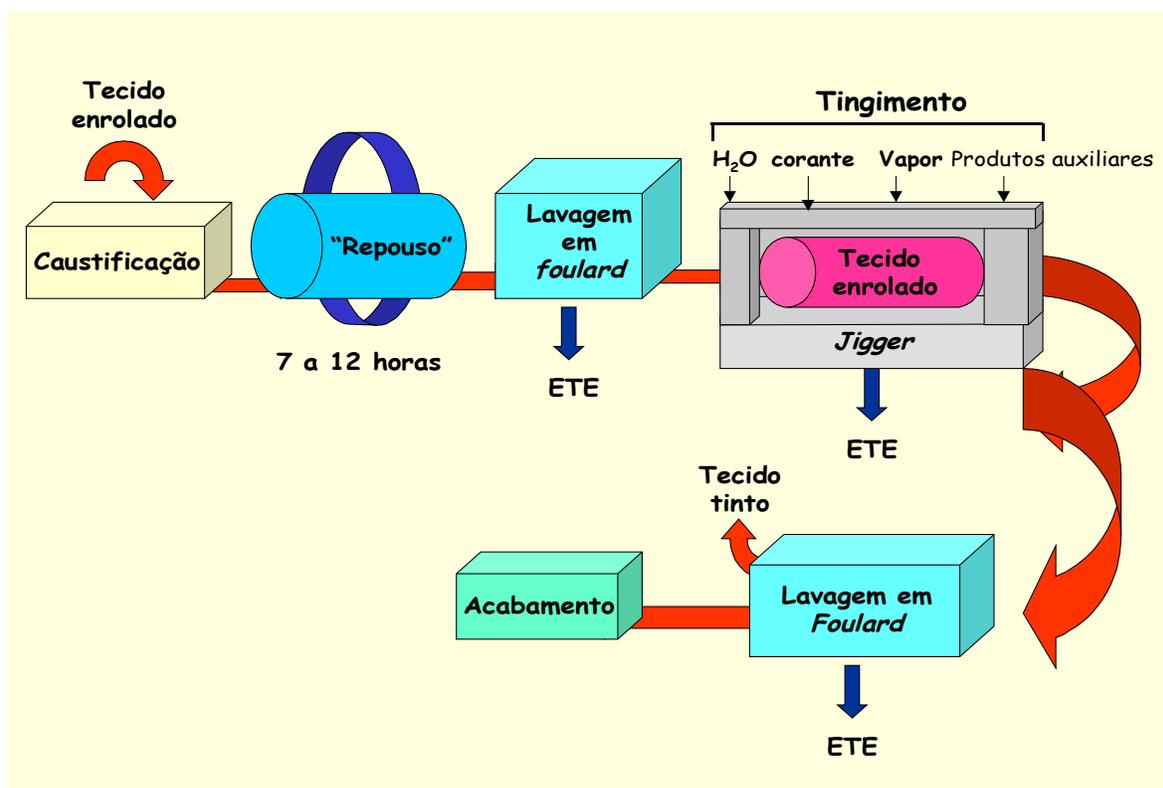


Figura 6 - Fluxograma do processo de tingimento descontínuo.

Após o tingimento propriamente dito, os tecidos são lavados, enxaguados e encaminhados para o acabamento. As lavagens ocorrem após os processos de mercerização e tingimento para retirar o excesso das soluções aplicadas e resíduos originados do atrito do tecido ou fio no processo de tingimento.

▪ Acabamento contínuo

Etapa final do processamento têxtil, podendo consistir na aplicação de gomas, amaciantes, resinas e, posteriormente, secos ou fixados sob determinadas temperaturas. O acabamento tem por finalidade tornar o produto acabado mais nobre, ou seja, melhorar o seu aspecto.

No processo de acabamento contínuo, o rolo de tecido passa por uma escovadeira para a retirada das pelúcias e poeiras que possam estar acumuladas. A etapa seguinte é a chamuscagem que consiste na queima da penugem do tecido, obtida pela passagem sobre

grelhas acesas. O equipamento utilizado é denominado chamuscadeira, que tem necessidade de ser refrigerado para evitar o superaquecimento e causar a queima do próprio tecido.

O tecido é direcionado para o compartimento de impregnação, para a adição do corante, amaciante, umectante ou dispersante, conforme o processo empregado. Então, o tecido é lavado em um sistema composto por caixas, sendo que os efluentes destas caixas de lavagem são enviados para a ETE.

Posteriormente, o tecido sofre uma impregnação com amaciante, para então, passar pela sanforizadeira ou manchão, sistema de pré-encolhimento realizado mecanicamente e controlado por compressão. Neste processo, um fluxo de água é mantido para não ocorrer o aquecimento dos cilindros e esta é lançada na ETE.

Antes do término do processo, o tecido é inserido numa passadeira ou *Palmer*, e, logo a seguir, nos cilindros de resfriamento para ser acondicionado. As águas utilizadas na passadeira e no resfriamento são enviadas para a ETE.

O fluxograma geral do processo de acabamento contínuo é mostrado na figura 7.

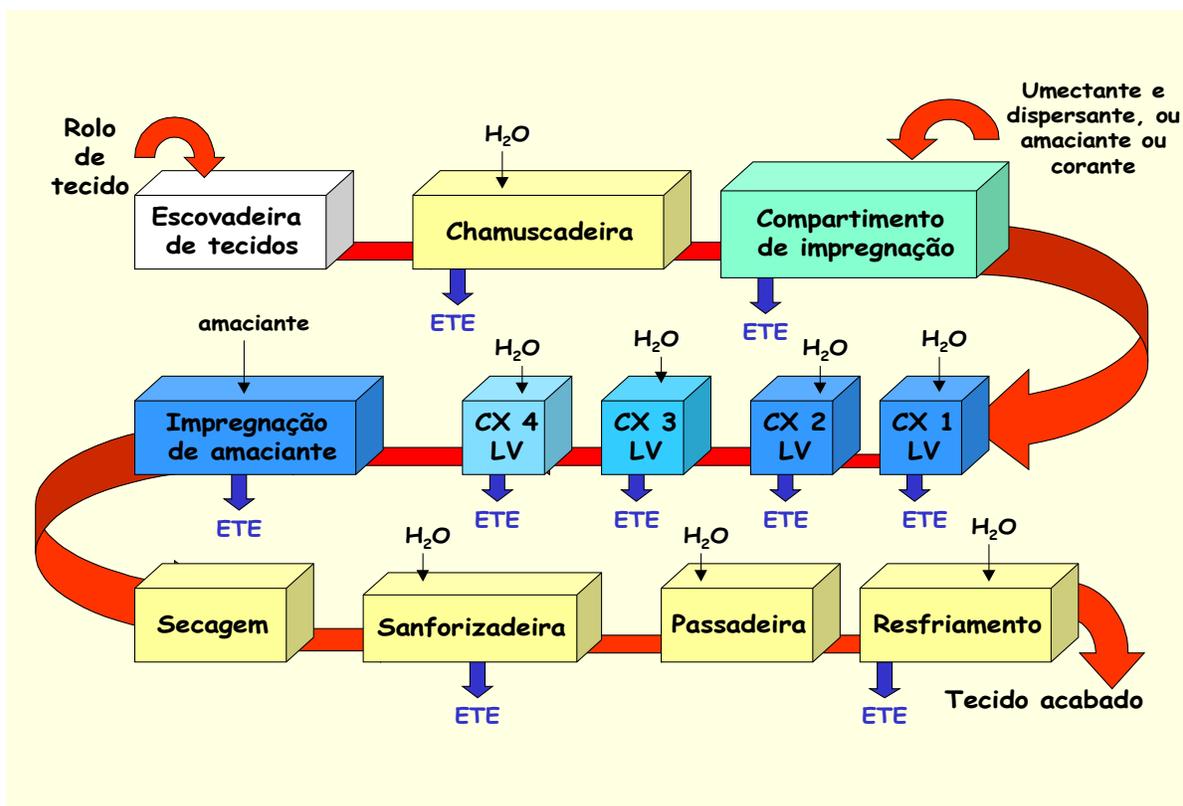


Figura 7 - Fluxograma do processo de acabamento contínuo.

- **Acabamento descontínuo**

Existem vários tipos de acabamento processados de forma descontínua, podendo ser apenas secos ou serem submetidos a banhos específicos com engomantes, silicone, cola, amaciantes, de acordo com a escolha do tipo de tecido ou acabamento.

Por exemplo, no processo amaciado, o tecido é impregnado com amaciante e umectante, em *foulard*, onde permanece por determinado intervalo de tempo, seguindo para secagem e pré encolhimento na rama, conforme pode ser visualizado no fluxograma da figura 8.

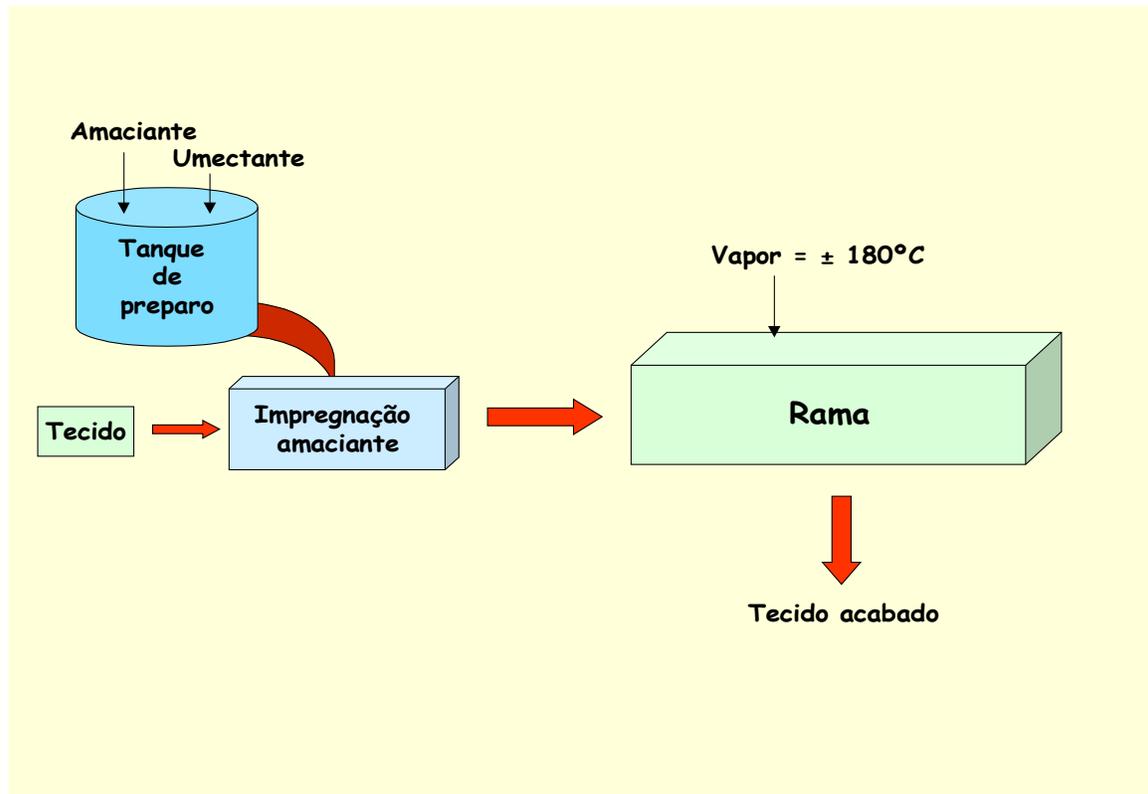


Figura 8 - Fluxograma do processo de acabamento descontínuo (amaciado).

4. PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os efluentes gerados nos setores da tinturaria, engomagem e acabamento tem como característica principal a elevada concentração de matéria orgânica que necessita ser reduzida, antes de ser lançada ao meio ambiente. O processo de tratamento mais empregado no setor têxtil é o de lodos ativados.

A denominação “lodos ativados” (activated sludge), originou-se na Inglaterra e foi desenvolvido por Andern e Lockett entre 1913 e 1914. Essa expressão decorre da suposição inicial de que o próprio lodo contido no esgoto do reator tornava-se ativo. Atualmente se sabe que a atividade biológica capaz de estabilizar a matéria orgânica aerobicamente provém do próprio esgoto e resulta na formação de flocos que, uma vez sedimentados e reincorporados ao reator (tanque de aeração), poderiam ser chamados de “flocos ativados” ou “lodos ativados”.

No processo de lodos ativados, as águas residuárias oxidam-se biologicamente em um reator denominado tanque de aeração sob condições aeróbias, asseguradas por aeração artificial. A massa líquida do tanque de aeração sedimenta-se numa unidade de decantação, em que parte dos sólidos separados retorna ao tanque de aeração. O restante do lodo que não retorna ao processo é retirado para tratamento específico ou destinação final e o líquido separado no decantador é o efluente final tratado, caso não haja tratamento complementar.

4.1. Descrição da Estação de Tratamento de Efluentes - ETE (processo contínuo)

O sistema de tratamento compreende basicamente as seguintes unidades:

- **Tanque de equalização**

Esta unidade recebe apenas o efluente industrial que permanece durante um período de 48 horas para homogeneização da carga orgânica e temperatura.

- **Correção de pH**

Nesse caso não se trata propriamente de uma unidade, pois o pH dos efluentes do tanque de equalização sofre uma redução da faixa entre 10,5 e 12,5 para 9,7 e 11,5 por meio de injeção de CO₂ diretamente na tubulação de chegada para a caixa de entrada.

- **Caixa de entrada**

Para esta unidade é conduzido diretamente tanto o efluente sanitário como o industrial, que são então misturados e, a partir daí, serão tratados conjuntamente. Nessa unidade é realizada a adição de nutriente à base de uréia, e ainda recebe o efluente de circulação oriundo do tanque anóxico.

- **Tanque de aeração**

Nesta unidade, os efluentes são submetidos a aeração artificial, através da atuação de seis aeradores mecânicos superficiais de 30 CV e 350 m³.s⁻¹. O oxigênio introduzido serve para intensificar o desenvolvimento de microrganismos aeróbios, favorecendo a decomposição da matéria orgânica e floculação, formando o lodo biológico. O reator tem formato retangular e volume útil de 7 400 m³, gerando um tempo de detenção hidráulico de aproximadamente 4,5 dias e tempo de detenção celular de 24 dias.

- **Decantador**

Unidade onde o lodo biológico é separado da fase líquida por sedimentação. A floculação do lodo é importante para que a biomassa possa ser separada do efluente tratado e retornada ao sistema. A vazão de recirculação de lodo está entre 100 a 150 % da vazão do afluente ao sistema.

A ETE possui dois decantadores circulares, cada qual com volume de 218 m³, propiciando um tempo de detenção entre 40 e 80 minutos.

A vazão do efluente final tratado é medida em um vertedor triangular, sendo lançado, cerca de $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, diretamente no Rio Piracicaba.

- **Tanque anóxico**

Este tanque recebe o lodo biológico sedimentado proveniente apenas de um dos decantadores. A vazão do lodo de retorno para o tanque anóxico varia entre 100 e 150 % da vazão do afluente. O lodo permanece no tanque por aproximadamente 5 horas e segue para a caixa de entrada, no início do tratamento.

A tabela 2 apresenta os dados referentes à vazão e parâmetros físico-químicos analisados na ETE mostrando suas principais características

Tabela2 - Dados relativos a vazão, DBO, DQO, carga orgânica, pH e temperatura dos efluentes industrial, doméstico e efluente final tratado da ETE.

| Efluente Bruto Industrial | Efluente Bruto Doméstico | Efluente Final Tratado |
|---|---|--|
| Vazão (Q) = 60 a 70 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ | Vazão (Q) = 9 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ | Vazão (Q) = 70 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ |
| DBO = 1000 a 1200 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ | DBO = 1500 a 2000 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ | DBO = 30 a 50 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ |
| DQO = 3000 a 3500 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ | DQO = 3000 a 3500 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ | DQO = 200 a 300 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ |
| Carga Orgânica Média = 1.700 $\text{kgDBO} \cdot \text{d}^{-1}$ | Carga Orgânica Média = 380 $\text{kgDBO} \cdot \text{d}^{-1}$ | Carga Orgânica Média = 67 $\text{kgDBO} \cdot \text{d}^{-1}$ |
| pH = 10,5 a 12,5 | pH = 9,9 | PH = 8,3 |
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) = 36 | Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) = 28 | Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) = 27 |

4.1.1. Funcionamento da ETE - processo contínuo

O efluente industrial chega a ETE com uma vazão média de $65 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, permanecendo por 48 horas para equalizar a carga orgânica e a temperatura. Em seguida, segue para uma caixa de entrada onde é misturado com o efluente doméstico. Após a sua homogenização, acerto de pH e adição dos nutrientes, inicia-se o tratamento biológico no tanque de aeração, onde o efluente permanece por 4,5 dias com $1,5 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ de oxigênio dissolvido. O lodo formado

neste tanque é separado do efluente tratado por sedimentação, em dois decantadores; o lodo sedimentado do *decantador 1* é centrifugado e cerca de 10 t .d⁻¹ são dispostos no solo; o lodo proveniente do outro decantador, segue para o tanque anóxico onde permanece por, aproximadamente, 5 horas e retorna para o tanque de aeração.

O tanque anóxico foi inicialmente projetado para controlar o crescimento excessivo de bactérias filamentosas que se proliferam no tanque de aeração e prejudicam a eficiência da separação do lodo no decantador.

O ambiente anóxico é caracterizado quando a concentração de oxigênio dissolvido torna-se muito baixa, fazendo com que os microrganismos utilizem o oxigênio proveniente do nitrato ou do nitrito para o seu metabolismo. Nessas condições, supunha-se que o crescimento das bactérias filamentosas seria prejudicado, favorecendo a proliferação de outros microrganismos responsáveis pelo bom funcionamento do processo, no entanto, os resultados tem demonstrado um aumento das bactérias filamentosas neste ambiente.

