



TRABALHO DE CONCLUSÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Gustavo Echenique Silveira
00136186

Orientadora: Prof. Dra. Aline Schilling Cassini

Dezembro, 2010

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora deste trabalho, Prof. Dra. Aline Schilling Cassini, pela condução deste trabalho e incentivo no constante aprimoramento deste estudo, corrigindo rumos e auxiliando na busca de informações.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pelo ensino público de grande qualidade e pelas perspectivas de grandes experiências acadêmicas e pessoais muito importantes para a carreira de todos os estudantes.

Aos profissionais da fábrica da CELULOSE RIOGRANDENSE, em Guaíba, e aos profissionais da fábrica da GERDAU RIOGRANDENSE, em Sapucaia do Sul, pela disponibilidade e fornecimento de informações que enriqueceram muito este trabalho.

À minha namorada, Daiana, por sempre estar ao meu lado e proporcionar momentos de tanta alegria, paz e amor, mesmo que às vezes uma grande distância nos separe.

Aos meus pais, Luiz Eugênio e Clarisse, e a minha irmã, Cristina, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida, inclusive no tempo dedicado a este trabalho, não sendo possível aproveitar para estar com eles.

RESUMO

Em um mundo de preocupação com o meio ambiente, no presente trabalho analisaram-se três sistemas de tratamento de efluentes de indústrias diversos: a indústria sucroalcooleira, ou seja, de produção de etanol a partir de cana-de-açúcar, a indústria de produção de celulose e de papel, utilizando como base de análise a fábrica da CELULOSE RIOGRANDENSE, e a indústria siderúrgica, de produção de aço a partir de minério de ferro e de sucata metálica, utilizando a GERDAU RIOGRANDENSE como referência. As duas primeiras indústrias utilizam, além do tratamento físico de remoção de sólidos grosseiros, comum a todas as indústrias, o tratamento biológico através da degradação da matéria orgânica pela ação de microrganismos. Este tratamento é evidenciado pelo reator anaeróbio do tipo UASB e pelo processo aeróbio denominando UNOX, uma variante do processo de lodo ativado. A indústria siderúrgica utiliza um processo de reutilização da água através do tratamento térmico por torres de resfriamento para o efluente industrial, que não entra em contato com o processo, e do tratamento do efluente cinza, ou seja, que provém diretamente do processo. Além disso, foi realizada uma avaliação entre os sistemas, mostrando que a indústria siderúrgica reaproveita quase 90% da água que utiliza. Algumas soluções podem ser implantadas para diminuir o volume de água captada por cada indústria, como a reutilização da água de equipamentos, formando um circuito fechado com a ação das torres de resfriamento e a utilização de efluente tratado para finalidades que não necessitam uma assepsia completa da água utilizada, como por exemplo, a limpeza de locais administrativos e os fluidos de troca térmica para trocadores de calor que não entram em contato com o volume reacional. Ademais, novas tecnologias foram sugeridas para aperfeiçoar os sistemas de tratamento como a concentração e a estabilização do vinhoto tratado da indústria sucroalcooleira para ser utilizado como fertilizante sem afetar as propriedades do solo. O tratamento por osmose inversa é uma das alternativas estudadas para a concentração do vinhoto. Outras sugestões são a introdução de tratamentos anaeróbios antes do reator aeróbio de tecnologia UNOX e a inserção de etapas preliminares antes do processo de branqueamento, uma das etapas mais poluentes da indústria de celulose e de papel. Finalmente, este trabalho realizou um grande estudo sobre os sistemas de tratamento de efluentes, proporcionando uma visão abrangente do assunto e propondo soluções que ajudem no desenvolvimento sustentável e na preservação do meio ambiente.

ABSTRACT

In the present study, three industrial wastewater treatment systems were analyzed in the following industries: the industry of ethanol production from sugar cane, the industry of pulp and paper, using as reference the plant of CELULOSE RIOGRANDENSE, and the steel industry, using the plant of GERDAU RIOGRANDENSE as reference. The first two industries use the biological treatment through organic matter degradation by the action of microorganisms, in addition to the physical treatment, present in all the studied industries, which removes the wastewater solids components. The biological treatment is carried out by an anaerobic reactor (UASB) and an aerobic process called UNOX, an activated sludge process variation. The steel industry uses a process of water reuse through the heat treatment by cooling towers for the industrial effluent, which is the part of the effluent which is not in contact with the process, and for the “grey” effluent, which comes directly from the process. In addition, this study performed a comparative evaluation of the systems, showing that the steel industry recycles nearly 90% of the water that is used in the plant. Therefore, some solutions can be deployed to reduce the water volume consumed by each industry, such as the water reuse in some equipments, forming a loop by the action of the cooling towers, and the use of treated effluent for certain purposes that do not require a complete sterilization of the water, like, for example, washing water in administrative places and heat transfer fluids for heat exchangers that are not in contact with the reaction volume. Moreover, new technologies have been suggested to improve treatment systems such as concentration and stabilization of the treated vinasse of the ethanol industry to be used as soil fertilizer without affecting the soil properties. The reverse osmosis is one of the alternatives studied for concentrate the vinasse. Other suggestions are the introduction of anaerobic treatment before the UNOX aerobic reactor and the inclusion of preliminary steps before the bleaching process, the most problematic step of the pulp and paper industry. Finally, we conducted a major study on wastewater treatment systems, providing an interesting vision of the subject and proposing solutions that can be employed in a world where the sustainable development and the environmental preservation are so discussed.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Indústria sucroalcooleira	3
2.1.1 Caracterização do tipo de indústria	3
2.1.2 Caracterização do tipo de efluente	3
2.1.3 Etapas de tratamento	4
2.2 Indústria siderúrgica	11
2.2.1 Caracterização do tipo de indústria	11
2.2.2 Caracterização do tipo de efluente	14
2.2.3 Etapas de tratamento	15
2.3 Indústria de produção de celulose e de papel.....	17
2.3.1 Caracterização do tipo de indústria	17
2.3.2 Caracterização do tipo de efluente	19
2.3.3 Etapas de tratamento	19
3 COMPARAÇÃO E PERSPECTIVAS	23
3.1 Estudos recentes de novas tecnologias	23
3.1.1 Concentração e estabilização do vinhoto da indústria sucroalcooleira.....	23
3.1.2 Etapa de pré-branqueamento na indústria de celulose e papel.....	25
3.1.3 Tratamento anaeróbio antes do reator de tecnologia UNOX.....	25
3.2 Reaproveitamento de efluente	26
3.2.1 Utilização do efluente tratado	26
3.2.2 Utilização de torres de resfriamento para reaproveitamento da água	27
4 CONCLUSÃO.....	29
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
6 ANEXOS.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do tratamento de efluentes da indústria sucroalcooleira	4
Figura 2 - Esquema de um reator biológico anaeróbico do tipo UASB.	8
Figura 3 - Desenho esquemático do tratamento aeróbico por lodo ativado.....	9
Figura 4 - Fluxograma de Processo da Indústria Siderúrgica	13
Figura 5 - Fluxograma de Processo do Tratamento do Efluente Industrial da Indústria Siderúrgica	15
Figura 6 - Fluxograma de Processo do Tratamento do Efluente Cinza da Indústria Siderúrgica	17
Figura 7 - Fluxograma do Processo de Produção de Celulose e de Papel	18
Figura 8 - Fluxograma do Tratamento de Efluentes da Indústria de Celulose e de Papel	20

1 INTRODUÇÃO

Um assunto bastante abordado na atualidade é a preocupação com o meio ambiente. Nos últimos tempos, as empresas passaram a dar uma maior importância às consequências de seus processos produtivos, ou seja, à garantia de que seus efluentes líquidos, seus resíduos sólidos e emissões atmosféricas não prejudiquem a qualidade dos ecossistemas ao seu redor. Com isso, grandes investimentos tiveram que ser feitos, transformando uma necessidade, que antes era classificada como um transtorno, em uma possibilidade de retorno financeiro, melhorando a imagem da empresa perante a sociedade.

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005, estabelece que “Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedçam as condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis”.

A partir disso, um dos investimentos que se tornou indispensável é a implantação do sistema de tratamento de efluentes líquidos, cuja obrigatoriedade determinou um custo adicional para as companhias. Ademais, o tratamento se tornou também uma possibilidade de reaproveitamento dos seus efluentes e subprodutos gerados, para que se possa utilizá-los ou comercializá-los com empresas parceiras e, assim, garantir mais uma fonte de renda para a companhia.

O aumento da eficiência do processo é vital para o funcionamento adequado do tratamento de efluentes, visto que os processos produtivos estão em constante transformação, visando o aumento da produtividade. Efluentes gerados também sofrem mudanças consideráveis que podem afetar significativamente as instalações e equipamentos que estejam defasados.

Finalmente, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma visão aprofundada e comparativa de sistemas de tratamento de efluentes de três diferentes tipos de indústrias, cujos processos produtivos geram efluentes diversos, necessitando, portanto, de diferentes operações unitárias para seu tratamento, perspectivas de novos sistemas e da otimização de alguns dos processos estudados.

Para tanto, o presente trabalho apresenta, primeiramente, uma caracterização do tipo de indústria, do processo produtivo envolvido e do tipo de efluente gerado por esta indústria. Posteriormente, uma descrição das etapas do sistema de tratamento de efluentes utilizado por cada tipo de indústria é também apresentada, demonstrando sua importância, suas virtudes e seus problemas. Os três tipos de indústria abordados neste trabalho e apresentados nos capítulos seguintes são:

- Capítulo 2.1: indústria sucroalcooleira, onde ocorre o processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar;
- Capítulo 2.2: indústria siderúrgica, onde ocorre o processo de produção de aço a partir de sucata metálica;
- Capítulo 2.3: indústria de celulose e papel, onde ocorre o processo de produção de celulose e de papel a partir de florestas naturais.

No Capítulo 3, é feita uma avaliação comparativa dos três sistemas, identificando os aspectos positivos e negativos de cada um e estudando algumas possibilidades de aprimoramento destes processos, focando em um assunto bastante recorrente: o reaproveitamento de efluentes tratados para determinados fins. As conclusões do trabalho são apresentadas no Capítulo 4.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústria sucroalcooleira

2.1.1 Caracterização do tipo de indústria

A relação da indústria alcooleira com o plantio de cana-de-açúcar está intimamente ligada ao Brasil desde o período do seu descobrimento. A grande área territorial e os diversos tipos de clima evidenciados em nosso país facilitam a cultura de diversos tipos de matéria prima, entre elas, a cana-de-açúcar. A indústria de etanol visa, principalmente, à utilização da cana-de-açúcar como combustível. Com o avanço do petróleo, entretanto, a produção de álcool foi se tornando cada vez menos prioritária. O início dos conflitos mundiais e os sucessivos aumentos de preço do barril de petróleo, por sua vez, incentivaram a criação do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), em novembro de 1975, o qual foi responsável pelo desenvolvimento do setor.

2.1.2 Caracterização do tipo de efluente

Um importante setor de toda indústria sucroalcooleira é o tratamento e a destinação dos efluentes líquidos e sólidos gerados por todos os setores da usina, desde os mais simples como os efluentes ditos administrativos (banheiros, refeitório, entre outros) até os mais complexos, como aqueles gerados no processo.

O principal subproduto da indústria sucroalcooleira de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é o vinhoto, também conhecido como vinhaça. Isso se deve ao elevado volume gerado deste subproduto e ao seu potencial poluidor. O vinhoto é produzido a partir da destilação e fermentação da cana no processo de fabricação do álcool e na cristalização do caldo de cana para fabricação de açúcar (LUDOVICE, 1997).

Apesar de apresentar algumas variações em sua composição, em geral, a vinhaça é rica em nutrientes minerais como potássio, cálcio e enxofre, além de apresentar elevado teor de matéria orgânica (DBO de 20.000 a 35.000 mg/L), com pH variando de 3,7 a 5,0 (LUDOVICE, 1997). Sua elevada DBO pode contaminar águas subterrâneas e mananciais

superficiais, devido à percolação ou arraste de altas concentrações de amônia, magnésio, alumínio, ferro, manganês, cloreto e matéria orgânica ou alterar as características do solo (SZMRECSÁNYI, 1994; HASSUDA, REBOUÇAS e CUNHA, 1989).

2.1.3 Etapas de tratamento

O tratamento de efluentes da indústria sucroalcooleira apresenta uma etapa de tratamento biológico bastante complexa que visa à degradação da matéria orgânica. O tratamento pode ser dividido em duas etapas principais:

- Tratamento Preliminar: esta etapa visa ao recolhimento do bagaço de cana residual da extração que possa se encontrar no efluente. Ela é composta, geralmente por etapas: gradeamento, desarenador e calha Parshall.
- Tratamento Biológico: nesta etapa, o efluente líquido recebe tratamentos anaeróbio e aeróbio com a utilização de microrganismos visando à degradação da matéria orgânica, diminuindo a carga orgânica e se tornando viável o lançamento do efluente no corpo receptor. Compõem esta fase do tratamento a equalização e os tratamentos anaeróbio e aeróbio.

Um fluxograma do processo de tratamento de efluentes é apresentado na Figura 1:

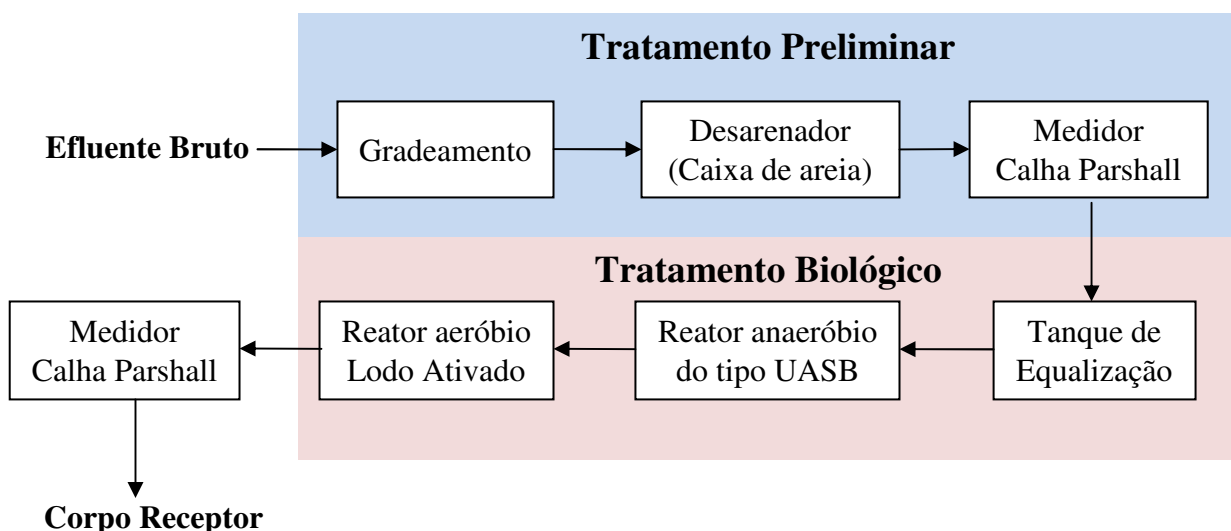


Figura 1 - Fluxograma do tratamento de efluentes da indústria sucroalcooleira.

A seguir, serão detalhadas todas as etapas do sistema de tratamento dos efluentes da indústria de produção de etanol.

1) Tratamento preliminar

a) Gradeamento

Os objetivos principais do gradeamento são a separação de materiais grosseiros em suspensão e a proteção das bombas e tubulações de transporte dos efluentes. As grades podem ser de ferro ou de aço, dependendo da ação corrosiva do efluente e o espaçamento entre as barras varia entre 0,5 e 2 cm. Existem 2 tipos de grades mais comuns:

- grades simples: são utilizadas quando o volume de sólidos a ser removido não é muito grande e a limpeza é manual.
- grades mecanizadas: os detritos são removidos por meio de um rastelo, que se desloca por trilhos e a limpeza é mecânica.

b) Desarenador

Juntamente com os sólidos grosseiros, podem existir, no esgoto, partículas de areia e terra, principalmente nos períodos chuvosos, que necessitam ser separados. A importância dessa remoção é evitar que essas partículas agridas as estruturas e causem entupimentos nas tubulações e a interferência negativa nos processos biológicos.

Com base nessas premissas, após o gradeamento, existe um desarenador, formado por dois canais paralelos, de maneira que as partículas sedimentam em seu interior durante o percurso. Os dois canais operam independentemente, de tal modo que, enquanto um trabalha, o outro recebe manutenção e limpeza.

c) Calha Parshall

As calhas Parshall são medidores de vazão que, através de estrangulamento e ressaltos, estabelecem, para uma determinada seção vertical a montante, uma relação entre a vazão do

fluxo e a lâmina d'água naquela região. Elas possuem pouca perda de carga e são bastante precisas na leitura das vazões.

2) Tanque de equalização

Após passar pelas etapas anteriores, o efluente segue para um tanque de equalização, onde é completamente homogeneizado. A sua implantação se justifica por diversas razões:

- minimização de problemas operacionais causados pela variação das características do efluente;
- melhora no tratamento biológico;
- minimização de choques causados por sobrecargas no sistema;
- diluição de substâncias inibidoras;
- estabilização do pH;
- melhora da qualidade final do efluente tratado.

Desta forma, o efluente se torna adequado para o tratamento biológico.

3) Tratamento biológico

A característica principal do efluente da indústria de produção de etanol é a alta carga orgânica, variando de 30.000 a 40.000 mg/l. Para diminuir esta carga orgânica e propiciar o lançamento do efluente no corpo receptor, são utilizados tratamentos biológicos que degradam a matéria orgânica através da ação de microrganismos (SABBAG, RODRIGUES e PICCHI, 2006).

O tratamento biológico é constituído pela associação do tratamento anaeróbio e posterior tratamento aeróbio, através de biodigestores (tipo UASB) e tratamento por lodo ativado, respectivamente.

As principais vantagens do arranjo biológico adotado são:

- necessidade de pouco espaço de construção;
- simplicidade operacional;
- baixo custo de implantação e operação;

- baixo impacto em ambientes urbanos;
- baixa geração de lodo;
- geração de biogás.

a) Tratamento anaeróbio – biodigestor UASB

Neste tipo de tratamento, ocorre a biodigestão anaeróbia, que consiste na fermentação de resíduos com matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio, transformando-os em compostos mais simples e degradáveis pelas bactérias e em biogás, que é composto por, aproximadamente, 60% de metano (CH₄) e 40% de gás carbônico (CO₂).