Apesar do resultado desfavorável nesse processo de tratamento, o tanque anóxico continua operando devido ao aumento significativo na remoção de cor, ultimamente observado no efluente final desta unidade.

O efluente líquido tratado oriundo dos decantadores é lançado diretamente no Rio Piracicaba, com uma vazão média de 70 m³.h⁻¹ e DBO de 40.mgO₂ .ℓ⁻¹.

A figura 9 mostra o fluxograma da ETE.

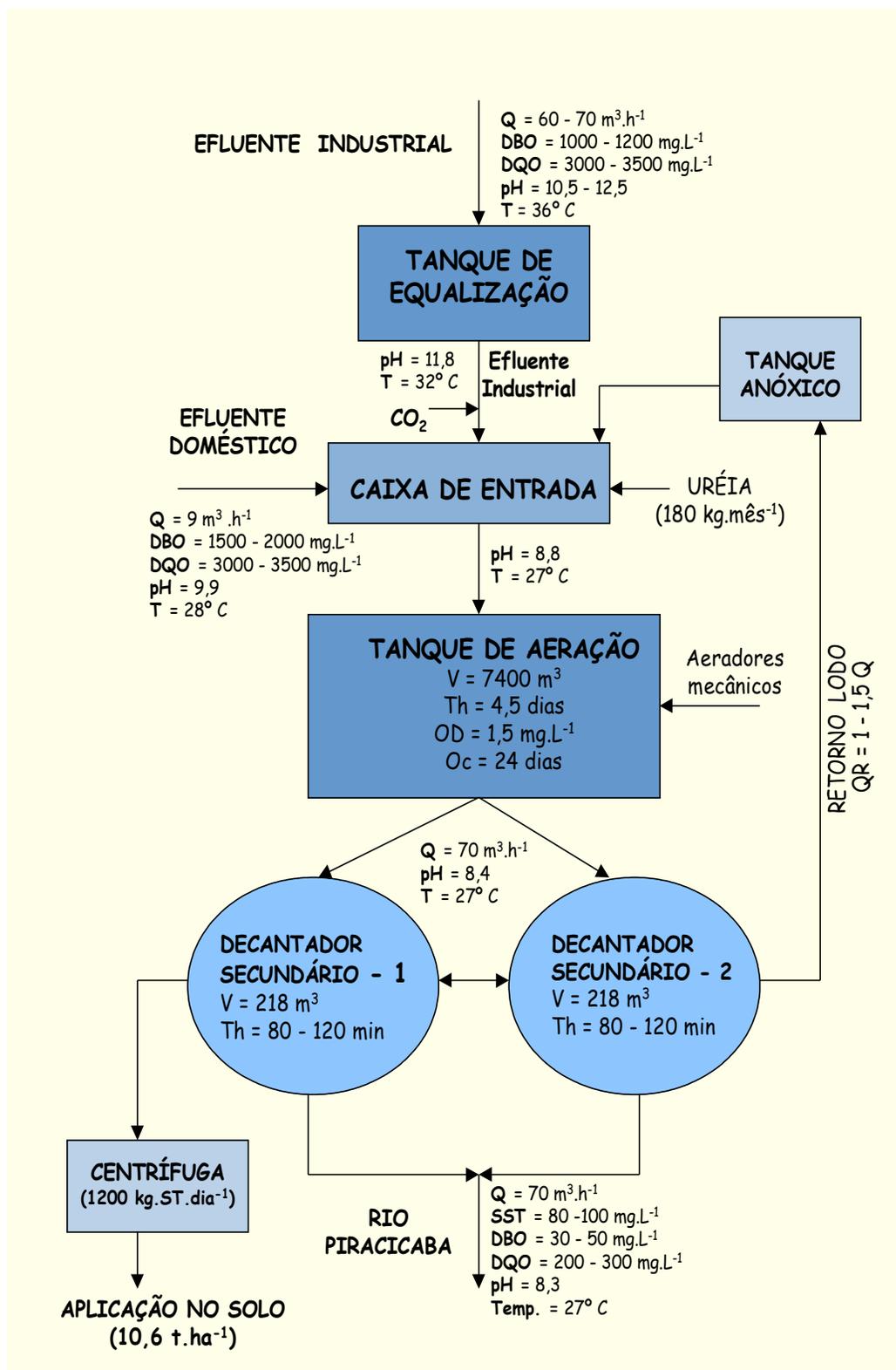


Figura 9 - Fluxograma da ETE - sistema contínuo

4.2. Descrição da Estação de Tratamento de Efluentes - ETE (processo descontínuo)

Na empresa que emprega processo descontínuo, o sistema de tratamento é constituído por:

- ❑ uma unidade de gradeamento, composta por três grades;
- ❑ um tanque de equalização, com aerador mecânico flutuante;
- ❑ um tanque para correção de pH;
- ❑ três tanques de aeração em série, cada um com um aerador mecânico fixo;
- ❑ um decantador;
- ❑ um adensador de lodo e
- ❑ um filtro prensa.

4.2.1. Funcionamento da ETE - processo descontínuo

O efluente industrial, após passar pelo processo de gradeamento para a remoção das partículas sólidas maiores e/ou fibras de tecido, entra no tanque de equalização para homogeneização de carga e temperatura. Em seguida, é bombeado para o primeiro tanque de aeração, onde adiciona-se nutrientes (nitrogênio e fósforo), e faz-se a correção do pH com ácido sulfúrico.

O lodo formado no tanque de aeração é separado por sedimentação no decantador e o efluente líquido tratado que flui do decantador é enviado à rede coletora de esgotos do município de Santa Barbara d'Oeste.

Parte do lodo sedimentado segue para o primeiro tanque de aeração para ser retornado ao processo; a outra parte segue para o adensador. O sobrenadante do adensador é encaminhado para o tanque de equalização e misturado ao afluente do processo.

O lodo proveniente do adensador passa por um processo de desidratação no filtro prensa, com objetivo de reduzir o volume antes da disposição final. Para tanto, acrescenta-se cal e cloreto férrico, sendo prensado por cerca de 60 a 90 minutos.

- **Adição de Nutrientes**

Para criar as condições favoráveis ao crescimento microbológico nos tanques de aeração são necessários que os nutrientes essenciais para biossíntese celular estejam em equilíbrio. Recomenda-se a seguinte relação: DBO, Nitrogênio e Fósforo = 100 : 5 : 1. Atualmente são adicionados no tanque de aeração 100 kg.d⁻¹ de uréia, 10 kg.d⁻¹ de ácido fosfórico e 37,5 kg.d⁻¹ de fosfato monobásico, para uma carga orgânica média de 500 kgDBO. d⁻¹

- **Correção de pH**

Durante o processo de tingimento, os tecidos recebem uma quantidade muito grande de soda cáustica, possibilitando a elevação do pH em torno de 13,0, sendo que este valor é considerado elevado para o tratamento biológico. Os valores de pH ideais para o desenvolvimento da microbiota situam-se na faixa entre 6,5 e 7,5, entretanto, observa-se crescimento de microrganismos numa faixa de pH até 8,5, salvo algumas restrições. Com a finalidade de neutralizar estes efluentes cerca de 135 kg. d⁻¹ de ácido sulfúrico são adicionados no primeiro tanque de aeração, até se obter pH entre 8,0 e 8,5. A figura 10 mostra o fluxograma da ETE.

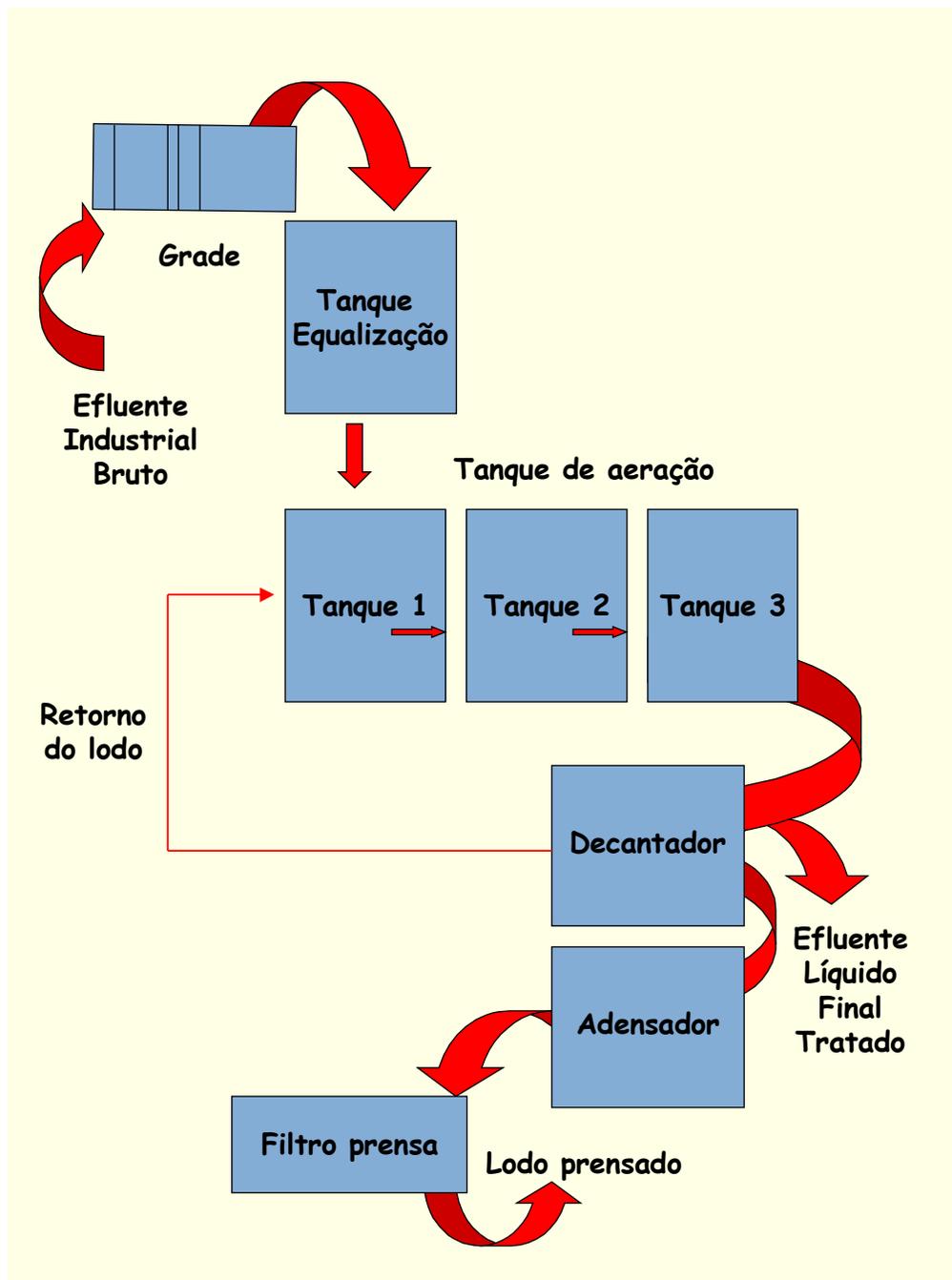


Figura 10 - Fluxograma da ETE - sistema descontínuo

5. METODOLOGIA

Este trabalho teve início após a assinatura de um Protocolo de Intenções entre a CETESB e duas indústrias dos setor têxtil.

A etapa seguinte foi a elaboração de um questionário para as indústrias contendo os seguintes itens:

- Identificação da empresa e descrição dos processos;
- Relação dos equipamentos e máquinas empregadas no processo;
- Relação das matérias-primas utilizadas e produtos armazenados;
- Relação dos produtos e resíduos gerados;
- Consumo de energia e combustíveis empregados;
- Balanço hídrico;
- Emissões atmosféricas e fontes de ruídos;
- Transporte de produtos e materiais.

As técnicas de Prevenção à Poluição, bem como a implantação de um programa foram disseminados através de treinamento com o corpo técnico das duas indústrias, visando conscientizá-los sobre a geração de resíduos, substituição de produtos menos agressivos ao meio ambiente e desperdícios de insumos, no intuito de buscar um envolvimento mais ativo e um compromisso oficial junto às empresas.

A etapa seguinte foi a realização periódica de visitas nos setores industriais para o levantamento das oportunidades de Prevenção à Poluição possíveis de serem implementadas. Algumas destas oportunidades foram testadas através de experimentos realizados nos laboratórios das próprias empresas.

6. RESULTADOS

6.1. CARACTERIZAÇÃO DOS POLUENTES GERADOS

O efluente líquido industrial gerado contém elevada carga orgânica, possuindo pH fortemente alcalino, além da coloração que varia em função dos corantes utilizados. As principais responsáveis pelo aparecimento desta carga são as etapas de engomagem e tingimento.

Os despejos da engomagem são constituídos pelas águas de lavagem dos cozinhadores onde são preparadas as soluções de amido, denominado goma e pelas descargas das engomadeiras; são altamente concentrados, possuindo elevada DBO e DQO, e pH entre 7 e 9.

Os despejos do tingimento podem ser diversificados devido aos diferentes tipos de corantes e da forma de aplicação; são volumosos, apresentam coloração e características tóxicas ou até mesmo mutagênicas. A DBO é geralmente baixa, mas pode atingir 37% da carga total em algumas indústrias. Estes despejos apresentam considerável carga orgânica quimicamente degradável, devido aos agentes de redução empregados em alguns banhos de tingimento.

No setor de acabamento, os despejos são provenientes das lavagens das máquinas, pisos, podendo conter uréia, formol, trifosfato, amido, estearato, óleos, emulsões, resinas polivinílicas e sais de magnésio.

A tabela 3 mostra a caracterização dos efluentes gerados no processamento têxtil.

Tabela 3 - Caracterização dos poluentes gerados no processamento têxtil.

| Data | Local de coleta | Origem do efluente | Parâmetros | | | | |
|----------|-------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|------|----------------------------------|--------------------------------|
| | | | DBO (mg.ℓ ⁻¹) | DQO (mg.ℓ ⁻¹) | pH | Sulfato (mg.ℓ ⁻¹) | Fenol (mg.ℓ ⁻¹) |
| | Rama | Acabamento | 30200 | 32800 | 8,5 | | |
| 12/11/99 | Canalete de saída | Engomagem | 29500 | 57900 | 7,0 | | |
| | Saída Jigger 4 | Tinturaria | | 1780 | 10,3 | 24000 | 0,58 |

Os poluentes gerados nos processos de engomagem, tingimento e acabamento contínuo e descontínuo são caracterizados a seguir:

6.1.1. Processo de engomagem contínuo

Na empresa cujo processo produtivo é contínuo, a carga orgânica gerada é de aproximadamente 330 kgDQO. dia⁻¹, que são enviados ao sistema de tratamento, representando cerca de 80% da carga total.

6.1.2. Processo de engomagem - descontínuo

Já a empresa que emprega processo descontínuo, o efluente oriundo desse processo também apresenta elevada concentração de matéria orgânica, com a DBO em torno de 29 500 mg.ℓ⁻¹ e a DQO por volta de 57 800 mg.ℓ⁻¹.

Ressalta-se que essas concentrações são relativas ao efluente desse setor após a substituição da fécula natural pelo composto a base de CMC (carboxi-metil-celulose). Os valores anteriores à essa substituição para DBO e DQO eram bem superiores aos atuais. Contudo, a carga apresenta-se ainda elevada, podendo causar impacto no sistema de tratamento caso seja lançada de forma repentina.

O piso desse setor é lavado uma vez por semana, utilizando-se de água proveniente do poço artesiano, empregando-se mangueiras com jato sob pressão, como também a lavagem dos cozinhadores de goma.

Em agosto de 2000, esse setor elaborou entre 400 e 420 receitas de goma, acarretando um consumo de aproximadamente 180 m³ de água.

6.1.3. Processo de tingimento contínuo

O processo de tingimento contínuo tem a vantagem de manter as vazões relativamente constantes, possibilitando melhor avaliação da carga orgânica gerada por rodada de processo.

As tabelas 4 e 5 mostram a caracterização das cargas geradas nos processos de tingimento de algodão com preto e azul.

Tabela 4 - Caracterização das cargas pontuais do processo de tingimento com preto, cujo sistema é contínuo.

| Processo de tingimento com preto | Vazão (m³.h⁻¹) | Concentração DQO (mg.ℓ⁻¹) | Carga DQO (kgDQO.h⁻¹) |
|---|---|---|---|
| Caixa 6 | 3,6 | 7 300 | 26,28 |
| Caixa 7 | 3,6 | 13 110 | 47,2 |
| Caixa 8 | 3,6 | 5 090 | 18,32 |
| Caixa 9 | 3,6 | 12 130 | 43,67 |
| Caixa 10 | 4,02 | 560 | 2,25 |
| Caixa 11 | 4,02 | 1 450 | 5,8 |
| Caixa 13 | 0,5 | 9 490 | 4,74 |
| Total | 22,94 | | 148,26 |

Tabela 5 - Caracterização das cargas pontuais do processo de tingimento com azul, cujo sistema é contínuo.

| Processo de tingimento com azul | Vazão (m ³ .h ⁻¹) | Concentração DQO (mg.ℓ ⁻¹) | Carga DQO (kgDQO.h ⁻¹) |
|---------------------------------|--|--|------------------------------------|
| Caixa 3 | 2,0 | 1050 | 2,1 |
| Caixa 4 | 2,5 | 220 | 0,55 |
| Caixa 10 | 4,0 | 744 | 2,97 |
| Caixa 12 | 3,6 | 1440 | 5,18 |
| Caixa 13 | 0,5 | 3440 | 1,72 |
| Total | 12,6 | | 12,52 |

Considerando que cada processo tem um período de operação em torno de 13 horas, foi observado que o preto gera 1930 kg.DQO⁻¹, enquanto que o azul apenas 163 kg.DQO⁻¹, concluindo que a carga orgânica gerada por rodada de processo é nove vezes maior no preto, como pode ser observado na figura 11.