Este processo ocorre em um biodigestor do tipo fluxo ascendente com leito de lodo (UASB), cuja representação esquemática se encontra na Figura 2.

Estes biodigestores são dotados de um separador trifásico que possibilita a separação do efluente líquido do biogás e do lodo biológico que contém os microrganismos. O líquido, ao passar pelo separador, atinge as calhas dentadas e encaminha-se para a próxima etapa do tratamento. O lodo, por ser mais denso, encaminha-se para o fundo do reator e o biogás é coletado pelo sistema de cobertura instalado na superfície dos reatores.

Os parâmetros que controlam o processo de biodigestão anaeróbia são: o tempo de retenção hidráulica, a carga orgânica e a remoção de matéria orgânica. O tempo de retenção hidráulica é definido pela relação $TRH = V / Q$ onde:

TRH = tempo de retenção hidráulica, em dias,

V = volume do reator, m³,

Q = vazão hidráulica, m³/dia.

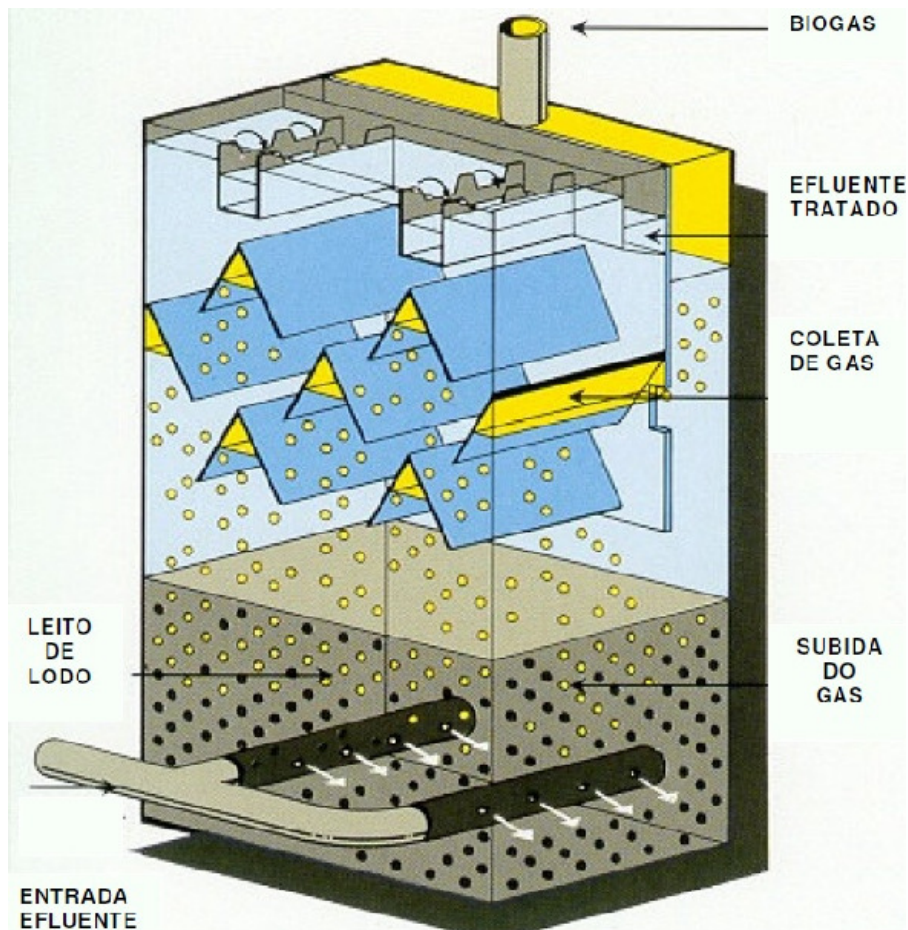


Figura 2 - Esquema de um reator biológico anaeróbico do tipo UASB (LAMO e DIAS, 2000).

Quanto menor o tempo de retenção hidráulica necessário pelo sistema para tratar o efluente, mais interessante para o processo, pois isto significa a necessidade de menores volumes de equipamento.

A carga orgânica e a remoção de matéria orgânica são, em conjunto, os parâmetros mais adequados para se avaliar o desempenho de um sistema. A quantidade de matéria orgânica de um substrato é normalmente quantificada pelo valor de sua demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ou sua demanda química de oxigênio (DQO), que determinam o oxigênio necessário para a degradação biológica e química, respectivamente, da matéria orgânica presente no substrato.

Para efeito de legislação, os órgãos de meio ambiente utilizam normalmente a determinação de DBO; em relação ao acompanhamento de operação, por ser uma análise mais

rápida, usa-se a DQO. Ambas são expressas em kg DQO (ou DBO)/m³ dia. A remoção de matéria orgânica é a diferença no teor de DQO ou DBO antes e após o tratamento.

Outro parâmetro de interesse é a produção de biogás, que varia geralmente entre 8 a 10 litros de biogás por litro de vinhoto em função de sua origem e da eficiência de produção do sistema anaeróbio (SABBAG, RODRIGUES e PICCHI, 2006).

b) Tratamento aeróbio – Lodo Ativado

Uma das desvantagens do tratamento anaeróbio frente ao aeróbio é sua necessidade de tratamento posterior, uma vez que de 10 a 15 % da matéria orgânica original do efluente permanece nele, mesmo após o tratamento anaeróbio.

Para garantir uma qualidade maior na remoção desta matéria orgânica que não foi degradada pelos microrganismos anaeróbios, é preciso um tratamento com a presença de microrganismos que sobrevivam em ambientes com oxigênio. Por isso, o mais comum é a utilização do tratamento por lodo ativado.

O tratamento por lodo ativado, apresentado esquematicamente na Figura 3, é um processo de tratamento biológico de efluentes destinado à remoção de poluentes orgânicos biodegradáveis. O processo baseia-se na oxidação da matéria orgânica em reatores biológicos seguido de decantação. O lodo decantado, ou lodo ativado, retorna ao reator biológico onde, em fase endógena, é misturado ao efluente bruto rico em poluentes orgânicos, aumentando assim a eficiência do processo.

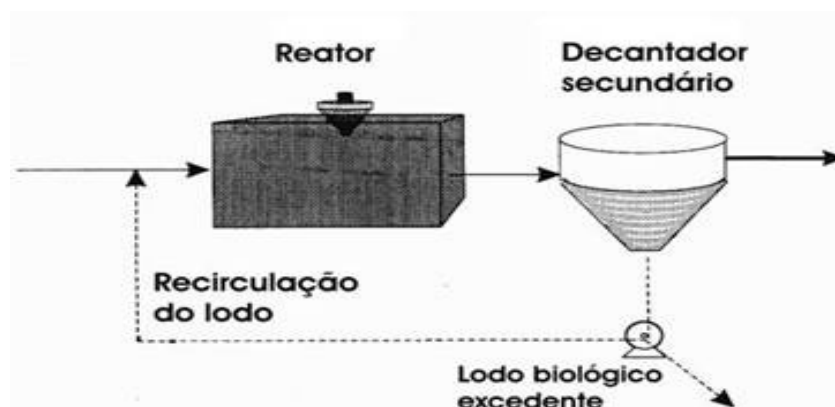


Figura 3 - Desenho esquemático do tratamento aeróbio por lodo ativado (VON SPERLING, 2007).

O sistema representado na Figura 3 é composto por tanque de aeração (reator biológico e sistema de aeração) e decantador secundário. O excesso de lodo ativado, produzido no processo, é enviado para uma etapa de estabilização complementar (tratamento do lodo), por conter ainda um elevado teor de matéria orgânica na sua composição.

O processo de lodos ativados consiste em se promover o desenvolvimento de uma cultura microbiológica na forma de flocos (lodos ativados) em um tanque de aeração, que é alimentada pela carga orgânica contida no efluente a tratar.

Neste tanque, a aeração tem por finalidade proporcionar oxigênio aos microrganismos, evitar a deposição dos flocos bacterianos no fundo do reator e os misturar homogêneo ao efluente. Esta mistura é denominada "licor". O oxigênio necessário ao crescimento biológico é introduzido no licor através de um sistema de aeração mecânica, por ar comprimido, ou ainda, pela introdução de oxigênio puro.

O licor é enviado continuamente a um decantador secundário, destinado a separar o efluente tratado do lodo. O lodo é recirculado ao tanque de aeração a fim de manter a concentração de microrganismos dentro de certa proporção em relação à carga orgânica afluyente.

O sobrenadante do decantador é o efluente tratado, pronto para descarte no corpo receptor. O excesso de lodo, decorrente do crescimento biológico, é extraído do sistema sempre que a concentração do licor ultrapassar os valores de projeto. Este lodo pode ser espessado e desidratado, tendo como aplicação o uso em agricultura.

Neste sistema, seus tanques e acessórios têm as seguintes funções:

- tanque de aeração: promover o desenvolvimento de uma colônia microbiológica (biomassa), a qual consumirá a matéria orgânica do efluente; a quantidade de biomassa é expressa como SSTA (sólidos em suspensão no tanque de aeração);
- aeradores, compressores ou sistema de oxigênio puro: fornecer oxigênio, mantendo no mesmo uma concentração adequada (1,5 - 2,0 mg/l) de oxigênio dissolvido, necessário ao metabolismo dos microrganismos aeróbicos;

- decantador secundário: separar a biomassa que consumiu a matéria orgânica do efluente, a qual se sedimenta no fundo do decantador, permitindo que o sobrenadante seja descartado como efluente tratado, já com sua carga orgânica reduzida e isento de biomassa;
- bombas de recirculação: retornar a biomassa ao tanque de aeração, para que a mesma continue sua ação depuradora; o crescimento da biomassa é contínuo, ocorrendo a necessidade de um descarte periódico de quantidades definidas da mesma.

2.2 Indústria siderúrgica

A poluição do solo e da água por metais pesados é um importante problema ambiental, devido aos potenciais danos causados à saúde. Um dos exemplos de indústria que enfrenta esse problema é a siderurgia, o segmento da metalurgia dedicado à fabricação e ao tratamento do aço. Desta forma, este tipo de indústria é de fundamental interesse no estudo deste trabalho, identificando as características do tratamento de efluentes e suas perspectivas.

2.2.1 Caracterização do tipo de indústria

Após a Revolução Industrial, o papel da indústria do aço no desenvolvimento mundial tem sido cada vez mais importante, acompanhando as inovações tecnológicas. Um dos efeitos do aumento de produção de aço bruto em escala mundial é evidenciado no crescente consumo de energia, de sucatas e de recursos naturais como minérios, carvão, calcários, água, entre outros e a geração de resíduos industriais, principalmente escórias, lamas, emissão de materiais particulados e gás carbônico (TEIXEIRA, SZELIGA e FERNANDES, 2007).

Os principais países produtores de aço são China, Japão, EUA, Rússia, Alemanha, Coreia do Sul, Brasil, Ucrânia, Índia, Itália, entre outros. Além disso, as maiores jazidas de ferro do mundo localizam-se na Austrália, Brasil, Estados Unidos, Rússia, França e Inglaterra. No Brasil as maiores jazidas se encontram em Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Pará, Amapá e Bahia (ROMEIRO, 1997).

A reestruturação da siderurgia brasileira ocorreu intensamente na década de 90 com a privatização e a abertura da economia. Neste período o setor se estruturou, sendo que sete grupos principais passaram a dominar a produção nacional de aço ao final de 1999 (SILVA, 2002).

O processo de siderurgia pode ser feito em dois tipos de usinas: integradas, onde é utilizado o minério de ferro retirado de minas e semi-integrada, que utiliza sucata e o ferro-gusa:

- Usinas Integradas: operam as três fases básicas de produção: redução, refino e laminação. Estas usinas constituem o processo completo de produção do aço a partir do minério de ferro.
- Usinas Semi-integradas: operam apenas duas fases das três fases: refino e laminação. Estas usinas partem do ferro-gusa ou de sucata metálica adquirida de terceiros para transformá-los em aço.

Um fluxograma completo do processo, baseado na GERDAU RIOGRANDENSE, é mostrado na Figura 4.

No processo, diversos tipos de materiais são utilizados, sendo os mais comuns descritos a seguir (ROMEIRO, 1997).

- Ferro-gusa: também chamado de ferro bruto, é duro e quebradiço, com baixa resistência mecânica, devido ao excesso de carbono. Pode ser empregado em diferentes confecções de peças que são submetidas a pequenos esforços. O ferro gusa é obtido a partir da fusão de minério de ferro em altos fornos;
- Ferro fundido: é uma liga de ferro-carbono cujo teor de carbono se situa acima de 2%, aproximadamente. Com este produto são feitas peças geralmente chamadas peças de ferro-fundido como, por exemplo, carcaça de motor, panelas (caçarolas), fogão à lenha, lareiras, etc.;



Figura 4 - Fluxograma de Processo da Indústria Siderúrgica (GERDAU, 2007).

- Aço Comum (Aço Carbono): é uma liga de ferro-carbono, contendo geralmente de 0,008 a 2% de carbono, além de certos elementos resultantes do processo de fabricação como manganês (Mn), silício (Si), fósforo (P) e enxofre (S);
- Aços Especiais (Aço-liga): são aços que contêm outros metais que lhe foram adicionados intencionalmente com a finalidade de dar certas propriedades.

2.2.2 Caracterização do tipo de efluente

Na siderurgia, a água é um elemento de vital importância. Os grandes problemas referentes ao uso da água são sua distribuição variável e sua má utilização. A disponibilidade de água sempre foi um fator fundamental para o desenvolvimento da siderurgia, principalmente na geração de energia para movimentação das engrenagens, motores, dispositivos mecânicos, entre outros. Atualmente, a energia elétrica é gerada internamente ou adquirida do mercado de energia.

Porém, a água ainda possui papel fundamental, sendo utilizada em larga escala como fluido de refrigeração e transporte de energia dos equipamentos e produtos, em sistemas de controle ambiental e no tratamento superficial do aço em diversos setores. O processo é realizado em circuito fechado, o que permite o tratamento e o reaproveitamento, reduzindo a necessidade de captação.

Atualmente, a taxa média de recirculação na indústria siderúrgica está acima de 89% e o consumo médio situa-se na faixa de 200 m³ de água por tonelada de aço produzido (TEIXEIRA, SZELIGA e FERNANDES, 2007).

No presente trabalho, utilizamos como base de estudo a fábrica da GERDAU RIOGRANDENSE, em Sapucaia do Sul (RS), cujo site oficial foi de grande ajuda, já que apresenta diversas informações sobre o processo produtivo e sobre o tratamento de efluentes.

Na fábrica de Sapucaia do Sul (RS), “97,6% da quantidade de água utilizada durante a produção do aço é tratada e reaproveitada internamente. Com esta tecnologia, a Unidade alcança um volume de 63 bilhões de litros de água reciclados por ano” (GERDAU RIOGRANDENSE, 2008).

O volume restante de água retorna para o Rio dos Sinos após tratamento adequado, apresentando parâmetros de qualidade que atendem às exigências da legislação ambiental. A vazão máxima permitida para o lançamento dos efluentes é 9.000 m³/dia.

2.2.3 Etapas de tratamento

Conforme descrito na seção anterior, mais de 97% do efluente gerado durante o processo é reutilizado. Existem tratamentos distintos para o reaproveitamento dos dois tipos de efluentes gerados:

1) Efluente industrial

Este tipo de efluente é gerado no resfriamento dos equipamentos, produzido principalmente nos processos de laminação a quente e no lingotamento contínuo. Este tipo de efluente não é gerado diretamente pelo processo, não entrando em contato com os contaminantes metálicos, o que facilita o seu reaproveitamento.

O processo de reaproveitamento do efluente industrial usado pela GERDAU RIOGRANDENSE, utilizando como exemplo os painéis do forno elétrico, é mostrado na Figura 5.

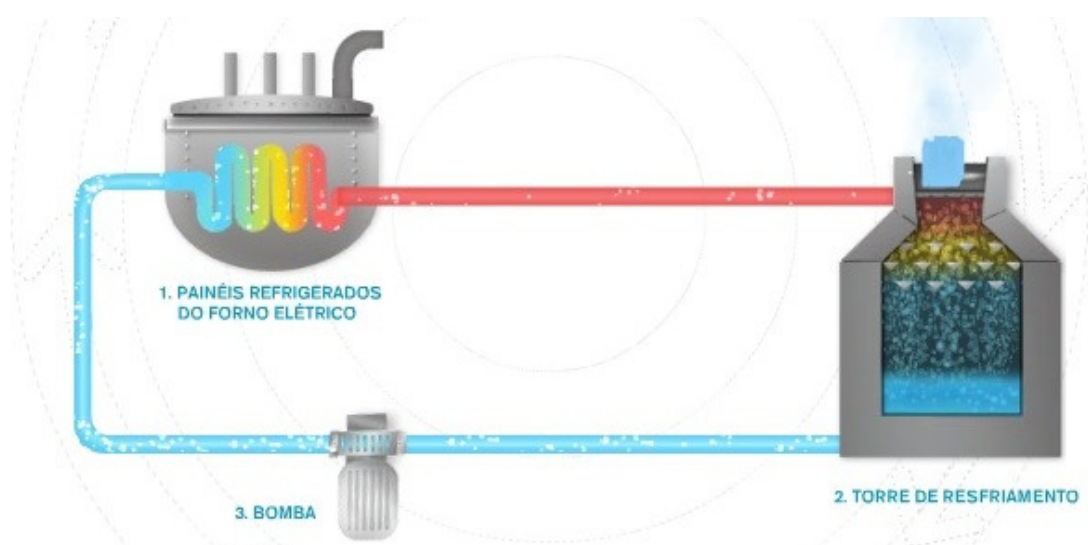


Figura 5 - Fluxograma de Processo do Tratamento do Efluente Industrial da Indústria Siderúrgica (GERDAU RIOGRANDENSE, 2009).

Esse processo funciona da seguinte forma: a água sai dos equipamentos após resfriá-los, com uma temperatura que pode chegar até 55 °C. Logo após, é encaminhada por tubulações fechadas, para as torres de resfriamento onde a temperatura é reduzida para, aproximadamente, 30 °C. Das torres, a água é transferida para reservatório de água fria. Finalmente, as bombas transferem a água novamente para os equipamentos a serem refrigerados, completando o ciclo.