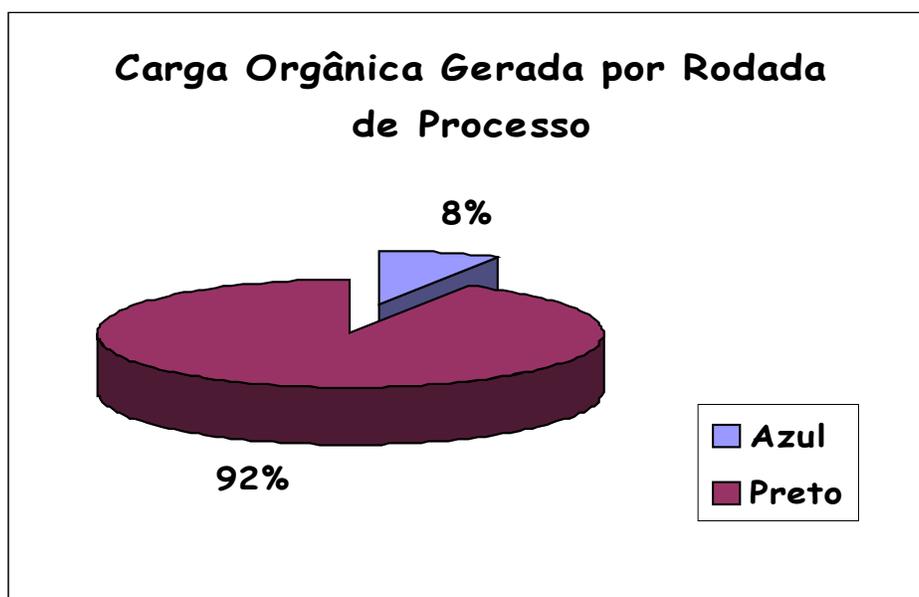


Figura 11 - Porcentagem de carga orgânica gerada por rodada de processo.

Em outubro de 1999, foi realizada uma avaliação, em termos de produção, apenas em função destes dois processos e constatou-se que 80% eram relativos ao tingimento com azul

e apenas 10% ao preto, sendo que o mesmo ainda é responsável por 47% da carga gerada. A figura 12 mostra comparativamente esses dados:

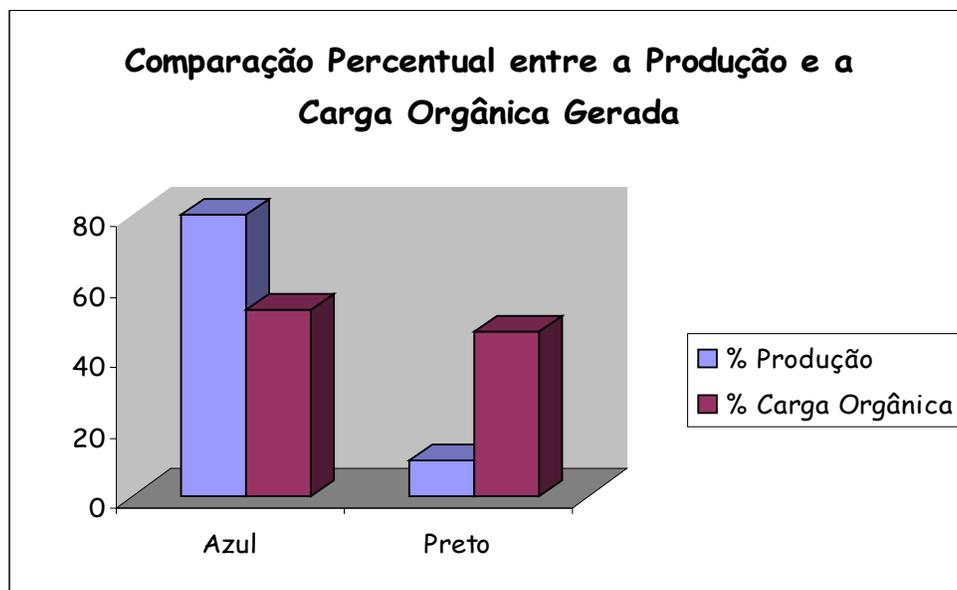


Figura 12 - Comparação percentual entre a produção e a carga orgânica gerada nos processos de tingimento com azul e com preto.

6.1.4. Processo de tingimento descontínuo

Para se estimar a contribuição de carga orgânica potencialmente poluidora nos processos do setor de tinturaria, foram coletadas algumas amostras pontuais provenientes de dois processos de tingimento e uma no de purga.

Ressalta-se que estas coletas foram efetuadas no momento da descarga dos *jiggers*, onde os corantes e os produtos auxiliares estavam presentes. Os resultados das análises e as respectivas estimativas de carga estão expressos nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Caracterização das cargas pontuais dos processos tinto.

| Processos tinto | Volume descartado (ℓ) | Concentração DQO (mg.ℓ ⁻¹) | Concentração DBO (mg.ℓ ⁻¹) | Carga DQO (kg) | Carga DBO (kg) |
|-----------------|-----------------------|--|--|----------------|----------------|
| Cor: chocolate | 400 | 1780 | — | 0,71 | — |
| Cor: preto | 800 | 30100 | 21300 | 24,08 | 18,11 |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|

Tabela 7 - Caracterização da carga pontual do processo de purga.

| Processo | Volume descartado (ℓ) | Concentração DQO (mg.ℓ ⁻¹) | Concentração DBO (mg.ℓ ⁻¹) | Carga DQO (kg) | Carga DBO (kg) |
|----------|-----------------------|--|--|----------------|----------------|
| Purga | 800 | 12300 | 8930 | 9,8 | 7,14 |
| | | | | | |

6.1.5. Processo de acabamento contínuo

As cargas orgânicas geradas nos compartimentos de lavagem durante a operação dos processos semilavado e sobretinto com preto foram avaliadas. No caso do semilavado, foram coletadas duas amostragens pontuais, onde se obteve uma média geral da carga orgânica gerada. No processo de sobretintamento, foi realizada somente uma amostragem. Os resultados das cargas orgânicas estão apresentados nas tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8 - Caracterização das cargas pontuais do compartimento de lavagem do processo de acabamento semi-lavado, cujo sistema é contínuo.

| Processo de acabamento Semi-lavado I | Vazão (m ³ .h ⁻¹) | Concentração DQO (mg.ℓ ⁻¹) | Carga DQO (kgDQO.h ⁻¹) |
|--------------------------------------|--|--|------------------------------------|
| Caixa 1 | 1,0 | 6248 | 6,24 |
| Caixa 2 | 1,0 | 4405 | 4,4 |
| Caixa 4 | 1,0 | 7605 | 7,6 |
| Total | 3,0 | | 18,24 |

Tabela 9 - Caracterização das cargas pontuais do compartimento de lavagem do processo de acabamento semi-lavado, cujo sistema é contínuo.

| Processo de acabamento Semi-lavado II | Vazão (m ³ .h ⁻¹) | Concentração DQO (mg.ℓ ⁻¹) | Carga DQO (kgDQO.h ⁻¹) |
|---------------------------------------|--|--|------------------------------------|
| Caixa 1 | 1,0 | 4240 | 4,24 |
| Caixa 2 | 1,0 | 4240 | 4,24 |
| Caixa 3 | 1,0 | 4425 | 4,42 |
| Total | 3,0 | | 15,41 |

Tabela 10 - Caracterização das cargas pontuais do compartimento de lavagem do processo de acabamento sobretinto com preto, cujo sistema é contínuo.

| Processo de acabamento Sobretinto com preto | Vazão (m³.h⁻¹) | Concentração DQO (mg.ℓ⁻¹) | Carga DQO (kgDQO.h⁻¹) |
|--|---|---|---|
| Caixa 1 | 1,0 | 13 680 | 13,68 |
| Caixa 4 | 1,0 | 8 320 | 8,32 |
| Caixa 5 | 1,0 | 6 990 | 6,99 |
| Total | 3,0 | | 37,31 |

No processo semilavado, o compartimento de lavagem gera uma carga orgânica de 16,82 kg DQO.h⁻¹, enquanto o sobretingimento com preto 37,31 kg DQO.h⁻¹. Comparando-se os resultados, constata-se que a carga orgânica gerada no sobretingimento é 56% maior que no processo semi-lavado, como pode ser observado no gráfico da figura 13.

Figura 13 - Comparação das carga geradas nos processos sobretinto com preto e Semi-lavado.

6.1.6. Processo de acabamento descontínuo

Com objetivo de estimar a carga potencial poluidora, foi coletada uma amostra pontual proveniente do banho no processo de amaciamento.

Como o processo é descontínuo e o despejo do efluente ocorre por batelada, o resultado obtido indica apenas a carga emitida em determinado momento de descarga. Com isso, há apenas uma estimativa da concentração de carga orgânica emitida pelo processo. A tabela 11 mostra esse resultado.

Tabela 11 - Caracterização carga pontual gerada no processo de acabamento amaciado.

| Processo de Acabamento | Volume descartado (ℓ) | Concentração DQO (mg.ℓ ⁻¹) | Concentração DBO (mg.ℓ ⁻¹) | Carga DQO (kg) | Carga DBO (kg) |
|------------------------|-----------------------|--|--|----------------|----------------|
| Amaciado | 150 | 45300 | 2010 | 6,8 | 0,31 |
| | | | | | |

6.2. Caracterização da ETE - processo descontínuo

Para caracterização do afluente da ETE, foram realizadas coletas de amostras no ponto de chegada dos efluentes, antes da grade. As coletas foram feitas de hora em hora, medindo-se a vazão de chegada e o pH, sendo os seguintes parâmetros analisados: DBO, DQO e SO₄²⁻. No efluente final tratado, foram analisados: nitrogênio amoniacal, NKT, fósforo total, DBO e DQO.

Estes parâmetros foram analisados para verificar: a variação da carga orgânica a ser tratada e a quantidade removida após o tratamento; a concentração do sulfato que quando reduzido forma o gás sulfídrico e a concentração dos nutrientes, nitrogênio e fósforo, que são essenciais ao tratamento biológico, entretanto, quando em excesso, causa eutrofização em corpos d' água.

Na primeira série de análises, foram realizadas oito coletas do afluente da ETE. Na ocasião, a indústria realizava várias lavagens nos pisos e nos equipamentos, acarretando amostras mais diluídas, portanto não representativas. Contudo, as análises foram realizadas e os resultados são apresentados na tabela 12. A figura 14 mostra as variações de carga orgânica expressa em kgDBO.d⁻¹ ocorrida entre às 10h20 e 17h22 . Às 15h20 , observou-se grande aumento de carga que, segundo a indústria, foi devido a uma descarga do efluente da engomagem.

Tabela12 - Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos do efluente industrial bruto.

| Parâmetros | | | | | | |
|-----------------------|---|-----------------------------------|------|------------------------------|------------------------------|--|
| Data | Vazão (m ³ .h ⁻¹) | Carga (kgDBO.d ⁻¹) | pH | DBO (mg.ℓ ⁻¹) | DQO (mg.ℓ ⁻¹) | SO ₄ ⁻² (mg.ℓ ⁻¹) |
| 1 ^o Coleta | 2,66 | 513,27 | 9,0 | 8.040 | 8.100 | <100 |
| 2 ^o Coleta | 2,88 | - | 8,0 | - | 2.460 | <100 |
| 3 ^o Coleta | 2,0 | 84,48 | 8,0 | 1.760 | 4720 | <100 |
| 4 ^o Coleta | 1,11 | 29,57 | 8,0 | 1.110 | - | <100 |
| 5 ^o Coleta | 4,14 | 80,38 | 8,5 | 809 | 3.090 | — |
| 6 ^o Coleta | 9,39 | 2.907,14 | 12,5 | 12.700 | 12.900 | — |
| 7 ^o Coleta | 2,98 | 1.029,88 | 10,0 | 14.400 | 15.000 | <100 |
| 8 ^o Coleta | 8,18 | 361,23- | 10,0 | 1.840 | 3.540 | — |

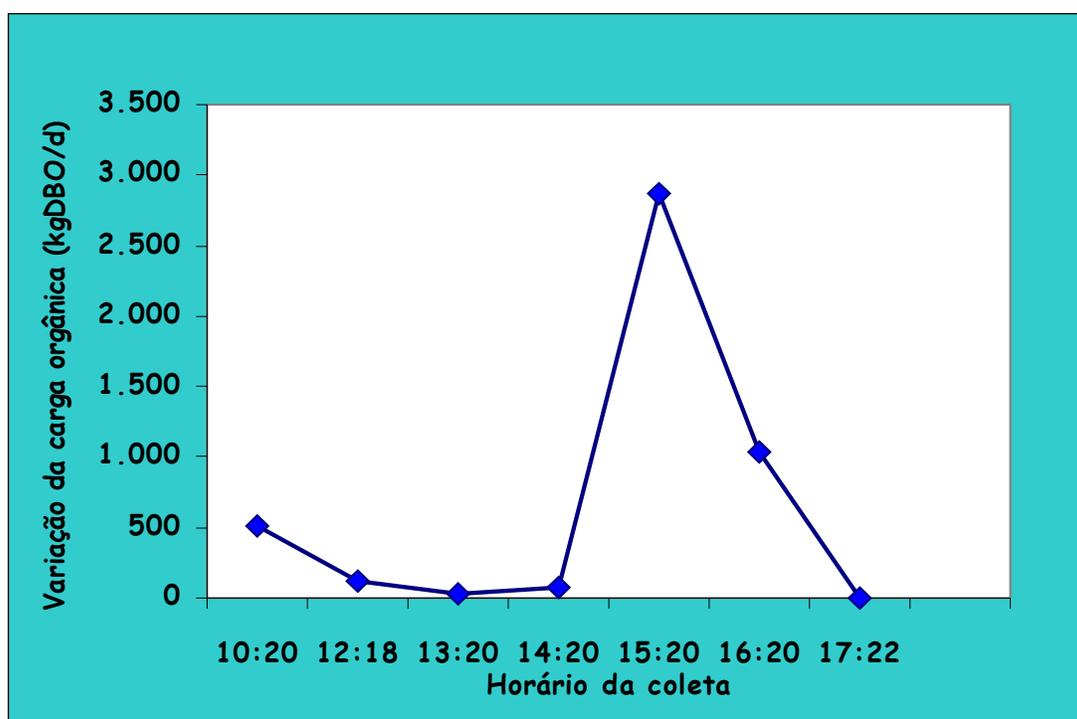


Figura 14 - Gráfico da variação da carga orgânica lançada na ETE.

Para equalizar as cargas lançadas no sistema de tratamento, a ETE possui um tanque de equalização que foi projetado para operar com 24 horas de tempo de residência hidráulico,

mas, segundo dados de 1999, opera com 18 horas. Os resultados da variação de carga após o equalizador, podem ser visualizados na figura 15.

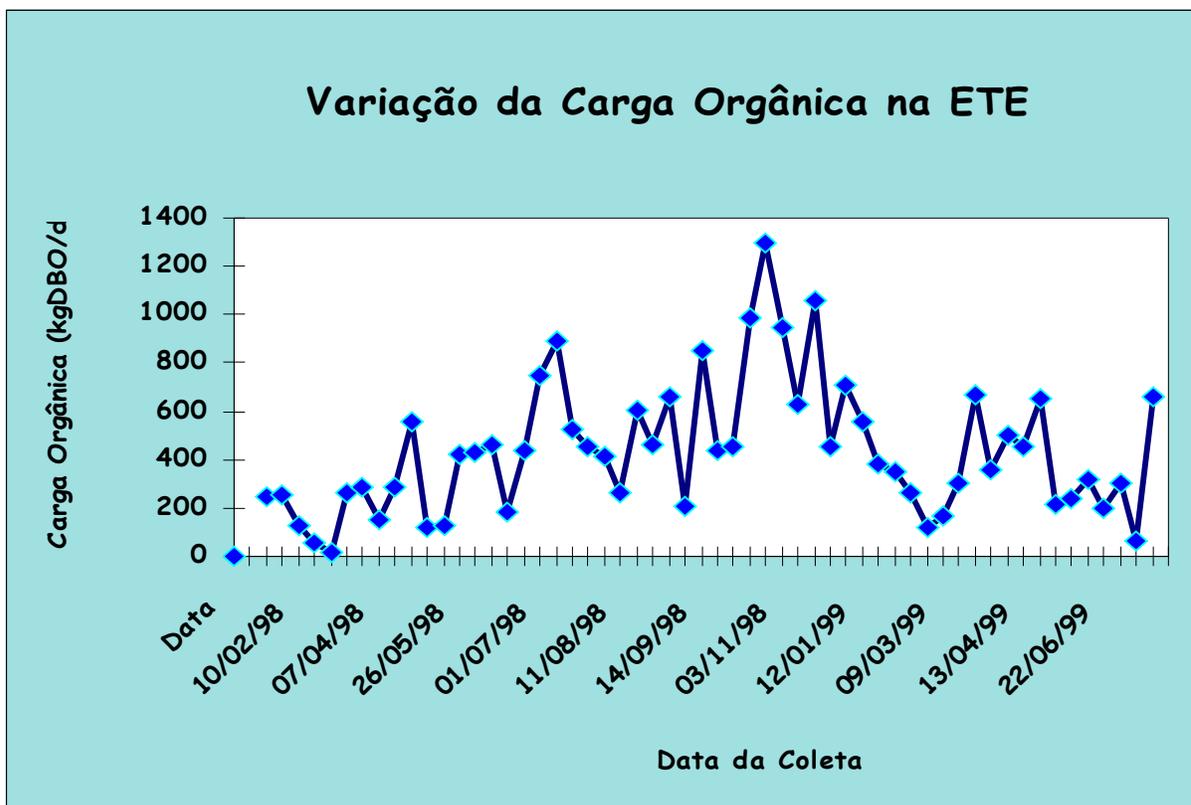


Figura 15 - Variação da carga orgânica após equalização.