2) Efluente cinza

O efluente cinza é gerado nas etapas em que a água entra em contato diretamente com o processo, contendo partículas pesadas. Na GERDAU RIOGRANDENSE, o processo de reaproveitamento é conduzido da seguinte forma: a água sai dos equipamentos e é conduzida, por meio de canais abertos, até o poço de carepa, onde ocorre a precipitação dos sólidos, especialmente óxidos de ferro e carepa. A carepa é removida por equipamentos mecânicos para depois ser encaminhada para decantação e, posteriormente, para reciclagem. Em alguns casos, a carepa é utilizada como substituta do minério de ferro.

Após sair do poço de carepa, a água com menor concentração de sólidos é enviada para filtros de areia por meio de bombas. A água filtrada é encaminhada para as torres de resfriamento para remoção de calor, atingindo, aproximadamente, 30 °C. Das torres de resfriamento, a água é transferida para uma piscina de água fria que serve de reservatório para posterior reutilização, completando o ciclo (GERDAU RIOGRANDENSE, 2008).

Um fluxograma do processo, utilizando o processo de lingotamento contínuo, é descrito na Figura 6.

Os demais efluentes destas indústrias, aqueles não passíveis de reutilização, passam por um sistema padrão de tratamento de efluentes, que abrange um tratamento físico-químico, seguido de um tratamento aeróbio para a remoção da carga orgânica (pequena) presente no efluente, antes que este seja descartado no corpo receptor.

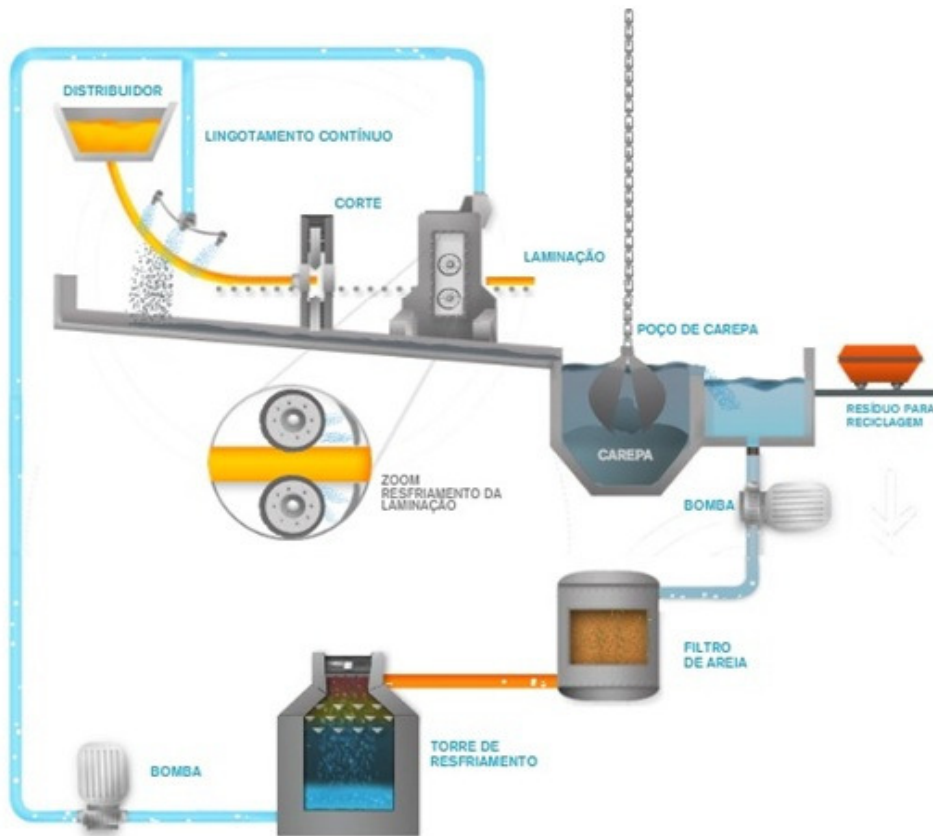


Figura 6 - Fluxograma de Processo do Tratamento do Efluente Cinza da Indústria Siderúrgica (GERDAU RIOGRANDENSE, 2009)

2.3 Indústria de produção de celulose e de papel

2.3.1 Caracterização do tipo de indústria

A produção de celulose e de papel é considerada um setor industrial importante na economia de muitos países, visto que produz uma grande variedade de produtos para atender as necessidades humanas, emprega um número considerável de funcionários e movimenta volumes elevados de recursos financeiros.

O setor de papel e celulose é um grande consumidor de recursos naturais, especialmente fibras vegetais, energia e água, e tem sido considerado um importante exemplo de geração de poluentes do ar, da água e do solo (NOLASCO, 1997).

Um fluxograma do processo de produção da celulose e do papel é mostrado na Figura 7.

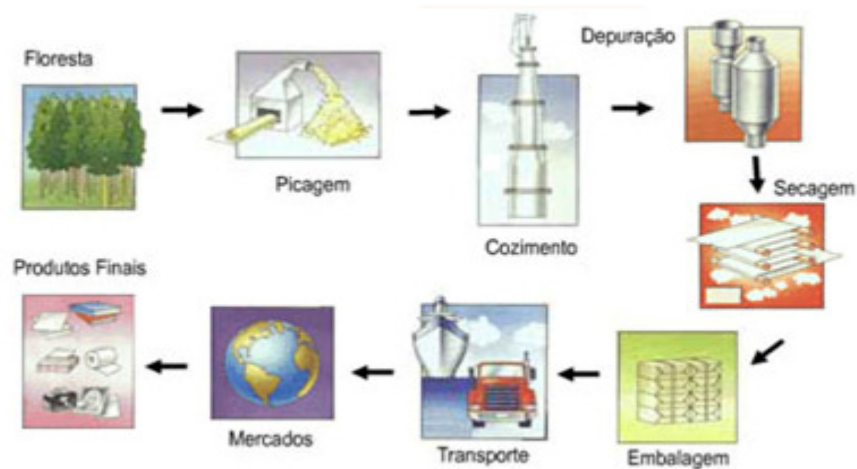


Figura 7 - Fluxograma do Processo de Produção de Celulose e de Papel (SIMS, 2009).

A celulose é obtida a partir da madeira de eucalipto, iniciando o processo na área de manuseio de madeira, onde a matéria-prima é cortada em forma de toras com casca e conduzida aos picadores, onde são transformadas em cavacos. Estes são estocados em pilhas e transportados por correias até os silos dos digestores, onde se inicia o processo de cozimento.

O cozimento consiste em submeter os cavacos à ação química da soda cáustica, do sulfeto de sódio e do vapor d'água em um digestor, a fim de dissociar a lignina existente entre a fibra e a madeira. A seguir, é realizada uma lavagem, a fim de se retirar as impurezas solúveis.

Após a lavagem, a celulose é retirada do digestor para então ser depurada. A depuração consiste no peneiramento, para remover também as impurezas sólidas e no branqueamento, para modificar a cor da celulose.

Após o branqueamento, a celulose é enviada para a secagem. Finalmente, a folha contínua é reduzida, formando os fardos, ou seja, as unidades de carga para o transporte e a comercialização.

2.3.2 Caracterização do tipo de efluente

As indústrias de celulose e papel representam um setor de extrema importância econômica e ambiental, devido, principalmente, aos seus reflexos em corpos d'água. Por utilizarem grandes volumes de água, estas indústrias geram também grandes quantidades de efluentes contendo substâncias tóxicas. Diariamente, a indústria de papel e celulose libera mais de 62 milhões de metros cúbicos de efluentes, o que corresponde ao consumo doméstico de água de, aproximadamente, 200 milhões de pessoas (PERALTA-ZAMORA et al., 1996).

As áreas mais críticas da indústria, em relação às características do efluente, são o cozimento e o branqueamento. O processo de cozimento é responsável pela geração de efluentes com alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), turbidez, cor, sólidos suspensos e baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Os efluentes resultantes do processo de branqueamento são fortemente coloridos e contêm mais de 300 componentes orgânicos, principalmente fenóis clorados, os quais apresentam toxicidade para muitos organismos aquáticos e alta resistência à degradação.

É importante destacar que o processo de branqueamento do produto tem uma função exclusivamente de modificar a coloração do papel, não alterando em nada a qualidade do produto. Desta forma, pode-se afirmar que o processo de produção de papel não precisaria desta etapa para se obter um produto de qualidade, no entanto, o consumidor tem grande preferência em utilizar o papel com a coloração branca, logo, este necessita da etapa de branqueamento para ser comercializado.

2.3.3 Etapas de tratamento

O tratamento de efluentes deve ser bastante eficiente a fim de garantir a qualidade do efluente tratado. Para um melhor entendimento do tratamento de efluentes da indústria de celulose e de papel, um fluxograma deste processo é apresentado na Figura 8.

A seguir, descreve-se detalhadamente um sistema de tratamento de efluentes típico de uma indústria de Celulose e Papel. Esta descrição baseou-se em uma grande empresa do ramo, a CELULOSE RIOGRANDENSE. A área correspondente a este importante setor da

empresa está situada na parte leste da fábrica, junto ao rio Guaíba. As etapas do tratamento são divididas em cinco subsistemas:

- Pré-Tratamento;
- Tratamento Primário;
- Tratamento Secundário;
- Tratamento Terciário;
- Tratamento do lodo.

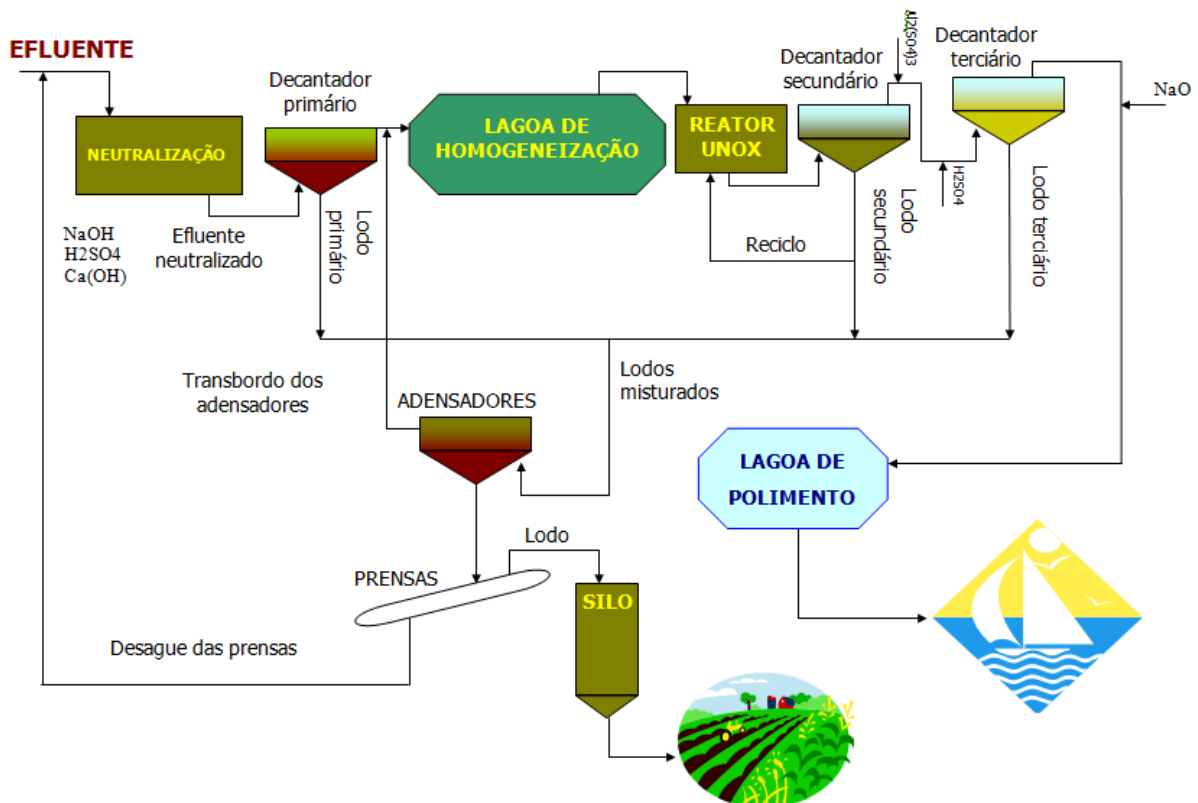


Figura 8 - Fluxograma do Tratamento de Efluentes da Indústria de Celulose e de Papel (VIEGAS, SANTOS e ARNDT, 2010).

1) Pré-Tratamento

Neste sistema, os efluentes passam por um processo de remoção de sólidos grosseiros por gradeamento e depois por ajustes de pH, que deve estar entre 6 e 9, para que se torne apropriado para os tratamentos posteriores. Além do ajuste de pH, também deve haver ajuste

de temperatura, pois o efluente se estiver acima de 40°C pode haver alterações no tratamento biológico.

Os efluentes cujas características sejam prejudiciais ao tratamento biológico, são direcionados para uma lagoa de emergência. Estes são bombeados para o tratamento completo de forma controlada, minimizando o risco de danos às fases posteriores do tratamento.

2) Tratamento Primário

Os sólidos suspensos remanescentes do pré-tratamento são removidos nesta etapa, em quase sua totalidade, em um decantador primário, sendo o efluente resultante encaminhado ao tratamento secundário. O lodo gerado na decantação primária é recolhido e enviado ao processo de adensamento, que será explicado posteriormente.

3) Tratamento Secundário

Esta etapa consiste no tratamento biológico dos efluentes e tem como objetivo a redução da DQO e da DBO dos mesmos, conseguido através de tratamento por lodos ativados. Após a homogeneização em uma lagoa, os efluentes são elevados a um reator fechado com aeração, de tecnologia “Unox”. Esta tecnologia é uma aplicação do processo por lodos ativados, onde se processa a atividade biológica sobre a matéria orgânica existente e o lodo gerado passa por sedimentação em um decantador secundário. O material decantado é continuamente recirculado à montante do reator, sendo o excesso de lodo extraído e enviado ao adensamento, conforme mostrado no fluxograma do processo (Figura 8).

4) Tratamento Terciário

Esta etapa realiza o “polimento”, otimizando outros parâmetros como a cor do efluente proveniente do tratamento secundário. Este é adicionado ao decantador terciário, onde são adicionados agentes flocculantes e coagulantes e são conduzidos aos clarificadores, onde ocorre a floculação e sedimentação. O lodo gerado no tratamento terciário é também extraído para o adensamento. O efluente tratado, após correção final de pH, é bombeado de uma lagoa de polimento para o rio Guaíba, através de um emissário difusor.

5) Tratamento do lodo

Neste subsistema, os lodos gerados nos tratamentos primário, secundário e terciário são misturados e passam por um processo de adensamento com a utilização de filtros prensas, sendo em seguida estocados em silos, conforme o fluxograma do processo.

O lodo final é transportado para uma empresa terceira, onde passa por diversos processos para poder ser transformado e comercializado como substrato para solos. No caso da CELULOSE RIOGRANDENSE, o lodo tratado dá origem ao substrato da marca HUMOSOLO, produzido pela empresa VIDA.

Uma lista dos principais reagentes utilizados no sistema de tratamento de efluentes descrito nesta seção e a respectiva etapa no qual o mesmo é utilizado pode ser visualizado no Anexo I.

Algumas fotografias referentes aos efluentes produzidos por alguns setores da CELULOSE RIOGRANDENSE podem ser visualizados no Anexo II.

3 COMPARAÇÃO E PERSPECTIVAS

Após a descrição dos três tipos de tratamento, pode-se estabelecer uma avaliação comparativa entre os sistemas explicados, bem como avaliar possibilidades de melhorias.

É possível verificar que algumas etapas de produção geram efluentes mais poluentes e com maior grau de complexidade de tratamento do que outras, o que demanda a preocupação adicional na tecnologia a ser utilizada no tratamento. No caso da indústria de celulose e de papel, a etapa de branqueamento gera um tipo de efluente com diversas propriedades físico-químicas muito prejudiciais aos recursos naturais, caso o devido tratamento não seja empregado. No caso da indústria sucroalcooleira, o vinhoto é a maior preocupação, devido a suas altas concentrações de poluentes, que determinam altas taxas de DQO e DBO.

É fundamental que novos tipos de tratamento sejam estudados a fim de adaptá-los às características do efluente gerado para aumentar a eficiência de remoção de substâncias que causam danos aos recursos naturais. Algumas destas tecnologias serão comentadas a seguir.

Existem diversas pesquisas e estudos na área de reutilização do efluente tratado para alguns processos que não exigem um tipo de água com alto grau de pureza, como atividades de limpeza em setores administrativos e processos de troca térmica. Também pode ser prevista a reutilização da água no mesmo equipamento, determinando um circuito fechado e diminuindo, consideravelmente, a geração de efluentes. Essas possibilidades de aplicação estão presentes nas três indústrias analisadas, podendo ser implementadas com baixo custo. Estes assuntos também serão abordados no presente capítulo.

3.1 Estudos recentes de novas tecnologias

3.1.1 Concentração e estabilização do vinhoto da indústria sucroalcooleira

A principal utilização do vinhoto tratado como subproduto é na função de fertilizante na lavoura de cana-de-açúcar. Porém, se for lançado sem tratamento adequado, pode causar sérias conseqüências como a contaminação de lençóis freáticos, a destruição das lavouras e a

morte dos seres vivos. Além disso, pode acelerar a decomposição microbiana da matéria orgânica, que conduz a proliferação de moscas, desequilibrando o ecossistema.

Uma alternativa para minimizar estes efeitos é a estabilização do vinhoto. Ela é realizada pela desidratação do vinhoto com o auxílio do calor gerado durante o processo de fabricação do etanol, recuperando a água evaporada. Este processo se dá em condições de temperatura e pressão próximas do ambiente, o que dispensa a necessidade de elevados investimentos e, assim, diminui o custo operacional.

CAROLO (2009) cita o caso da usina sucroalcooleira do grupo Cerradinho de Potirendaba, no estado de São Paulo, onde foi implementado um evaporador de múltiplo efeito para a safra 2008/2009. Foi utilizada uma vazão de entrada de 100 m³ / h de vinhoto, obtendo uma vazão de saída de 22 m³ / h. Os 78 % de água retirada no processo demonstram um resultado significativo, o que proporcionou no ano seguinte a instalação de torres de resfriamento para aproveitamento da água evaporada.