Devido a falta de representatividade das amostras, outra série de coletas foram realizadas. Os resultados estão apresentados na tabela 13. Na mesma data, foram também coletadas quatro amostras pontuais do efluente final tratado e os resultados constam da tabela 14.

Convém salientar que, devido ao tempo de residência hidráulico da estação ser em torno de 5 dias, os resultados dos parâmetros do efluente industrial bruto e efluente tratado não serão utilizados para cálculo da eficiência do processo, uma vez que as amostras para análises não são equivalentes por terem sido coletadas no mesmo dia.

Tabela 13 - Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos do Efluente industrial bruto (amostra representativa)

| Parâmetros | | | | | |
|------------------|---------------------------------|------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| Data 07/04/99 | Carga (kg. d ⁻¹) | pH | DBO (mg. ℓ ⁻¹) | DQO (mg. ℓ ⁻¹) | SO ₄ ⁻² (mg. ℓ ⁻¹) |
| 1ª Coleta | 819,44 | 10,0 | 2703 | 9300 | 110 |
| 2ª Coleta | 91,99 | 11,5 | 559 | 1592 | < 100 |
| 3ª Coleta | 406,28 | 11,0 | 1395 | 6630 | 498 |
| 4ª Coleta | 50,64 | 11,0 | 863 | 3440 | 304 |
| 5ª Coleta | 212,81 | 11,0 | 1445 | 3375 | 433 |
| 6ª Coleta | 89,86 | 11,0 | 1196 | 3780 | 185 |
| 7ª Coleta | 448,77 | 14,0 | 2095 | 4500 | 371 |
| 8ª Coleta | 195,61 | 12,0 | 1016 | 1900 | 445 |
| 9ª Coleta | 116,5 | 12,0 | 1203 | 3565 | 446 |
| 10ª Coleta | 238,36 | 12,0 | 1784 | 4130 | < 100 |

Tabela 14 - Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos do efluente final tratado.

| | | | Parâmetros | | | |
|------------------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--|
| Local da coleta | Data da Coleta | Hora da Coleta | DBO (mg. ℓ ⁻¹) | DQO (mg. ℓ ⁻¹) | Fósforo total (mg. ℓ ⁻¹) | Nitrogênio Amoniacal (mg. ℓ ⁻¹) |
| | | 10:40 h | 63 | 575 | - | - |
| | | 14:10 h | 58 | 706 | - | - |
| Efluente Final Tratado | 07/04/99 | 16:00 h | - | - | 180 | 55 |
| | | 17:20 h | 66 | 686 | | |
| | | | | | | |

Tabela 15 - Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos (amostra pontual).

| Parâmetros (mg.ℓ⁻¹) | Efluente Industrial Bruto | Efluente Final Tratado |
|---|--------------------------------------|-----------------------------------|
| DBO | 2.500 | 44 |
| DQO | 5.530 | 423 |
| Sulfato Total | 144 | 1.800 |
| Sulfactantes | 1.51 | < 0,04 |
| | | |

As análises de nitrogênio e fósforo no efluente final do sistema de tratamento foram realizadas para verificar se a adição destes nutrientes encontravam-se nas proporções recomendadas. Os resultados apresentados nas tabelas 14 e 16 mostram alta concentração de nitrogênio e fósforo no efluente tratado, demonstrando que a adição destes elementos no tanque de aeração está sendo realizada em excesso.

Tabela 16 - Concentração de nutrientes no efluente final tratado.

| | Parâmetros | | |
|-----------------------------------|---|------------------------------------|--|
| Local da coleta | Nitrogênio Amoniacal (mg.ℓ⁻¹) | NKT (mg.ℓ⁻¹) | Fósforo Total (mg.ℓ⁻¹) |
| Efluente final tratado | 7,20 | 35,0 | 83,0 |

6.3. Caracterização da ETE - processo contínuo

A estação de tratamento de efluentes cujo processo é contínuo tem como característica a pequena variação de carga e um sistema de equalização adequado que opera com um tempo de residência hidráulico em torno de 48 horas.

O tanque de aeração possui aeradores mecânicos de superfície que não são suficientes para manter o sistema homogeneizado e a concentração de oxigênio dissolvido adequada para o equilíbrio da microbiota.

O sistema possui dois decantadores que operam com uma baixa taxa de escoamento superficial, permitindo uma adequada separação das fases sólidas e líquidas, conferindo um efluente final de boa qualidade.

A tabela 17, apresenta alguns resultados das análises dos parâmetros físico e químicos em termos de DBO; mostrando um sistema equilibrado. O gráfico da figura 16 mostra a pequena variação da carga após a equalização.

Tabela 17 - Dados de vazão, concentração de DBO e carga orgânica emitida durante o período de um mês.

| Parâmetros | | | |
|-------------------|---|---|--|
| Data | Vazão (m³.h⁻¹) | Concentração DBO (mg.ℓ⁻¹) | Carga orgânica (kgDBO.dia⁻¹) |
| 01/08/98 | 63,3 | 1515 | 2 300,0 |
| 02/08/98 | 62,2 | 1515 | 2 239,0 |
| 05/08/98 | 54,4 | 1521 | 1 978,52 |
| 06/08/98 | 54,9 | 1521 | 2 004,07 |
| 07/08/98 | 56,0 | 1521 | 2 044,22 |
| 08/08/98 | 51,3 | 1521 | 1 872,66 |
| 12/08/98 | 43,4 | 1459 | 1 519,69 |
| 13/08/98 | 50,9 | 1459 | 1 782,31 |
| 14/08/98 | 51,0 | 1459 | 1 782,82 |
| 15/08/98 | 61,2 | 1459 | 2.142,98 |
| 16/08/98 | 54,2 | 1459 | 1 897,87 |
| 19/08/98 | 56,8 | 1452 | 1 979,37 |
| 20/08/98 | 63,5 | 1452 | 2 212,85 |
| 21/08/98 | 57,6 | 1452 | 2 007,20 |
| 22/08/98 | 56,9 | 1452 | 1 982,85 |
| 23/08/98 | 55,6 | 1452 | 1 937,55 |
| 26/08/98 | 56,8 | 1406 | 1 916,66 |
| 27/08/98 | 56,0 | 1406 | 1 889,66 |
| 28/08/98 | 57,9 | 1406 | 1 953,78 |
| 29/08/98 | 61,0 | 1406 | 2 058,38 |
| 30/08/98 | 59,3 | 1406 | 2 001,12 |

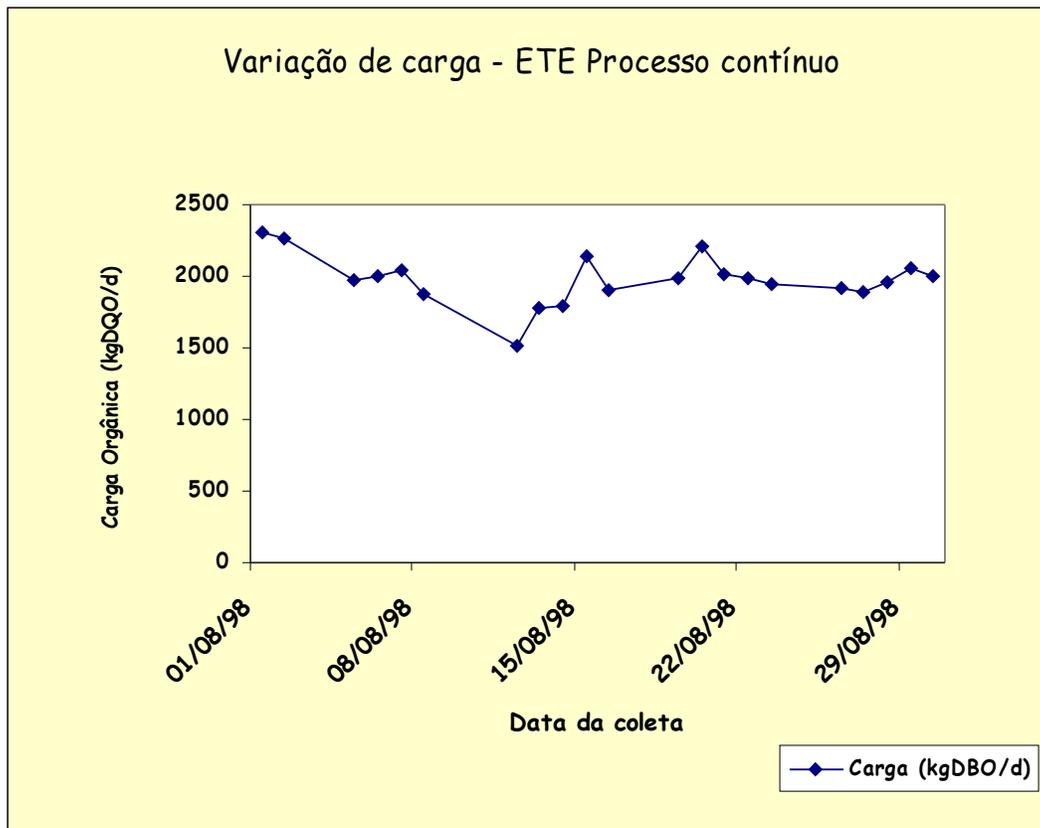


Figura 16 - Variação de carga após equalização - sistema contínuo.

6.4. Caracterização da microbiota

A importância dos microrganismos do processo de lodos ativados como indicadores das condições de depuração da matéria orgânica é muito conhecida na literatura. Com relação aos flocos presentes no tanque de aeração, suas características morfológicas também são indicadoras de desempenho do processo, pois quando estes encontram-se resistentes e bem formados, a separação das fases líquida e sólida ocorre de maneira eficiente, dentro do decantador, conferindo um efluente final de boa qualidade.

O floco do lodo ativado é constituído por fragmentos orgânicos não digeridos, por uma fração inorgânica (por exemplo, grãos de areia), por células mortas e, principalmente, por uma grande variedade de bactérias.

A estrutura do floco é subdividida em dois níveis: macroestrutura e microestrutura. A macroestrutura é formada por bactérias filamentosas, sendo considerada o *esqueleto* do floco. A microestrutura é a base do floco sendo composta de agregados de células.

Apesar das bactérias filamentosas terem grande importância na estrutura do floco, seu crescimento deve ser limitado. Quando ocorrem em excesso, não permitem a sedimentação do lodo no decantador secundário, resultando num fenômeno conhecido como intumescimento filamentoso do lodo ou *bulking*.

Para um bom desempenho de um sistema de lodos ativados é fundamental que a separação entre o lodo e a fase líquida, que ocorre no decantador secundário, seja rápida e eficiente. Os lodos mais frequentemente encontrados em sistemas de lodos ativados podem ser classificados como:

□ **Lodos onde predominam flocos com características adequadas**

São caracterizados pela presença de bactérias formadoras de flocos (microestrutura) e bactérias filamentosas (macroestrutura) em equilíbrio, propiciando a formação de flocos grandes e com boa resistência mecânica. (figura.17)

Fonte: apostila de microbiologia de lodos ativados, Cetesb,2000

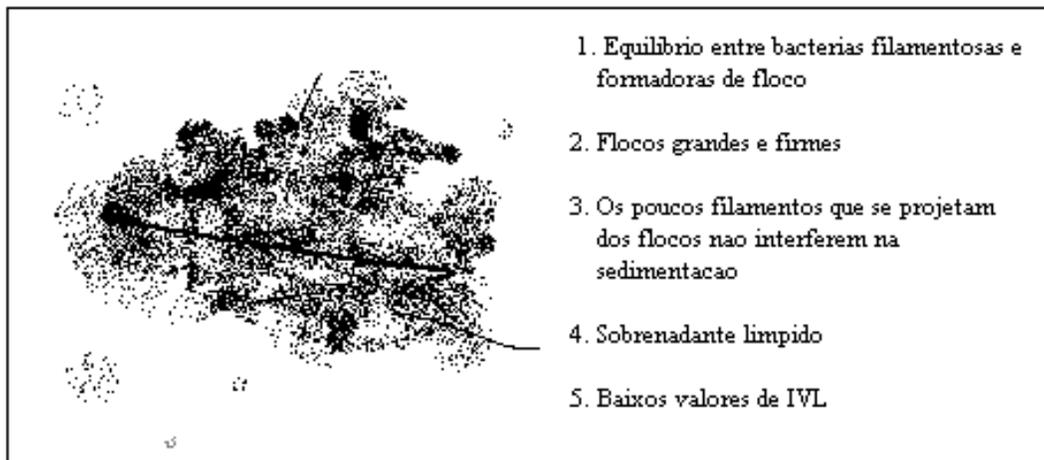


Figura 17 - Floco com características adequadas.

□ **Lodos onde predominam flocos com características inadequadas**

São caracterizados pela presença excessiva de macroestrutura (filamentos), figura 18. No caso, há excesso de bactérias filamentosas que ultrapassam os limites dos flocos, prejudicando as características de sedimentação e compactação, levando ao intumescimento do lodo (*bulking* filamentoso).

Fonte: apostila de microbiologia de lodos ativados, Cetesb,2000

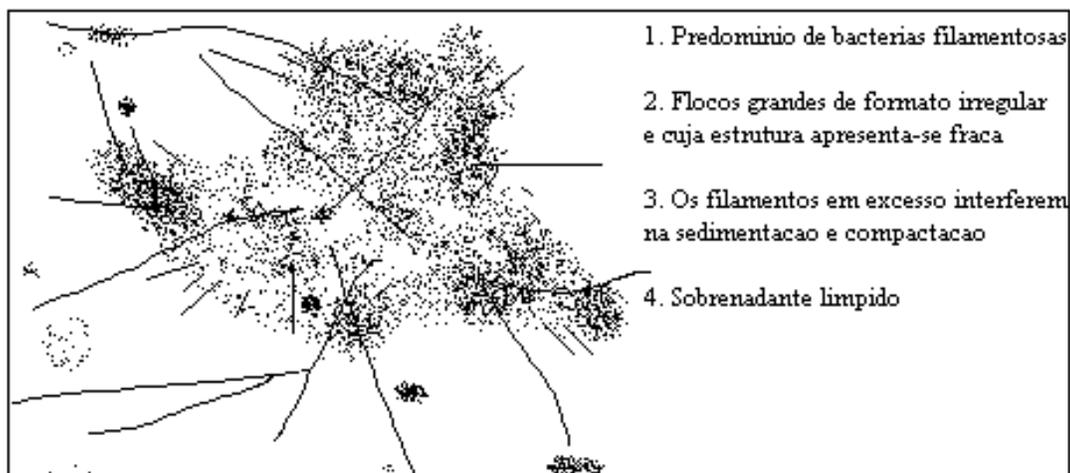


Figura 18 - Floco com características inadequadas.

- **Caracterização microbiota no tanque de aeração - processo descontínuo**

Várias amostras foram coletadas do lodo ativado dos três tanques de aeração, para análise em microscópio, da microbiota e das características dos flocos. No primeiro tanque de aeração, observou-se muitas bactérias dispersas e também muitas filamentosas, quase não havia presença de protozoários e micrometazoários; os flocos eram fracos e tinham formas irregulares.

No segundo tanque observou-se uma quantidade maior de microrganismos, ciliados livres natantes: *Litonotus*, *Traquelophilum*, *Oxitriquia* e outros não identificados, alguns pequenos flagelados e também muitas bactérias filamentosas. No terceiro tanque a quantidade de microrganismos era muito maior que a do segundo tanque, com a mesma biodiversidade.

Nos três tanques de aeração, a quantidade de bactérias filamentosas era muito grande, caracterizando um fenômeno biológico denominado *bulking*, como pode ser visualizado na figura 19. As características dos flocos sempre foram iguais, ou seja, pequenos, sem bordas definidas e sem resistência. Estas características prejudicam a velocidade de sedimentação do lodo no decantador, prejudicando a qualidade do efluente final. A quantidade e a

diversidade dos microrganismos nos tanques de aeração, apresentaram-se da seguinte maneira: no primeiro tanque era muito pequena, no segundo tanque um pouco maior e no terceiro bem maior.

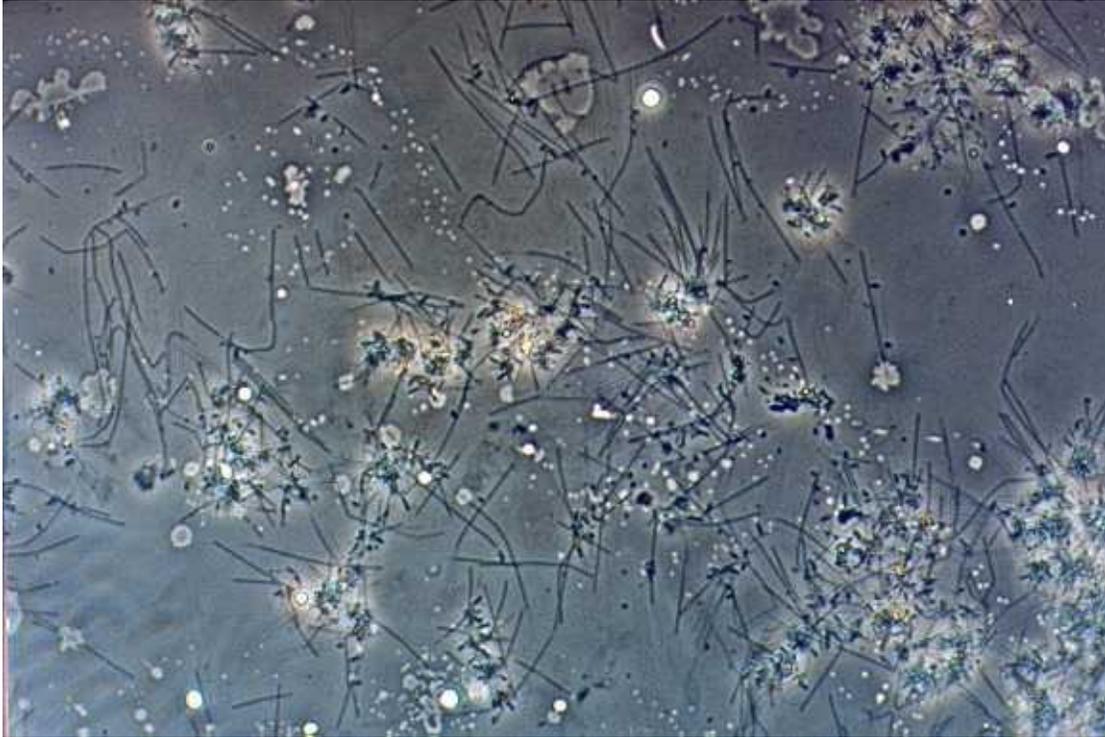


Figura 19 - Crescimento excessivo de bactérias filamentosas no tanque de aeração caracterizando o *bulking*.