Existe uma tecnologia em grande expansão para a concentração do vinhoto visando a sua utilização como fertilizante. Trata-se do tratamento por Osmose Inversa, que utiliza membranas como meio filtrante.

No processo de osmose, o solvente é transportado através de uma membrana devido à diferença na concentração, sendo que o fluxo de solvente ocorre de uma solução menos concentrada para outra mais concentrada, sendo o soluto dissolvido rejeitado pela membrana.

Na osmose inversa, ocorre o processo inverso, se aplicando à solução mais concentrada uma pressão superior à sua pressão osmótica. O fluxo de solvente é então invertido, passando, neste caso, da solução mais concentrada para a solução menos concentrada (CAMPOS, SENA e SIMÕES, 2004).

A osmose inversa apresenta-se como uma opção vantajosa em relação a outros processos de concentração, como a evaporação, devido ao seu baixo consumo energético, já que não envolve mudança de fase nos produtos tratados durante a operação (CAMPOS, SENA e SIMÕES, 2004).

NETO (2010) testou a concentração de 50% em volume de vinhoto no Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), situado em Piracicaba, no estado de São Paulo. O autor testou a utilização de processos combinados de ultrafiltração e osmose inversa, com uma vazão de efluente de 1,2 m³/h, iniciando o processo em Setembro de 2008, obtendo grandes concentrações dos íons cálcio, fósforo, magnésio, potássio e nitrogênio.

Portanto, a estabilização e a concentração do vinhoto tratado antes de sua aplicação como fertilizante é uma alternativa viável do ponto de vista ambiental e econômico para que o vinhoto tratado possa continuar sendo aproveitado, mas diminuindo os riscos de afetar os recursos naturais (CECHINEL e RAMOS, 2010).

3.1.2 Etapa de pré-branqueamento na indústria de celulose e papel

O efluente do branqueamento é a maior fonte de poluição de águas da indústria de celulose e papel, contribuindo com 85% da cor total e 50% da demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Este fato pode causar ao meio ambiente o retardamento ou impedimento da transmissão da luz solar através da água, interferindo na fotossíntese de plantas aquáticas. Outro efeito é a retirada, por complexação, de íons metálicos indispensáveis ao metabolismo normal de organismos dos rios (ALMEIDA, 2002).

Algumas medidas podem ser tomadas para a diminuição da formação dos compostos prejudiciais ao meio ambiente e que constituem o efluente do branqueamento, como a introdução de etapas de pré-branqueamento com oxigênio e com ozônio que reduzem consideravelmente a cor e a DQO do efluente tratado.

Segundo CETESB (2002), a unidade de Jacareí, no estado do Rio de Janeiro, da Votorantim Celulose e Papel, elaborou o projeto ECF, utilizando tecnologias de otimização como, por exemplo, etapas de pré-branqueamento, utilizando oxigênio e ozônio, reduzindo 66% da cor e 43% da DQO do efluente tratado.

3.1.3 Tratamento anaeróbio antes do reator de tecnologia UNOX

Existem muitas vantagens dos sistemas de tratamento anaeróbio como o do tipo UASB em relação aos aeróbios como o da tecnologia UNOX, pois não necessitam de aeração, nem

de agitação, gastando menos energia e gerando menos custo de equipamentos. No entanto, a grande virtude é a menor geração de volume de lodo, devido ao crescimento muito mais lento dos microrganismos anaeróbios, sendo a geração de lodo na faixa de 10 a 20% da quantidade dos processos aeróbios. Apesar dessa vantagem, uma das desvantagens dos processos anaeróbios é que os mesmos não conseguem remover toda a matéria orgânica presente no efluente, o que obriga a um pós-tratamento do efluente, como no caso do processo por lodo ativado na indústria sucroalcooleira.

Desta forma, diversas tecnologias visam compensar esta desvantagem dos tratamentos anaeróbios. Uma delas é a tecnologia eletroquímica, baseada na recirculação do efluente em reatores que ocupam área física reduzida como no tipo UASB. O processo de tratamento consiste em submeter o descarte aquoso a uma eletrólise sobre eletrodos especialmente ativados.

BUZZINI et al. (2005) analisou a utilização da tecnologia eletroquímica com o reator UASB na Votorantim Celulose, obtendo 93% de remoção de DQO e 97% na redução de cor. Os resultados expressivos classificam esta tecnologia como uma grande opção, especialmente para as indústrias de celulose e de papel, entretanto, os custos referentes ao consumo de energia elétrica podem ser elevados dependendo das condições operacionais utilizadas.

Deve-se considerar ainda que o processo de oxidação eletroquímica não gerou lodo, o que pode torná-lo vantajoso em relação aos processos de coagulação química.

3.2 Reaproveitamento de efluente

3.2.1 Utilização do efluente tratado

No Brasil, os recursos energéticos são provenientes principalmente de usinas hidrelétricas, que utilizam a energia mecânica do movimento das águas de rios e lagoas, graças principalmente à grande bacia hidrográfica disponível. No entanto, os recursos hídricos começam a apresentar forte escassez.

Neste sentido, o reaproveitamento de água pode ser definido como o uso racional ou eficiente da água, controlando as perdas e os desperdícios e minimizando a geração de efluentes e o consumo de água.

Além disso, ele reduz a necessidade de captação, devido à substituição da água captada para uma determinada função por uma água de qualidade inferior, como por exemplo, o efluente tratado, visto que o nível de qualidade não necessita ser tão significativo para a determinada utilização.

Uma grande vantagem da reutilização de efluente tratado seria a diminuição do volume de efluente tratado lançado no corpo receptor (rios, lagoas, entre outros), minimizando o impacto ambiental e facilitando o controle da operação.

As indústrias têm investido no desenvolvimento e implantação de novas tecnologias de processo e aumentado os gastos com monitoramento e controle dos efluentes, sendo este um passo importante para o uso do efluente tratado.

Algumas aplicações possíveis são os fluidos de troca térmica que não entram em contato com o processo e as atividades de limpeza que não necessitam da mesma qualidade de água que a utilizada diretamente nas etapas de processamento.

SOUZA (2007) mostra que a empresa Schering-Plough S.A, de Jacarepaguá, no Rio de Janeiro, armazena o efluente tratado em um reservatório de 1100 m³ e o utiliza no sistema de resfriamento das estruturas do processo na fábrica.

3.2.2 Utilização de torres de resfriamento para reaproveitamento da água

Alguns equipamentos utilizam grandes volumes de água, gerando efluentes com qualidade considerável, podendo ser reaproveitados no processo. Desta forma, com um tratamento simples, pode-se retorná-los para o equipamento, formando um ciclo. Um exemplo foi demonstrado no tratamento dos efluentes da indústria siderúrgica, que reaproveita grande parte dos efluentes gerados, havendo perdas apenas pela evaporação. Este reaproveitamento é realizado graças às torres de resfriamento, que podem ser implementadas nas demais indústrias.

As torres de resfriamento são equipamentos utilizados para o resfriamento de água industrial que é proveniente do processo, como por exemplo, de condensadores de superfície e trocadores de calor. Existem dois tipos básicos de torres de resfriamento: de contato direto (circuito aberto) e indireto (circuito fechado).

O sistema fechado não envolve o contato do ar com o fluido a ser refrigerado, enquanto que o sistema aberto, de contato direto, promove contato íntimo entre a água a ser resfriada e o ar ambiente. O calor removido é devido à evaporação de uma parte da água, que ocorre pela transferência do calor de vaporização da água ao ar atmosférico (calor latente), correspondendo a aproximadamente 90 % do calor total transferido. O restante se deve ao calor sensível, ou seja, à diferença de temperatura entre os fluidos (POLLO, 2004).

A água resfriada é coletada em uma bacia de onde retorna para o processo, sendo necessária apenas reposição de uma quantidade de água equivalente às perdas representadas pelo descarte para controlar a concentração de sais ou outras impurezas na água de recirculação.

4 CONCLUSÃO

Através deste trabalho, pôde-se estabelecer uma avaliação dos sistemas de tratamento de efluentes, utilizando três exemplos de indústrias bastante distintos, com características bastante evidenciadas e particulares. Além disso, foi possível analisar diversas tecnologias de tratamento de efluentes e soluções interessantes e viáveis que visam estabelecer o princípio do desenvolvimento sustentável.

A indústria siderúrgica é um grande exemplo, pois já tem muito bem estabelecido diversos sistemas de reutilização da água. Como mencionado neste trabalho, na GERDAU RIOGRANDENSE, uma das mais importantes empresas do setor, mais de 90% da água utilizada é reaproveitada.

No entanto, a indústria sucroalcooleira e a de produção de celulose e de papel não demonstraram possuir ainda essa visão; logo, este trabalho também analisou algumas possibilidades de aperfeiçoamentos, tais como a utilização do efluente tratado e a instalação de torres de resfriamento formando circuitos com alguns equipamentos.

Foram apresentadas, também, algumas tecnologias que minimizam alguns problemas relativos às características dos efluentes, tais como a concentração e a estabilização do vinhoto, principal componente do efluente da indústria sucroalcooleira, para que ele possa ser utilizado como fertilização nas lavouras de cana-de-açúcar, não prejudicando a qualidade do solo, o aprimoramento da etapa de branqueamento com a inserção de etapas de pré-branqueamento e a utilização de tratamentos anaeróbios antes do reator de tecnologia UNOX da indústria de celulose e de papel.

Finalmente, este trabalho analisou as diversas particularidades em relação aos efluentes líquidos, propiciando uma visão abrangente desta área indispensável em um mundo de desenvolvimento sustentável e de preocupação ambiental.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, K. M. **Tratamento do efluente alcalino do branqueamento da polpa de celulose pelo processo de separação por membranas**. 2002. Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2322/000368109.pdf?sequence=1>> Acesso em 14 nov. 2010.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como condições e padrões de lançamento de efluentes, e outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 18 de março de 2005, nº 53, Seção 1. p. 58-63.

BUZZINI, A. P. et al. **Aplicação da oxidação eletroquímica como pós-tratamento de um reator uasb tratando água residuária de indústria de pasta celulósica**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005. Campo Grande. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-043.pdf>> Acesso em 18 nov. 2010.

CAMPOS, R., SENA; M. E. R.; SIMÕES, C. L. N. **Estudo da viabilidade econômica da concentração de vinhoto através de osmose inversa**. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2004. Florianópolis. Disponível em: <http://www.feg.unesp.br/~delamaro/PF/a26_ENEGEP2004_Enegep1004_1360.pdf> Acesso em 14 nov. 2010.

CAROLO, A. **Usina Cerradinho concentra vinhaça com sucesso**. 2009. Jornal Cana. p.50, julho 2009. Potirendaba. Disponível em: <<http://www.canaweb.com.br/pdf/187//tecindls.pdf>> Acesso em 18 nov. 2010.

CECHINEL, C. A.; RAMOS, H. A. **Vinhoto: Nova Perspectiva**. 2010. Revista Diálogos & Ciência. nº 23, setembro 2010. Salvador. Disponível em: <http://dialogos.ftc.br/index.php?option=com_content&task=view&id=199&Itemid=4> Acesso em 14 nov. 2010.

CETESB. **Implantação de tecnologias limpas na indústria de celulose e papel.** 2002. Produção mais limpa – Casos de Sucesso. N° 7. 2002. São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/casos/caso07.pdf> Acesso em 18 nov. 2010.

GERDAU. **Relatório Anual 2007.** 2007. Porto Alegre. Disponível em: <http://www.gerdau.com/upload/pt-BR/gerdau_ra_2007.pdf> Acesso em 01 nov. 2010.

GERDAU RIOGRANDENSE. **Meio Ambiente e Sociedade.** 2009. Sapucaia do Sul. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br/meio-ambiente-e-sociedade/meio-ambiente-emissoes-e-efluentes-agua.aspx>> Acesso em 01 nov. 2010.

GERDAU RIOGRANDENSE. **Relatório de Gestão Ambiental da Gerdau Riograndense 2008.** 2008. Sapucaia do Sul. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br/relatorios-emissoes-efluentes/7.brasil.pt-BR.force.axd>> Acesso em 01 nov. 2010.

HASSUDA, S.; REBOUÇAS, A. C.; CUNHA, R. C. A. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru.** Revista Instituto Geológico. Volume 11. N° 2. 1990. USP. São Paulo. Disponível em: <http://pgegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-929X1990000200001&lng=pt&nrm=>> Acesso em 05 set. 2010.

LAMO, P.; DIAS, N. **Reatores anaeróbios de leito expandido para o tratamento de efluentes das indústrias de bebidas.** 2000. DEDINI Indústrias de Base. Campinas. Disponível em: <<http://www.ceset.unicamp.br/~ajrossini/ST%20572/Artigo%20T%E9cnico.pdf>> Acesso em 05 set. 2010.

LUDOVICE, M. T. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático.** 1997. Dissertação de Mestrado. UNICAMP. Campinas. Disponível em: <<http://cutter.unicamp.br/document/?code=vtls000124559>> Acesso em 05 set. 2010.

NETO, A. E. **Produção Industrial: Resíduos Sólidos.** In: IV Seminário Produção Sucroalcooleira. 2010. Piracicaba. Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/camaras/eventos/14_05_2010/4.pdf> Acesso em 18 nov. 2010.

NOLASCO, M. A. **Tratamento aeróbio de efluentes da indústria de Celulose e papel visando uma menor produção de lodo biológico.** In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1997. Foz do Iguaçu. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/biologico.pdf>> Acesso em 12 out. 2010.

PERALTA-ZAMORA, P. et al. **Remediação de efluentes derivados da indústria de papel e celulose. Tratamento biológico e fotocatalítico.** Revista Química Nova. Volume 20. Nº2. 1996. UNICAMP. Campinas. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v20n2/4932.pdf>> Acesso em 12 out. 2010.

POLLO, L. D.. **Reaproveitamento de Águas e Efluentes Inorgânicos de uma Indústria Petroquímica.** 2004. Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5530/000516363.pdf?sequence=1>> Acesso em 14 nov. 2010.

ROMEIRO, S. B. B. **Química na Siderurgia.** 1997. Instituto de Química – Área de Educação Química. UFRGS. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.iq.ufrgs.br/aeq/html/publicacoes/matdid/livros/pdf/siderurgia.pdf>> Acesso em 01 nov. 2010.

SABBAG, M. G.; RODRIGUES, N. M.; PICCHI, A. R. **Tratamento de Efluentes de Usinas do Setor Sucroalcooleiro.** 2006. Trabalho de PhD. USP. São Paulo. Disponível em: <200.144.189.36/phd/LeArq.aspx?id_arq=1793> Acesso em 05 set. 2010

SILVA, C. L. **Inovação e Modernização na Indústria Siderúrgica Brasileira: as armas para competir internacionalmente.** 2002. Revista FAE BUSINESS. nº 3, setembro 2002. Curitiba. Disponível em: <http://www.fae.edu/publicacoes/pdf/revista_fae_business/n3_setembro_2002/analise_setoria_l_inovacao_e_modernizacao_na.pdf> Acesso em 01 nov. 2010.

SIMS, C. **Ciclo Industrial de Produção do Papel**. 2009. Paraty. Disponível em: <<http://trilhadaarte.blogspot.com/2009/09/ciclo-do-papel.html>> Acesso em 12 out. 2010.

SOUZA, Q. **Avaliação da utilização do efluente tratado no Processo produtivo da parboilização do arroz**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso. UNESC. Criciúma. Disponível em: <<http://www.comiteitajai.org.br/dspace/bitstream/123456789/311/1/TCC%20QU%C3%8ANI A%20DE%20SOUZA.pdf>> Acesso em 18 nov. 2010.

SZMRECSÁNYI, T. **Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canieira no Estado de São Paulo**. 1994. Revista Informações Econômicas. Vol. 24, nº 10, outubro 1994. São Paulo. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=1148>> Acesso em 05 set. 2010.

TEIXEIRA, L. A.; SZELIGA, L.; FERNANDES, R. **Siderurgia: Identificação e Controle das emissões e resíduos - Fontes e Controle de Poluição Industrial**. 2007. PUC-RJ. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.dema.puc-rio.br/download/ENG1351%20FCPI%205-Lucianna%20e%20Rodrigo-SIDERURGIA.pdf>> Acesso em 01 nov. 2010.

VIEGAS, J. M.; SANTOS, E.; ARNDT, D. **Estação de Tratamento de Efluentes da CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE**. 2010. CELULOSE RIOGRANDENSE. Guaíba.

VON SPERLING, M. **Biological Wastewater Treatment: Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors – Volume 5**. Londres: IWA Publishing, 2007.

6 ANEXOS

Anexo I - Insumos Utilizados na Estação de Tratamento de Efluentes da CELULOSE RIOGRANDENSE.

Insumo	Local de utilização
<ul style="list-style-type: none"> • Antiespumante (possibilidades de dosagens) 	<ul style="list-style-type: none"> • Saída do reator unox • Transbordo do tratamento secundário • Entrada do tratamento primário • Entrada da lagoa de homogeneização • Recalque de efluente tratado • Entrada do reator unox • Saída do tratamento secundário
<ul style="list-style-type: none"> • Polieletrólito 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento terciário
<ul style="list-style-type: none"> • Polieletrólito 	<ul style="list-style-type: none"> • Prensas desaguadoras de lodo
<ul style="list-style-type: none"> • Ácido sulfúrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento terciário
<ul style="list-style-type: none"> • Ácido sulfúrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Neutralização
<ul style="list-style-type: none"> • Soda cáustica 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento terciário
<ul style="list-style-type: none"> • Soda cáustica 	<ul style="list-style-type: none"> • Neutralização
<ul style="list-style-type: none"> • Sulfato de alumínio 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento terciário
<ul style="list-style-type: none"> • Uréia 	<ul style="list-style-type: none"> • Reator unox
<ul style="list-style-type: none"> • Ácido fosfórico 	<ul style="list-style-type: none"> • Reator unox
<ul style="list-style-type: none"> • Oxigênio 	<ul style="list-style-type: none"> • Reator unox
<ul style="list-style-type: none"> • Leite de Cal 	<ul style="list-style-type: none"> • Neutralização

Anexo II - Fotografias referentes aos efluentes setoriais da CELULOSE RIOGRANDENSE.