Uma outra forma de identificar o *bulking* é através do índice volumétrico do lodo (IVL), que representa o volume ocupado por um grama de sólidos em suspensão totais (SST), do tanque de aeração. Tal parâmetro é determinado através de um teste de sedimentação em proveta graduada, com 1 litro da amostra de lodo ativado, coletado próximo à saída do tanque de aeração. A amostra permanece durante 30 minutos sedimentando e, ao final deste período, anota-se o valor ocupado pelo lodo sedimentado. Obtém-se o IVL, dividindo-se o volume ocupado do lodo sedimentado pela concentração de SST da amostra de lodo analisada. A tabela 18 e figura 20 apresentam os valores de índice IVL que evidenciam a presença de “bulking” quando os resultados são superiores a 200 mg.g^{-1} .

Tabela 18 - Variação do índice volumétrico do lodo.

| Parâmetros | | | |
|----------------|--------------------------|------------|------------------------------|
| Data da coleta | SD ₃₀ (ml) | SST (g) | IVL (mg.g ⁻¹) |
| 12/11/98 | 760 | 3,24 | 235 |
| 25/11/98 | 870 | 3,31 | 263 |
| 28/01/99 | 970 | 3,94 | 246 |
| 02/02/99 | 990 | 3,31 | 299 |
| 11/02/99 | 990 | 3,90 | 254 |

Legenda: SD₃₀= Sólidos sedimentáveis em 30 minutos; SST = Sólidos sedimentáveis total; IVL = Índice volumétrico do lodo

Figura 20 - Variação do índice volumétrico do lodo na ETE

De acordo com esses resultados, observa-se que os valores de IVL sempre estiveram acima de 200 mg.g⁻¹, indicando a presença de *bulking* devido ao excesso de bactérias filamentosas.

As características microbiológicas de um processo de lodos ativados funcionando adequadamente são as seguintes: pouca quantidade de bactérias filamentosas, grande diversidade de protozoários e micrometazoários, flocos compactos com bordas definidas, conferindo um aspecto firme e resistente. O início dessa condição foi observada quando o processo industrial permaneceu parado durante todo o final de semana. Durante este período, a operação do sistema de tratamento era feita apenas com recirculação do lodo do decantador para o primeiro tanque de aeração, permanecendo sem entrada de carga por, aproximadamente, 48 horas. O teste de sedimentabilidade apresentado nas figuras 21 e 22 mostram, respectivamente, a característica anterior, ou seja, a dificuldade de separação do lodo e a característica observada, após as 48 horas sem entrada de carga, constatando-se maior eficiência na separação do lodo, devido ao seu aspecto mais resistente e mais

compacto. A figura 23 mostra, através da análise em microscópio óptico, esta característica evidenciada.



Figura 21 - Teste de IVL mostrando a dificuldade da separação das fases após 30 minutos de sedimentação, característica de processo de tratamento deficiente.

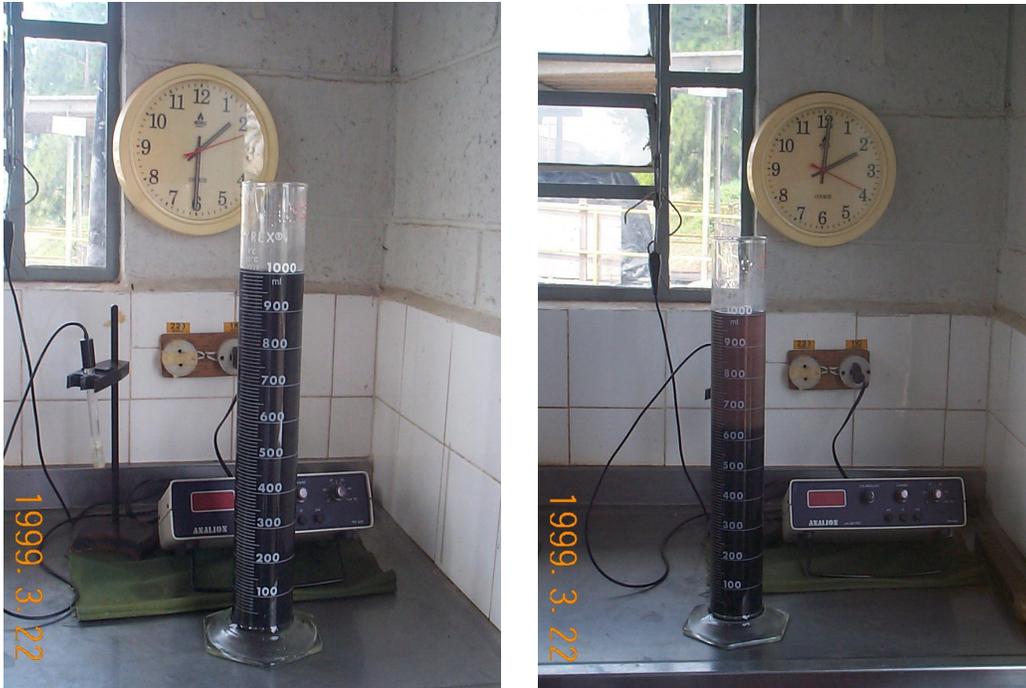


Figura 22 - Teste de IVL mostrando a separação das fases após 30 minutos de sedimentação, característica de processo de tratamento eficiente.

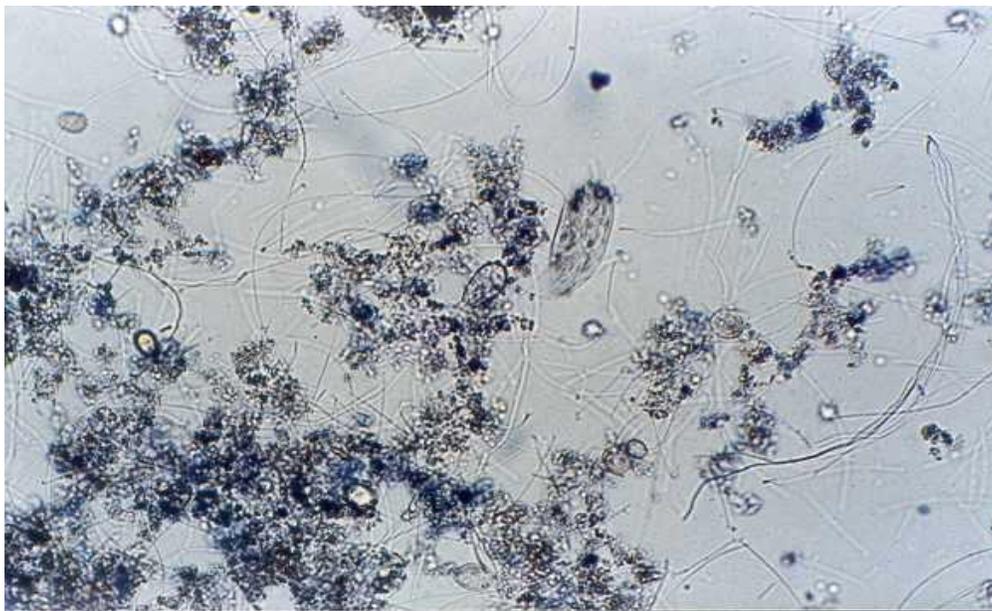


Figura 23 - Resultado da análise microbiológica mostrando o lodo com aspecto mais resistente e menos bactérias filamentosas, em comparação com a figura 12.

A elevada quantidade de bactérias filamentosas, a escassez de protozoários e micrometazoários, no primeiro tanque de aeração, bem como o aspecto dos flocos, podem ser devido as seguintes características que foram observadas no processo:

- grande variação de carga orgânica, após o equalizador, conforme apresentado na figura 15.
- elevados valores de pH, entre 8.0 e 8.5.
- falta de oxigênio dissolvido no fundo dos tanques de aeração, criando um ambiente anóxico e/ou anaeróbio.
- taxa alta de escoamento superficial do decantador, ou seja, o decantador está subdimensionado para a atual carga orgânica que recebe diariamente.

- **Caracterização da microbiota no tanque de aeração - processo contínuo**

A metodologia aplicada para identificação de bactérias filamentosas presentes em sistemas de Tratamento de Lodos Ativados foi a recomendada em manual de controle de atividade metabólica da biota microbiana presente nos lodos, David Jenkins, 1993.

O lodo analisado continha elevada quantidade de bactérias filamentosas e três gêneros estavam presentes. Um deles é predominante em relação aos demais e através da metodologia empregada foi possível identificar esta bactéria como sendo do *Tipo 1851*. As suas principais características são:

- Filamentos retos ou ligeiramente curvados, com diâmetro entre 0,8 e 1,0 μm e comprimento entre 100 e 300 μm .
- Encontram-se projetando dos flocos biológicos ou mais freqüentemente formando feixes de filamentos.
- A bainha está presente, mas é de difícil observação. As células que compõem o filamento são retangulares (0,8 x 1,5 a 2,5 μm), sem indentações nos septos. Estes são muitas vezes de difícil observação.
- Ocorre crescimento epifítico diferenciado (perpendicular a superfície do filamento).

- A reação a coloração de Gram é fracamente positiva ou negativa e a de Neisser é negativa.
- Não ocorrem grânulos de enxofre.
- São microrganismos que se desenvolvem bem em lodos que contenham substratos solúveis facilmente metabolizáveis e Tempo de Detenção Celular (Idade do Lodo – θ_c) entre média e alta (≥ 10 dias).

A figura 24 apresenta as características morfológicas do tipo de bactérias filamentosas predominante no processo de tratamento. A Figura 25 mostra o crescimento excessivo dessas mesmas bactérias no tanque de aeração.

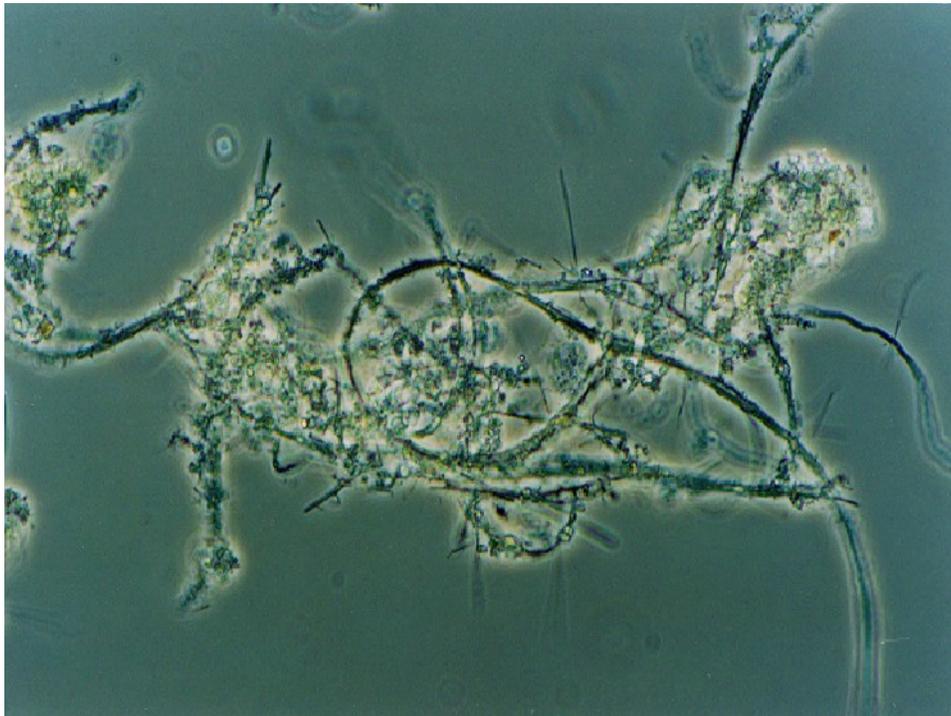


Figura 24 - Características morfológicas das bactérias filamentosas do Tipo 1851, observadas em microscópio com aumento de 1000 X.



Figura 25 - Crescimento excessivo das bactérias filamentosas no tanque de aeração, observadas em microscópio com aumento de 1000 X.

No tanque de aeração foram observados protozoários e micrometazoários. Os protozoários encontrados foram: *Chilodonella sp*, *Aspidisca sp*, *Litonotos sp*, *Euglypha sp* e *Traquelophilum sp*. Dentro dos metazoários apenas os Rotíferos foram observados, sendo que a presença desses microrganismos indicam a ocorrência de uma boa depuração da matéria orgânica.

6.5. Processos utilizados para remoção da cor do efluente têxtil

Objetivando reutilizar a água proveniente do efluente final tratado, no processo industrial, a seguir são apresentadas tecnologias disponíveis em literatura, experimentos com coagulantes realizados no laboratório da empresa cujo processo é contínuo, e um processo físico-químico implantado por outra indústria do mesmo setor.

6.5.1. Ozonização

O ozônio tem sido utilizado para desinfecção das águas desde o início do século, sendo que a primeira aplicação ocorreu na cidade de Paris.

O ozônio possui características desejáveis para tratamento de águas superficiais e efluentes industriais. Entre elas, pode-se destacar o grande poder de oxidação, a ação quase que imediata e a ausência de um residual permanente. O advento de modernos geradores de ozônio resultou em redução dos custos nas instalações e operação, sendo que em 1976, em Roven, França, surgiu a primeira planta de água tratada com dois estágios de Ozonização.

Aplicações do ozônio

O ozônio é um forte agente oxidante, sendo duas vezes mais potente que o cloro, utilizado para tratamento de águas superficiais na Europa e Canadá; contudo, não é comumente empregado nas Estações de Tratamento de Água dos E.U.A., devido a ausência do residual de cloro necessário na rede de distribuição. Todavia, no sistema de tratamento de águas residuárias, pode apresentar vantagens, através da eliminação de poluentes secundários e precipitação de sais inorgânicos, desde que não apresente nenhum efeito tóxico para o corpo receptor.

O ozônio pode controlar também o lodo gerado nas torres de resfriamento, que propiciam um ambiente ideal para o desenvolvimento de fungos, bactérias e algas.

No tratamento de efluentes industriais, o ozônio é utilizado para reduzir a concentração de DBO e DQO e destruir alguns compostos químicos como fenóis e cianetos. Uma excelente aplicabilidade do ozônio é referente a remoção de cor. A tonalidade dada ao efluente durante o processo devido a matéria orgânica dissolvida ou formas coloidais é oxidada, restabelecendo o natural. A sua ação é instantânea, enquanto que o cloro necessita de elevadas doses e longo período de contato para se obter o mesmo efeito.

Vantagens e desvantagens da aplicação do ozônio nos efluentes industriais

As maiores vantagens resultantes da utilização do ozônio quando comparado com outros agentes oxidantes ou desinfetantes, são geração de um efluente com baixa toxicidade e alta concentração de oxigênio dissolvido.

A cloração pode produzir organoclorados com alta toxicidade e cloraminas que, além de tóxicas, têm potencial mutagênico, isto é, podem causar alterações no código genético, enquanto que o ozônio tem produção de matéria orgânica oxidada e oxigênio.

Recentemente foram desenvolvidos estudos em que o ozônio é aplicado no pré-tratamento de águas residuárias contendo especificamente corantes AZO – *Orange II*, (Liakou, S e outros, 1997) tendo demonstrado efeito sobre a biodegradabilidade desses compostos. A ozonização é capaz de converter rapidamente a molécula de corante com um concomitante reduzindo a DQO e gerando compostos intermediários biodegradáveis.

A desvantagem apresentada é o elevado custo do consumo de energia elétrica para a produção de ozônio. Segundo estudo realizado na empresa, cujo processo é contínuo, (Castilho, 1999), o consumo de oxigênio é da ordem de $75\ 000\ \text{Nm}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$, para a vazão de $70\ \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, representando um aumento considerável no consumo de energia elétrica da empresa.

Embora o processo apresente muitas vantagens técnicas, esta alternativa somente tornar-se-ia viável se fosse associada a um sistema de cogeração.

6.5.2. Biodegradação de corantes “azo” sob condições anóxicas

Estudos recentes têm demonstrado a possibilidade de biodegradar corantes do tipo “azo” sob condições anóxicas. Para tanto, Zizzi e Liyberatos (1996) realizaram bateladas de testes com a finalidade de elucidar o mecanismo de degradação de corante.

O *Bacillus subtilis* foi adaptado em meio de cultura artificial. Constatou-se que, sob condições anóxicas, estas bactérias, que não têm capacidade fermentativa, utilizam o nitrato ou nitrito como aceptor de elétron terminal, possibilitando a oxidação biológica de corantes “azo”. Este mecanismo é descrito sucintamente na figura 26.

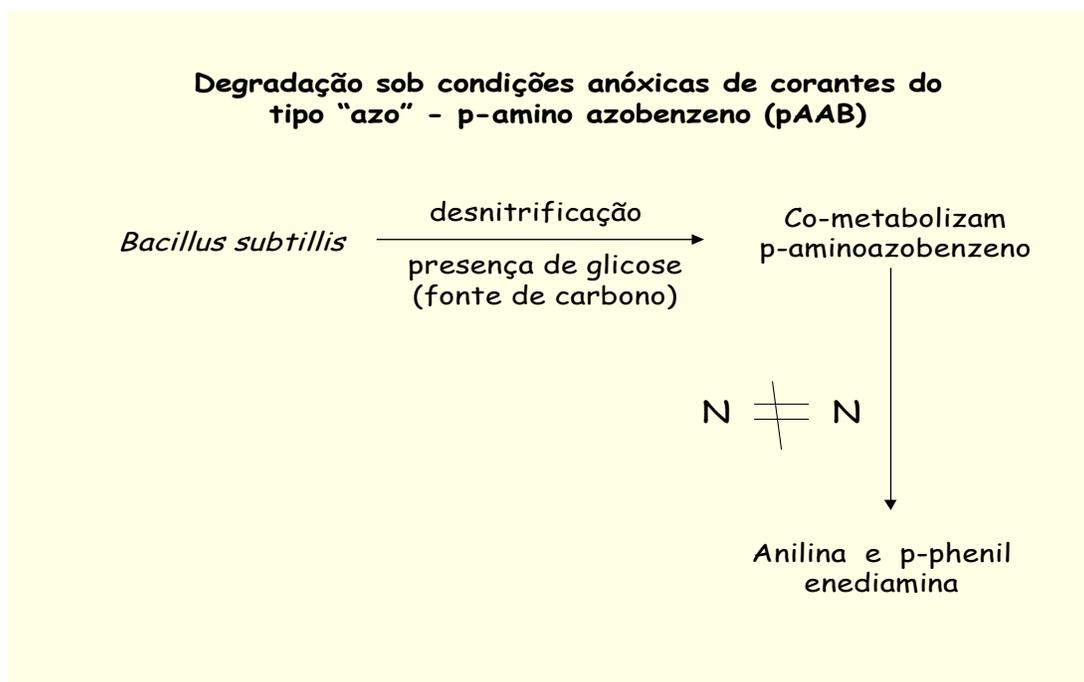


Figura 26 – Mecanismo de degradação biológica com o *Bacillus subtilis* sob condições anóxicas

Partindo desta hipótese, pode estar ocorrendo o mesmo no tanque anóxico da estação onde se tem observado remoção de cor ao agitar levemente o tanque, demonstrando a possibilidade de microrganismos estarem agindo na remoção da cor. Entretanto, é indicada uma avaliação mais elaborada.

6.5.3. Coagulação com cloreto férrico

Na Europa, o **cloreto férrico** vem sendo utilizado com sucesso em Estações de Tratamento de Efluentes como agente floculante e, por ser um metal pesado, tende a melhorar a sedimentação dos flocos resultando um sobrenadante de coloração reduzida.

Na empresa onde o processo é contínuo foram realizados alguns testes empregando cloreto férrico. O objetivo foi verificar a possibilidade de se remover cor através de uma melhora na floculação/decantação da massa biológica (flocos).

Inicialmente, utilizou-se como agente floculante o sulfato de alumínio, mas por este possuir um metal leve na sua estrutura molecular, os flocos formados tenderam a *flotar*, isto é, formar uma camada de flocos superficial, inviabilizando o emprego desse produto.

Realizou-se também o *Jar test* (teste de jarro), que consiste em testar *in vitro*, isto é sob condições contidas, diversas concentrações de cloreto férrico, submetendo a um determinado volume do efluente do reator e nas mesmas condições, com finalidade de detectar a concentração ideal ou mais eficaz na remoção de cor.

Procedimento do Teste

A metodologia consistiu na utilização de 6 (seis) cubas com capacidade de 1 litro cada, empregando-se o liquor do tanque de aeração como solução-teste. A solução aquosa utilizada de cloreto férrico a 40%, corresponde a 64,92 g.ℓ⁻¹ ou 0,06492 mg.ℓ⁻¹, de Cl₂Fe₃ (P.A.).

Uma das cubas, denominada branco, não sofreu adição desse produto, enquanto que para outras 5 cubas estabeleceu-se **concentrações de 64,9; 129,8; 194,7; 324,6 e 649,2 mg.ℓ⁻¹**, adicionando-se, respectivamente, **1,2, 3, 5 e 10 mL** de **cloreto férrico em 1ℓ do Liquor**, sob uma agitação rápida inicial durante 5 minutos, seguida de uma lenta por 30 minutos. A figura 27 mostra esquematicamente os procedimentos dos ensaios.

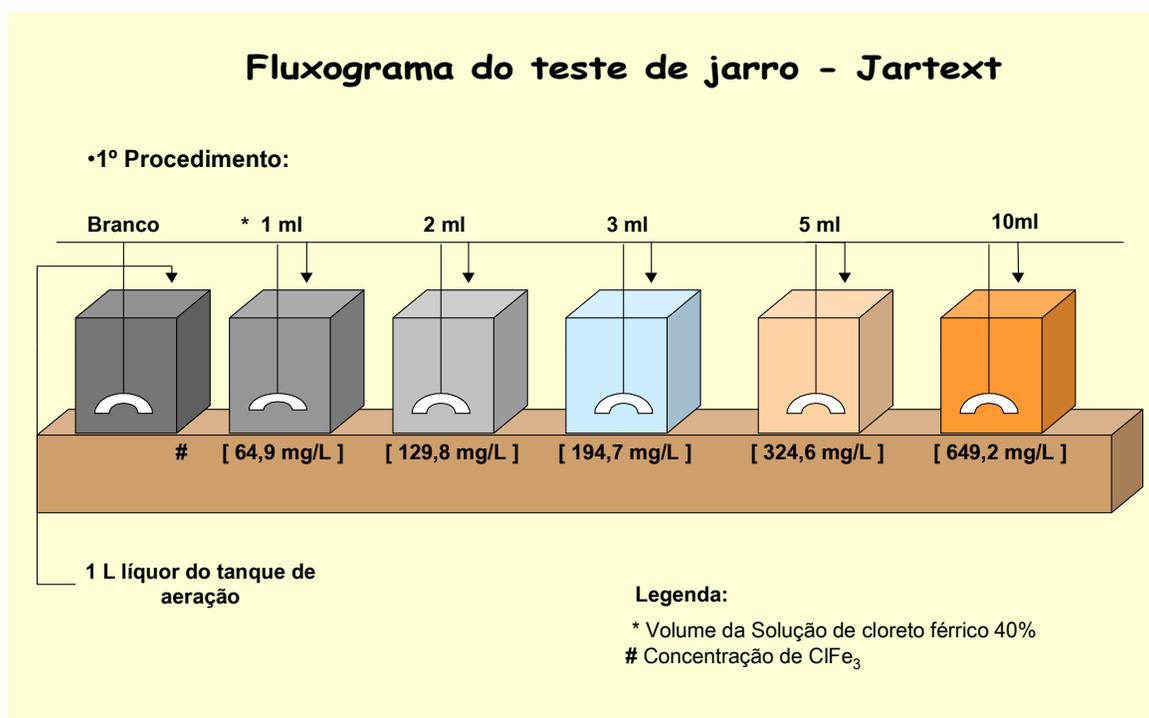


Figura 27 - Fluxograma relativo ao procedimento do primeiro teste para remoção de cor do efluente (tanque de aeração) da ETE

Análise dos Resultados

Imediatamente após a adição de cloreto férrico, observou-se extrema liberação de gás nas concentrações de **324,6** (mais elevado) e **629,2 mg .ℓ⁻¹**

Após 10 minutos de agitação lenta, foi retirada amostra da cuba contendo a **concentração 324,6 mg.ℓ⁻¹** e submetida a observação no microscópio. Verificou-se que todos os organismos presentes encontraram-se mortos.

A agitação lenta de 30 minutos e mais 15 minutos de descanso, posteriormente, propiciou a sedimentação e compactação mais acelerada do lodo na **concentração 64,92 mg.ℓ⁻¹** apresentando um sobrenadante com coloração alaranjada. O desprendimento de gás se mantém em todas as concentrações, a exceção do branco.

Após 1 hora de descanso, foram feitas as seguintes observações nas diversas concentrações:

- **Branco:** ausência na liberação de gás aparente, sobrenadante turvo; presença de microrganismos ativos;
- **Concentração 64,9 mg.ℓ⁻¹:** sobrenadante turvo, menor liberação da quantidade de gás; presença de microrganismos ativos;
- **Concentração 129,8 mg.ℓ⁻¹:** sobrenadante turvo e liberação de gás, velocidade de decantação mais lenta; presença de microrganismos ativos;
- **Concentração 194,7 mg.ℓ⁻¹:** sobrenadante visualmente mais limpo, boa remoção de cor, liberação de gás média e presença de microrganismos ativos;
- **Concentração 324,6 mg.ℓ⁻¹:** menor remoção de cor em termos visuais, maior liberação de gás, presença de microrganismos mortos;
- **Concentração 649,2 mg.ℓ⁻¹:** sobrenadante com coloração alaranjada, alta liberação de gases, porém menor que na anterior e presença de microrganismos mortos.

Na análise microscópica, após 50 minutos de repouso, observou-se na concentração de 194,7 mg.ℓ⁻¹ que os microrganismos se mostraram vivos, porém com pouca mobilidade. A partir da concentração de 324,6 mg.ℓ⁻¹, foi observado o efeito tóxico do cloreto férrico sobre os microrganismos, uma vez que estes se apresentaram praticamente imóveis.

Após 1 hora e 15 minutos de repouso, o sobrenadante foi filtrado com o intuito de se remover a turbidez e medir a cor. Empregou-se, para tanto, o aparelho modelo Hatch dr/2, ajustado a um comprimento de onda de 455 nm. O valor encontrado foi **24** unidades APHA Pt-Co (unidades de platina e cobalto) para a concentração de **194,7 mg.ℓ⁻¹** apresentando o melhor resultado visual. Dessa forma, demonstrou-se a possibilidade de se empregar cloreto férrico para remoção de cor no efluente.

Em seguida, o líquido retirado do tanque de aeração foi submetido a um novo teste, nas mesmas condições descritas anteriormente, estabelecendo concentrações mais restritas variando entre $194,7$ e $259,6 \text{ mg}\cdot\ell^{-1}$, buscando-se encontrar um valor mais acurado.

As concentrações estabelecidas foram: $194,7$; $207,7$; $227,2$; $246,6$ e $259,6 \text{ mg}\cdot\ell^{-1}$, onde foram adicionados, respectivamente, $3,0$; $3,2$; $3,5$; $3,8$ e $4,0 \text{ mL}$ de cloreto férrico em 1ℓ de Líquor, além da manutenção do branco. A figura 28 mostra esquematicamente o procedimento deste ensaio.

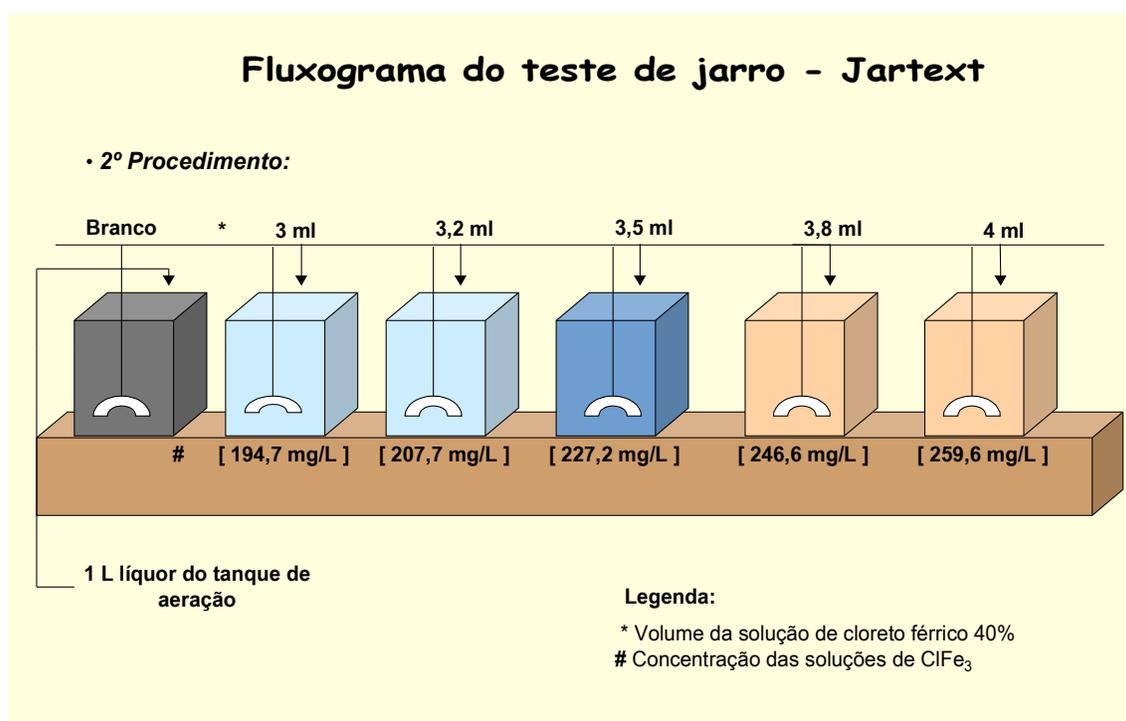


Figura 28 - Fluxograma relativo ao segundo procedimento para remoção de cor do efluente (tanque de aeração) da ETE

Imediatamente após a adição de cloreto férrico, observou-se grande liberação de gás, porém entre as concentrações de $194,7 \text{ mg}\cdot\ell^{-1}$ e $207,7 \text{ mg}\cdot\ell^{-1}$ a intensidade foi menor.

Ao término de 15 minutos de agitação lenta, foram coletadas amostras de três concentrações para observação ao microscópio, com os seguintes resultados:

- **Concentração 194,7 mg.ℓ⁻¹:** microrganismos com boa mobilidade e flocos compactados;
- **Concentração 207,7 mg.ℓ⁻¹:** microrganismos apresentam alguma mobilidade, porém há efeito letal para uma pequena parcela;
- **Concentração 259,6 mg.ℓ⁻¹:** efeito letal em 90% dos organismos.

Após os 30 minutos de agitação lenta e posteriormente 40 minutos de repouso, apenas uma das concentrações foi submetida a observação:

- **Concentração 227,2 mg.ℓ⁻¹:** organismos vivos com mobilidade lenta, flocos compactados e sobrepostos.

Após 45 minutos de repouso, os sobrenadantes foram filtrados e submetidos a leitura de cor sob as mesmas condições do teste anterior, encontrando-se os valores descritos na tabela 19:

Tabela 19 - Resultados de remoção de cor com adição de cloreto férrico no efluente do tanque de aeração referentes ao 2º teste

| Concentrações (mg.ℓ⁻¹) | Volume de ClFe₂ 40% adicionado (mℓ) | Valores obtidos para detecção de cor (Unid. Pt-Co) |
|--|---|---|
| Branco | - | 618 |
| 194,7 | 3,0 | 140 |
| 207 | 3,2 | 57 |
| 227,7 | 3,5 | 44 |
| 246,6 | 3,8 | 29 |
| 259,6 | 4,0 | 28 |

Unid (Pt – Co) = unidades de cor - platina - cobalto

Ao plotar esses dados em um gráfico conforme pode-se observar na figura 29, visualiza-se a porcentagem de remoção da cor do efluente do tanque de aeração, chegando a uma redução em torno de 90%.

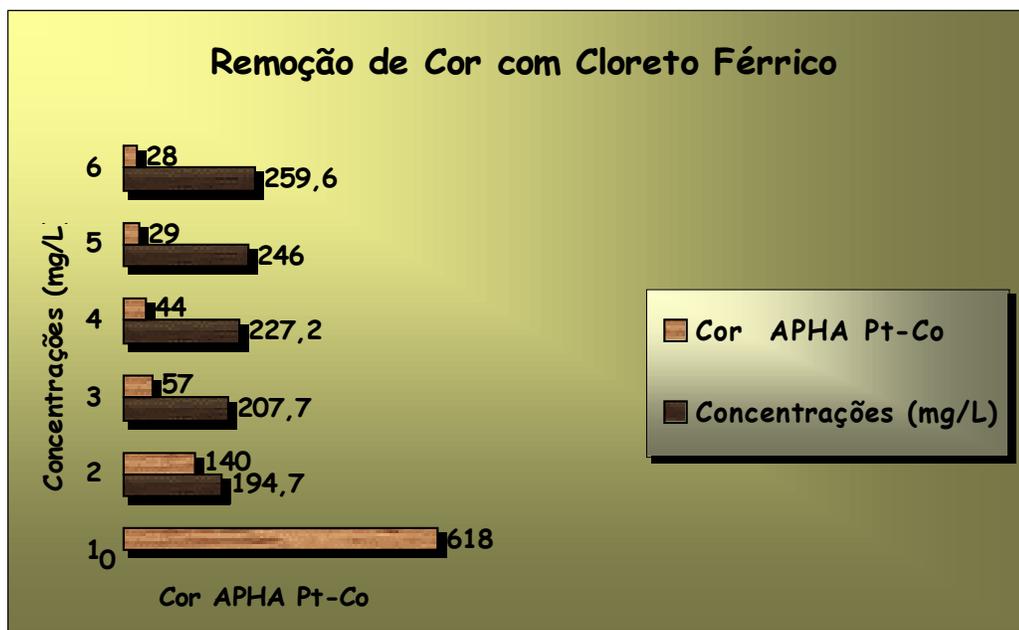


Figura 29 – Resultados relativos ao segundo teste para remoção de cor do efluente da ETE com adição de cloreto férrico no tanque de aeração.

Comparando-se os testes, constatou-se que a concentração de cloreto férrico adequada para flocular o efluente, e como consequência remover a cor, está em torno de $207 \text{ mg}\cdot\ell^{-1}$, oscilando em função da quantidade de resíduo disponível. Vale salientar que os testes foram efetuados com o líquido do reator e levou em consideração fatores biológicos de comportamento dos microrganismos, tais como mobilidade e letalidade, relacionados à concentração aplicada.

Face a todos os resultados obtidos, um novo teste foi realizado, estabelecendo-se concentrações mais restritas, entre $168,7 \text{ mg}\cdot\ell^{-1}$ e $220 \text{ mg}\cdot\ell^{-1}$. A metodologia obedeceu aos mesmos procedimentos anteriores. A figura 30 mostra o fluxograma deste terceiro teste.

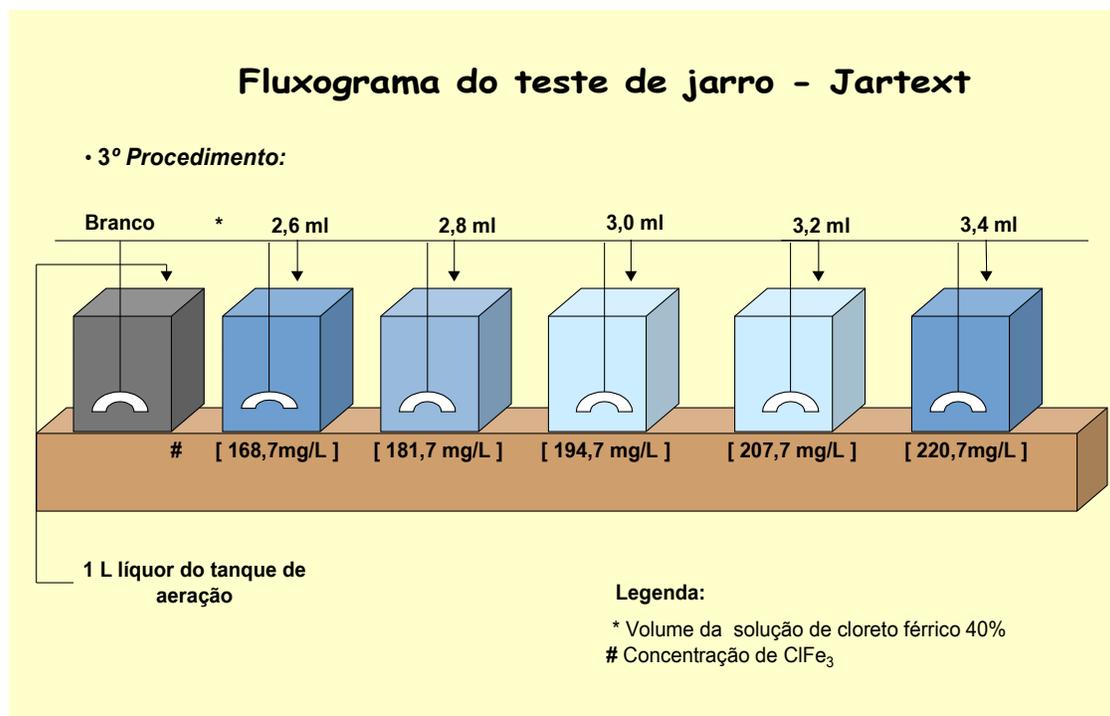


Figura 30 - Fluxograma relativo ao procedimento do terceiro teste para remoção de cor do efluente(tanque de aeração) da ETE.

Após 5 minutos de agitação rápida, 30 de agitação lenta e 45 minutos em repouso, estabeleceram-se os seguintes valores para detecção de cor como descrito na tabela 20.

Tabela 20 - Resultado de remoção de cor com adição de cloreto férrico no efluente do tanque de aeração referentes ao 3º teste

| Concentrações ($\text{mg} \cdot \ell^{-1}$) | Volume de ClFe_2 40% adicionado ($\text{m}\ell$) | Valores obtidos para detecção de cor (Unid. Pt-Co) |
|--|---|--|
| Branco | - | 702 |
| 168,7 | 2,6 | 26 |
| 181,7 | 2,8 | 21 |
| 194,7 | 3,0 | 16 |
| 207,7 | 3,2 | 17 |
| 220,7 | 3,4 | 24 |

Unid (Pt – Co) = unidades de cor - platina - cobalto

Com este resultado, confirma-se que a concentração ideal para remoção de cor está compreendida na faixa entre $194,7 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ e $207,7 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$, para um efluente com

9.340.unidades de cor e 4 100 $\text{mg}\cdot\ell^{-1}$ de sólidos em suspensão totais no tanque de aeração. Pode-se visualizar esta constatação na figura 31.

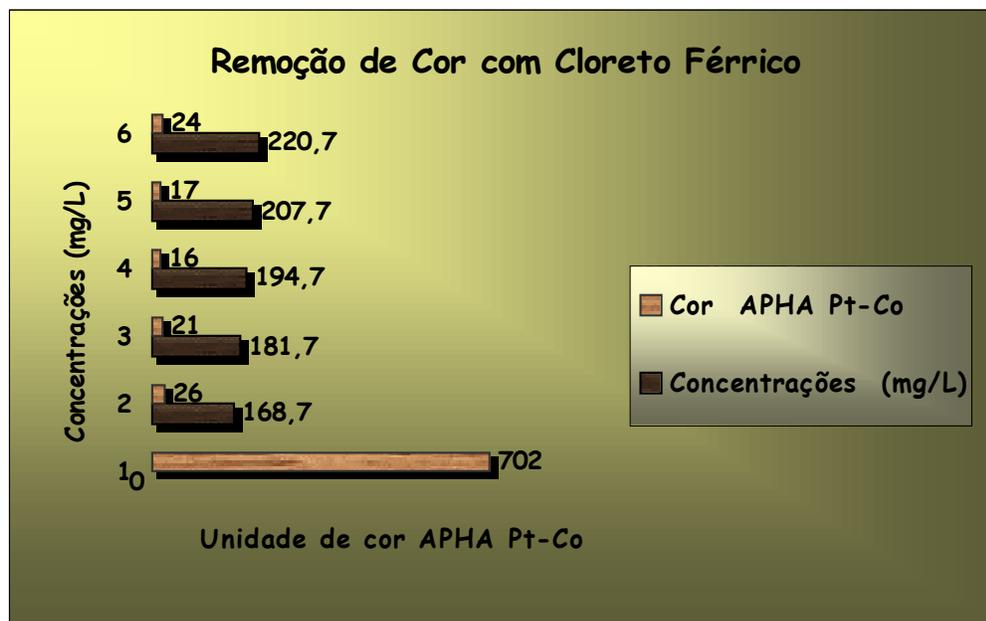


Figura 31– Resultados relativos ao terceiro teste para remoção de cor do efluente da ETE proveniente do tanque de aeração (concentrações mais restritas)

A eficiência da adição de cloreto férrico no sistema está relacionada à quantidade de sólidos em suspensão, portanto recomenda-se a sua aplicação no tanque de aeração. A tabela 21 mostra os parâmetros físico-químicos analisados durante o período de testes.

Tabela 21 - Parâmetros físico-químicos relativos aos períodos de testes

| Coleta | Tanque de Aeração | | | | | Efl.Bruto | Efl.tratado | | | |
|--------|-------------------|------|------|------|------|-----------|-------------|-------------------|-------|-------|
| | Data | pH | OD | SST | SSV | | | % Retorno de lodo | Cor | Cor |
| | 22/07/09 | 8,56 | 2,89 | 2983 | 2638 | 166 | 4720 | 671 | 85,78 | 94,54 |
| | 23/07/99 | 8,51 | 2,78 | 3060 | 2723 | 167 | 6680 | 642 | 90,39 | 93,23 |
| | 15/12/99 | 8,46 | 1,79 | 4100 | 3529 | 150 | 9340 | 732 | 92,16 | 94,78 |

OD = oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\ell^{-1}$); SST = sólidos em suspensão totais ($\text{mg}\cdot\ell^{-1}$); SSV = sólidos em suspensão voláteis ($\text{mg}\cdot\ell^{-1}$); Cor (unidades de cor Pt-Co)

A partir do conjunto de dados, conclui-se que a adição de cloreto férrico no tanque de aeração tem a capacidade de remover 97% da cor do efluente após ter passado pelo tanque anóxico. Com isso, o efluente final tratado poderá retornar a ETA – Estação de Tratamento de Água e ser reutilizado no processo industrial.

Entretanto, constatou-se, que a quantidade de lodo biológico gerada no sistema será maior e isto poderia acarretar elevação no custo para sua disposição adequada. Contudo, existem pesquisas sobre o uso do lodo têxtil na construção civil (CASTILHOS JR.,1999), realizada pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Os resultados apresentados mostram que o processo de solidificação dos resíduos têxteis constitui-se em uma alternativa tecnológica de qualidade para valorização deste material.

6.5.4. Coagulação com polímeros

O processo descrito a seguir encontra-se implantado em uma indústria do setor têxtil, cuja atividade principal é lavanderia e tingimento de tecido para confecção. O efluente gerado é tratado pelo processo físico-químico, para remoção de cor, associado ao processo biológico de lodos ativados.

O sistema inicia-se com um pré-tratamento composto por grade, peneira, escova e caixa de areia, na seqüência, o efluente segue para o tanque de equalização, onde o pH é corrigido para 7,0, posteriormente enviado para uma caixa de mistura, acoplada a um tanque para adição de sulfato de alumínio, resina e polieletrólitos, respectivamente.

As partículas que fornecem cor ao efluente são adsorvidas pelo polieletrólito, formando flocos. Estes são direcionados para o decantador denominado *físico-químico*, sendo que a massa sólida é então lançada em um tanque de mistura, onde se adiciona cal, para posterior passagem pelo filtro prensa.

O líquido sobrenadante é encaminhado para o tanque de aeração do sistema biológico por lodos ativados, abastecido de nutrientes oriundos dos efluentes doméstico e sanitário. Após a atividade dos microrganismos, o lodo é separado no decantador denominado "biológico", onde 20% do efluente final tratado é lançado ao corpo receptor e 80% reutilizado no processo industrial. Na figura 32 pode-se observar o fluxograma da ETE.

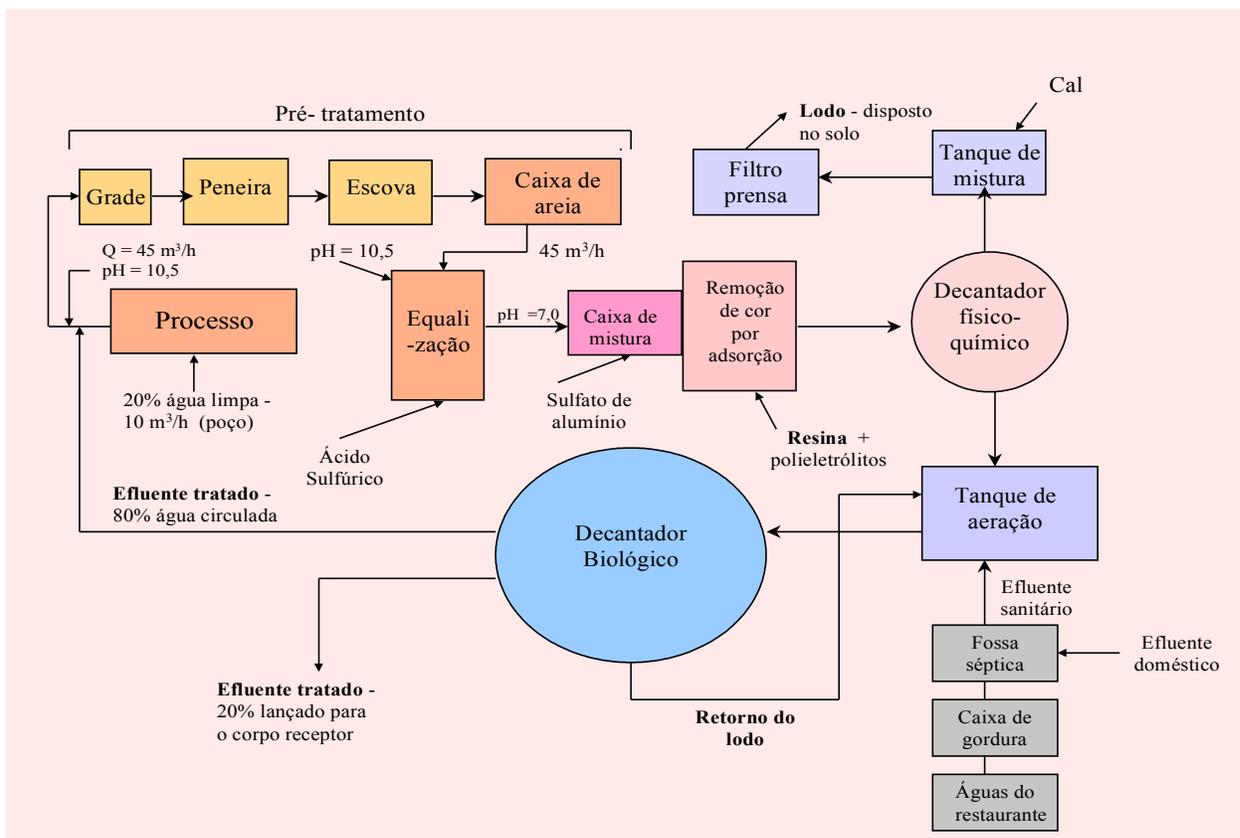


Figura 32 – Fluxograma da ETE da referida indústria com tratamento físico-químico (adição de polímeros) associado ao tratamento biológico por lodos ativados

Verifica-se que o sistema tem uma eficiência média na remoção de DBO e DQO de 82% e 77% respectivamente, como pode ser constatado através dos dados contidos na tabela 22, concedidos pela própria empresa.

Tabela 22 - Remoção da matéria orgânica na referida ETE em termos de concentração

| EFLUENTES | DBO (mg.ℓ ⁻¹) | DQO (mg.ℓ ⁻¹) |
|-----------|------------------------------|------------------------------|
| Entrada | 190 | 600 a 700 |
| Saída | 34 | 150 |

Nessa indústria, o custo com captação e tratamento de água foi reduzido em 86%, com um retorno de investimento de 2 anos; se tivessem optado somente pelo tratamento biológico, não haveria retorno de capital e o custo de operação seria muito mais elevado.

7. OPORTUNIDADES DE PREVENÇÃO À POLUIÇÃO

A seguir são apresentadas oportunidades de prevenção à poluição identificadas e passíveis de serem implementadas nos setores de engomagem, tinturaria, acabamento e ETE.

7.1. Setor de Engomagem:

Substituição de produtos

- Na empresa onde o processo é contínuo, a carga orgânica proveniente do setor de engomagem é de aproximadamente 330 kg DQO.dia⁻¹, que são enviados ao sistema de tratamento, representando cerca de 80% da carga total. Sugeriu-se a substituição da goma à base de fécula de amido por composto a base de CMA (carboxi-metil-amido) ou CMC (carboxi-metil-celulose), denominado *coumpond* que é passível de recuperação em torno de 80%, reduzindo a carga orgânica enviada à ETE, diminuindo os custos de tratamento.
- Reduzir o tamanho das cubas de aço inox das engomadeiras, de maneira a eliminar a sobra de goma a ser lançada na ETE.

7.2. Setor de Tingimento

Redução do consumo de água

- Utilizar equipamentos de lavagem sob pressão para limpeza dos diversos equipamentos, minimizando o consumo de água;
- Reutilizar águas de lavagem em *contra-corrente*, conforme mostra a figura 33

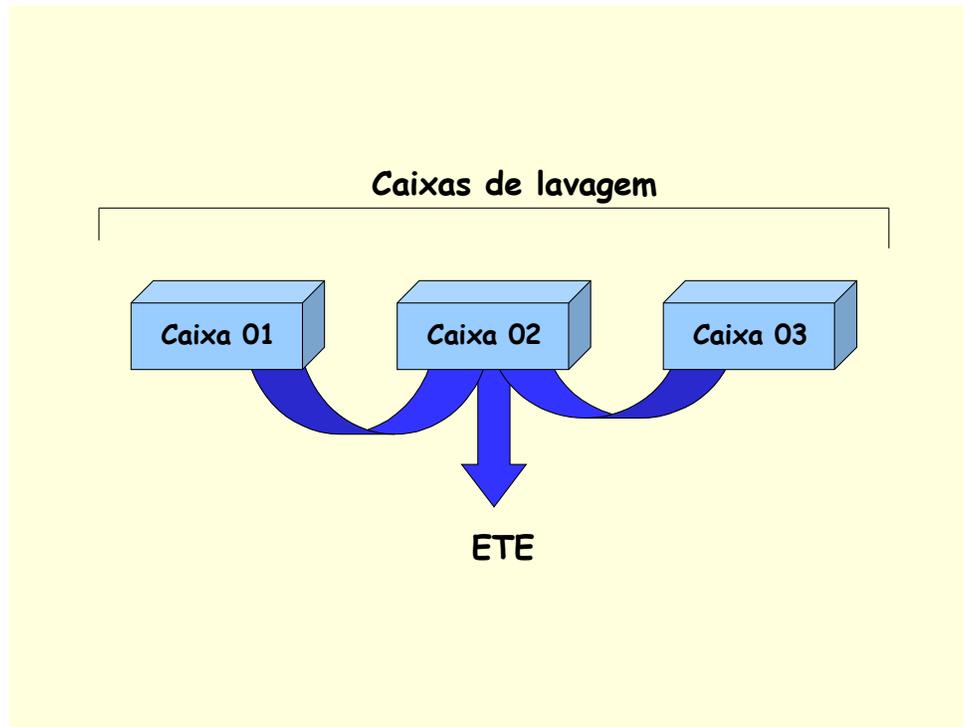


Figura 33 - Lavagem em contra-corrente.

- Na empresa com processo contínuo, considerando o consumo mensal de água do setor de tingimento em torno de $31,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, com as medidas de reutilização das águas sugeridas somente no processo de tingimento com o preto, ocorreria uma redução no consumo de $18,84 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
- Reaproveitar as águas de enxague dos tingimentos claros para as primeiras lavagens dos tingimentos escuros. Estima-se uma redução do consumo de água em torno de 135 m^3 por mês, efetuando-se 3 processos de tingimento por dia, no caso de beneficiamento têxtil descontínuo.

Substituição de produtos químicos

- Substituir os corantes remazois por corantes reativos, cuja taxa de fixação é maior, pois quanto menor esta taxa, maior a quantidade de corante desprendida no banho. Citam-se como exemplos os corantes bifuncionais e os que utilizam baixa concentração de sais;

- Substituir o anti-espumante *Albatex FFC*, normalmente empregado no processo de tingimento, o qual contém emulsificante alquilfenol, por um produto menos tóxico.
- Substituir a solução de *polisulfetos* utilizado como redutor do corante enxofre, por redutor orgânico a base de carboidratos, com finalidade de evitar a formação de gás sulfídrico na ETE.
- Substituir os ácidos orgânicos por ácido fosfórico que proporciona uma fonte de nutriente ao processo de tratamento biológico, evitando-se gastos desnecessários na aquisição de complementos nutricionais para a ETE. Medida sugerida à empresa com processo descontínuo.
- Sugere-se a substituição dos agentes complexantes a base de fósforo, tais como, EDTMP e DTPMP por NTA (ácido nitrilo acético), quando houver um excedente de fósforo chegando à ETE. O fósforo, quando em excesso, é eliminado no efluente final da estação podendo causar o fenômeno de eutrofização nos mananciais.

Segregação de produtos

- Separar a solução alcalina de soda, presente em elevada concentração no efluente da tinturaria, para ser reaproveitada em outro segmento industrial. Esta medida acarretará menor consumo de ácido sulfúrico, ou outro agente redutor, com redução de gastos, e a possibilidade de manter o pH dos tanques de aeração numa faixa ideal para a proliferação dos microrganismos. Esta medida foi sugerida e aplicada na empresa com processo descontínuo. A outra já possuía tal medida implementada.

Recuperação de soluções químicas

- Recuperar a soda utilizada no processo de caustificação e/ou mercerização através de evaporação ou ultrafiltração;

Recomposição de corantes

- Recompôr, sempre que possível, ou mesmo segregar todo e qualquer tipo de corante, para reutilização ou lançamento gradual na ETE, evitando-se elevação de carga, principalmente se medidas de redução no consumo de água forem adotadas.

7.3. Setor de Acabamento

Redução do consumo de água

- Reutilizar as águas de lavagem em *contra-corrente*.
- Na empresa que emprega processo contínuo, o consumo mensal de água do setor de acabamento é de $33,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, sendo que as caixas de lavagem são responsáveis por $7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ representando 21% do consumo mensal total do setor. Com a implementação das medidas sugeridas de lavagem em contra-corrente, a economia será de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, significando um consumo 72% menor no compartimento de lavagem. Em termos setoriais representará economia de 6% no consumo de água.
- Reutilizar a água descartada do processo de sanforização, para a lavagem em outras etapas do processo.
- Na empresa que emprega processo descontínuo, esta medida acarretaria uma redução no consumo de água estimada em 300 m^3 por mês.

Reutilização de soluções:

- Em ambas indústrias, nos tipos de processo de acabamento é empregada uma solução de amaciante, que é descartado ao término de cada operação. Possui elevada DQO, em torno de $50\,000 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$, representando uma carga de 2,5 kg DQO. Este amaciante

poderia ser reutilizado em nova receita, contribuindo para minimizar a carga enviada à ETE.

8. DISCUSSÃO

As medidas de prevenção à poluição descritas no presente trabalho, quando aplicadas, refletem de maneira positiva no desempenho das ETE's, otimizando seu funcionamento. Dentre essas medidas, algumas foram implantadas na empresa cujo processo é descontínuo, outras, ainda não foram implantadas, mas os ganhos econômicos e ambientais foram estimados.

□ Substituição da goma

A substituição da goma de amido natural por um composto denominado “compound” (amido modificado), resultou nos seguintes benefícios:

- redução de 55% da carga orgânica a ser tratada;
- redução de 50% do consumo de água;
- redução de 10% do intervalo de tempo utilizado com a operação das máquinas;
- redução em 60% no consumo de água durante os processos de tingimento com corantes sulfurosos;
- redução na quantidade de produtos químicos empregados na tinturaria e engomagem e
- recuperação em torno de 80% da goma após o processo de engomagem.

□ Lançamento gradual do efluente da engomagem

Para minimizar a variação da carga orgânica dos efluentes tratados na ETE, foram sugeridos o armazenamento da goma residual e também daquela resultante da lavagem das

cubas da goma, a fim de que esses efluentes possam ser lançados de forma gradual, evitando-se o desequilíbrio no sistema de tratamento.

□ **Substituição dos ácidos acético pelo fósforo**

Na indústria onde o processo é descontínuo, foi sugerida a substituição do ácido acético pelo ácido fosfórico, na etapa de tingimento. Esta medida ainda não foi implementada mas, como resultado, segundo cálculos realizados em 1998, geraria uma economia em torno de R\$ 2.000,00 por mês, além de fornecer fonte de nutrientes para o tratamento biológico.

□ **Segregação de efluentes**

A segregação da solução alcalina presente no efluente da tinturaria, resultou nos seguintes benefícios:

- redução de 95% (50 t.ano^{-1}) de ácido sulfúrico utilizado como agente redutor de pH no afluente da ETE;
- manutenção do pH no sistema de tratamento mais próxima do neutro, favorecendo o desenvolvimento dos microrganismos e,
- comercialização da soda caustica para o reaproveitamento em outro setor industrial.

□ **Substituição de íons redutores**

A substituição do sulfato pelo mobilidato ou outro similar, foi sugerida com finalidade de eliminar a formação de gás sulfídrico durante o processo de tratamento de efluentes. O sulfato em ambientes anaeróbio é reduzido à sulfeto até a formação de gás sulfídrico que, além de apresentar odores desagradáveis, é corrosivo e altamente tóxico.

Esta alternativa foi testada pela indústria que opera em sistema descontínuo e se mostrou eficaz, contudo sua utilização tornou-se inviável devido ao elevado custo.

□ **Utilização do efluente final da ETE**

A utilização do efluente final da ETE para lavagens do filtro-prensa, foi sugerida na empresa cujo processo é descontínuo, porém não foi implantada. Como resultado poderia gerar economia da ordem de $28 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$ de água subterrânea.

9. RECOMENDAÇÕES

Além da identificação de algumas oportunidades de prevenção à poluição, algumas medidas são sugeridas a título de recomendação com objetivo de reduzir o consumo de insumos, otimizar o funcionamento do sistema de tratamento de águas residuárias implantado e indicar diretrizes que poderão ser seguidas para melhor avaliar o potencial mutagênico detectado.

9.1. Setor de Engomagem

□ Alguns dos subprodutos das indústrias têxteis, tais como a soda cáustica e o amido utilizado na engomagem podem ser reutilizados em outros setores industriais, uma vez que algumas indústrias necessitam da soda para neutralizar seus efluentes. Na impossibilidade de utilizar o processo aeróbio para tratamento dos efluentes gerados no setor de engomagem, devido a alta concentração de amido, sugere-se o tratamento anaeróbio, pela sua capacidade de hidrolisar e degradar este componente.

9.2. Setores de Tingimento e Acabamento

- A retirada da soda cáustica do processo industrial poderá ser adotada por outras indústrias do setor têxtil, sendo que em alguns casos haverá a possibilidade do reaproveitamento dentro do próprio processo, após recuperação por sistema adequado.
- A substituição de ácidos orgânicos pelo ácido fosfórico somente poderá ser realizada por indústrias cujo efluente não contenha concentrações do referido ácido, pois elevadas

concentrações de fósforo não serão utilizadas pelos microrganismos no processo de tratamento, sendo eliminada do sistema e comprometendo a qualidade do corpo receptor.

- É de suma importância que se faça um planejamento de produção visando minimizar o impacto de carga adicional na ETE. Pois, se ocorrer um aumento da produção de tecido preto, por exemplo, em apenas 10%, a carga lançada na ETE será muito maior, podendo causar um desequilíbrio no sistema.
- Quando medidas de redução do consumo de água forem adotadas no processo, acarretará como consequência, o aumento na concentração das cargas. Nesta situação é importante implantar medidas de prevenção à poluição adicionais ou, em última instância, adotar um sistema de tratamento suplementar de forma a não causar impacto na ETE devido a uma elevação repentina de carga orgânica.
- Recompôr os corantes e reutilizá-los em nova receita, pois acarretarão elevação de carga na estação de tratamento. Entretanto, quando tecnicamente não for possível, recomenda-se segregá-lo e lançar de forma gradual à ETE.

9.3. Estação de Tratamento de Efluentes - ETE

- Embora, a legislação vigente não estabeleça padrões de emissão para DQO, grande parte desta carga não é removida biologicamente necessitando outro tipo de tratamento. Sugere-se a implantação de um pós- tratamento com o objetivo de minimizar a carga lançada ao corpo receptor.

Segundo dados fornecidos pela empresa, em que o processo é contínuo, cerca de 420 kgDQO e 67,2 kgDBO são lançados diariamente ao Rio Piracicaba. Não considerando a contribuição de outras fontes geradoras, esta carga não causa impacto no rio no ponto onde a empresa lança seu efluente, a montante da captação do município de Americana. Todavia, como a qualidade das águas do Rio Piracicaba vem demonstrando um processo de

degradação ao longo do tempo, sugere-se reduzir ao máximo a carga enviada ao corpo receptor pela empresa bem como a captação de água.

10. CONCLUSÕES

Estação de Tratamento de Efluentes - ETE

- A utilização do processo de ozonização para remoção de cor do efluente apresenta muitas vantagens técnicas, contudo a fonte de energia para sua produção é elétrica e faz-se necessário possuir fontes geradoras de calor que justifique investimento em um sistema de cogeração, que poderia gerar energia elétrica para atender a demanda e reduzir custos.
- O emprego do cloreto férrico, como coagulante para remoção de cor do efluente, somente poderá ser consolidado após a determinação do efeito crônico deste composto no processo de tratamento, bem como no lodo biológico. É importante ressaltar que os testes descritos neste trabalho são relativos ao efeito agudo, não sendo portanto conhecidos os efeitos após longo período de aplicação.
- A remoção de cor empregando polímeros pode trazer vantagens econômicas, desde que a relação custo-benefício, seja favorável à sua utilização. Na empresa visitada o custo com captação e tratamento de água era superior a quantidade de polímero gasto para reutilização do efluente dentro do processo produtivo.
- As bactérias filamentosas do *tipo 1851* isoladas no tanque anóxico da estação de tratamento onde o processo é contínuo, podem ser responsáveis pela remoção de cor verificada, ao agitar levemente o tanque. Estes microrganismos também podem estar agindo na clivagem das animas aromáticas. Entretanto, é indicada uma avaliação mais elaborada.

- A quantidade de nutrientes (N e P) observadas na bacia do rio Piracicaba, sugere que, grande parte desses compostos podem ter origem não somente dos esgotos domésticos, como também advindos das estações de tratamento dos efluentes têxteis, conforme se detectou nas referidas empresas.

- São captados do rio Piracicaba cerca de $100.000 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$ por uma única empresa do setor têxtil. Supondo que esta mesma empresa conseguisse reutilizar pelo menos 80% da água oriunda do efluente final tratado, $80.000 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$ deixariam de ser captados no corpo d'água.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Todos deveriam compreender que o homem
não é senhor, e sim mediador na Terra*

A poluição do meio ambiente e a desolação espiritual da humanidade são dois dos resultados da conquista destruidora da Natureza. O homem tende a esquecer que é fisicamente constituído com base na harmonia e na ordem da matéria do mundo natural e que suas funções mentais refletem a harmonia e os ritmos dessa mesma ordem. Quando ele destrói a Natureza, ele está exercendo um efeito destrutivo em sua própria mente e corpo.

Prosseguindo-se em intervenções levianas em um planeta já profundamente transformado, manipulado e poluído, podem trazer efeitos definitivamente irreversíveis.

O nível de poluição e de comprometimento a que chegaram nossos recursos hídricos ao final do milênio não é resultado apenas de ações empreendidas nos últimos cinquenta anos. A urbanização, a industrialização e a expansão econômica foram importantes fatores que aceleraram e expandiram um processo iniciado com a colonização do território brasileiro.

A atitude espoliativa com relação ao meio ambiente não é um fato do século XX. Desde a época colonial imperou uma postura que submetia a exploração de nossas riquezas naturais a interesses de expansão econômica. A crise atual demonstra que não passavam de anseios imediatistas, desprezando-se as conseqüências futuras dessas ações e obras.

A água representa um insumo fundamental para a produção e recurso estratégico para o desenvolvimento econômico, mas não é só isso. Ela é vital para manutenção do sistema ecológico e significa importante elemento de referência cultural da população assim como um bem social. A visão facciosa que imperou até bem pouco fez com que se priorizassem determinados usos sobre os demais: água para energia, para saneamento ou como meio de

escoamento de esgoto. Atualmente, se encara o abastecimento público como a utilização mais nobre que se pode ter da água. Só que para obtê-la, desrespeitam-se e se inviabilizam outros usos também ligados à sobrevivência da população. Ainda predomina uma visão tecnológica e nada ambiental. Desconsidera-se o seu valor ecológico, cultural e social assim como obscurece o fato primordial que é um recurso finito.

Esta monografia teve como objetivo mostrar que tecnologia associada à *boa vontade* dos cidadãos independente do lado que eles estejam, órgão fiscalizador, organizações não governamentais - ONGs, indústria ou sociedade civil podem contribuir e muito para melhoria da qualidade ambiental.

As tecnologias limpas, aqui tratadas como medidas de prevenção à poluição, tais como: segregação de efluentes, substituição de produtos químicos e melhor controle do lançamento dos efluentes a serem tratados, quando implementadas, gerarão economia no processo industrial e possibilitarão obter sistemas de tratamento mais seguros e eficientes.

O sucesso comprovado e a disseminação destas experiências podem contribuir acentuadamente para que um maior número de empreendimentos venham a adotar práticas similares, contribuindo sobremaneira para a redução das cargas lançadas aos sistemas de tratamento e, conseqüentemente, aos corpos receptores.

A implantação dessas medidas, não só gera ganhos econômicos e ambientais, conforme apresentado nesta monografia, mas, através da conscientização de seus benefícios, permite o desenvolvimento contínuo de novas idéias e ações voltadas a melhoria da qualidade ambiental.

Que fique claro que a adoção dessas medidas não devem atender tão somente aos padrões de emissão exigidos pela legislação ambiental, faz-se cada vez mais necessário a conscientização tanto do industrial quanto do técnico ambiental no sentido de ambos interiorizarem que somos parte integrante desse sistema. Tem-se que somar e não medir forças.

É tempo de fazer uma reavaliação completa de nossas perspectivas e posturas atuais, é essencial considerar que nada nesse planeta pode ser realmente duradouro, a menos que se consiga *restabelecer a paz e harmonia com a Natureza*. E cabe a cada um fazer a sua parte...

...Isto sabemos: a terra não pertence ao homem: o homem pertence à terra. Isto sabemos: todas as coisas estão ligadas como o sangue que une uma família. Há uma ligação em tudo.

O que ocorrer com a terra recairá sobre os filhos da terra. O homem não tramou o tecido da vida; ele é simplesmente um de seus fios. Tudo que fizer ao tecido, fará a si mesmo....

Carta do Chefe Seattle

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Mário et Mello e Castro, E. M., *Manual de Engenharia Têxtil*, Vol. II, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

CASTILHOS Jr., A.B. *et al*, *Uso de Lodo Têxtil na Construção Civil*, Saneamento Ambiental, nº 58, Ed. Especial, p. 32-39, 1999.

CASTILHO, M. A., *Testes de Ozonização Alpargatas Santista*.

CETESB. *Manual de Implementação de Testes de Toxicidade no Controle de Efluentes Líquidos*, CETESB, São Paulo, 1990.

CETESB. *Relatório Ambiental Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 1999*, CETESB, São Paulo, 2000.

CETESB. *Apostila do Treinamento Prático Especializado de Microbiologia de Lodos Ativados*, Novembro, 2000.

David Jenkins, Michael G. Richard and Glen T. Daigger “*Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*”, 1993 (2ª ed.).

EPA. *Manual Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry*, EPA. Ohio, 1996.300 p (EPA/625/R-96/004).

EVANS, Francis L., *Ozone in Water and Wastewater Treatment*.

FIGUEIREDO, M.G., Santos, M.S., Ferrari, L.R. *Estação de Tratamento de Efluentes das Indústrias Têxteis - Otimização através da Implantação de Medidas de Prevenção à Poluição*. Trabalho apresentado no XXVII Congresso Interamericano de Engenharia

Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, RS, Dezembro, 2000.

KNETCH, Rawson and Loewenths, *A Manual of Dyeing*. Charles Griffin Ed., London.

LYBERATOS, G. *et* Zizzi, U., "Azo-dye Biodegradation Under Anoxic Conditions," *Water Quality International*. Vol.34, nº 5, pp. 495, 1996.

SCHONBEREGER, Harald. *Pollution Prevention and Waste Reduction in the Textile Industry*. Gottenheim, Germany, 1999

SNOWDEN-SWAN, Lesley J., *Pollution Prevention in Textile Industries*. Richoland, Washington.

TUNAY, O. *et al*, "Color Removal From Textile Wastewaters," *Water Science & Technology*. Vol.34, nº 11, pp. 0-16, 1996.

ULLMANN'S, *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol A14, pp 149-156.