ROMÁRIO MARON JÚNIOR

**REÚSO DE ÁGUA EM INDÚSTRIA
METALÚRGICA ROLAMENTEIRA – ESTUDO DE
CASO DA SKF DO BRASIL LTDA**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título
de mestre em Saneamento
Básico

SÃO PAULO

2006

ROMÁRIO MARON JÚNIOR

**REÚSO DE ÁGUA EM INDÚSTRIA
METALÚRGICA ROLAMENTEIRA – ESTUDO DE
CASO DA SKF DO BRASIL LTDA**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de mestre em Saneamento Básico

Área de Concentração:
Engenharia Hidráulica e Sanitária

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Mierzwa

SÃO PAULO

2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Maron Junior, Romario

**Reúso de água em indústria metalúrgica rolamenteira –
estudo de caso da SKF do Brasil Ltda. -- São Paulo, 2006.**

p.

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e
Sanitária.**

**1.Reuso de água, 2. Qualidade, 3.Efluentes, 4. Indústria
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II.t.**

À meus queridos filhos Bruna e Victor,
que me dão forças para continuar nesta
jornada, e em especial a minha esposa
Suzanna pelo companheirismo e
compreensão nos meus momentos de
ausência.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que diretamente me auxiliaram na conclusão deste trabalho e, em especial:

Aos meus pais, pela educação e formação e desta forma, permitiram a realização deste feito;

Ao professor Ivanildo Hespanhol, pela oportunidade inicial e incentivo;

Ao meu orientador, professor Mierzwa, pela dedicação e presteza na condução deste trabalho;

A SKF do Brasil Ltda , em especial ao meu Coordenador Drº Antonio Carlos Boueri, por ter permitido, apoiado e incentivado a realização deste trabalho;

Ao meu colega de trabalho Engº Fernando Lavignatti, pela colaboração na orientação dos diversos tópicos deste trabalho;

Aos Funcionários do Departamento de Hidráulica da Escola Politécnica da USP;

Ao CIRRA, em especial ao EngºMaurício Cabral, pela ajuda na realização dos ensaios de JAR TEST;

Aos meus colegas de trabalho, pelo incentivo, encorajamento e apoio nos momentos mais difíceis.

RESUMO

Com a globalização do mercado, muitas empresas procuraram se modernizar objetivando tornarem-se mais competitivas, com o crescimento industrial os recursos naturais apresentam-se mais escassos levando ao desenvolvimento de leis ambientais cada vez mais rígidas. Os custos envolvidos com o uso dos recursos naturais, têm levado as indústrias a buscarem alternativas a curto e médio prazos para minimizarem estes custos, procurando reduzir os seus impactos ambientais. A busca para um menor consumo de água através de técnicas de reúso e reciclagem nos processos industriais passam a fazer parte do planejamento estratégico de várias empresas, inclusive das rolamenteiras. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o potencial de reúso da água da atividade de tamboreamento de rolos cônicos com espessura entre 5 a 8 mm e altura de 6 a 8 mm, sendo uma atividade de suma importância para garantir um padrão de qualidade satisfatório, de forma que as atividades subsequentes sejam efetuadas sem anomalias técnicas, conduzindo à obtenção de um produto final de qualidade. Por não requerer uma água com padrões elevados de qualidade, neste trabalho foi demonstrado o potencial de reúso de efluentes na atividade de tamboreamento, viabilizando-se sobre maneira o objeto deste estudo, onde é possível avaliar os aspectos físicos e químicos antes e após o tratamento da água para futura implantação contínua.

Palavras chaves: reúso de água, qualidade, efluentes e indústria.

ABSTRACT

With the globalization of the market, many companies had looked for to be modernized for becoming more competitive. With the industrial growth, natural resources scarcity, and environmental pollution result in the development of more stringent laws. The costs associated with the use of the natural resources are taking the industries to search alternatives of short and long terms to minimize these costs looking for the reduction of its environmental impacts. The searching for reduced water consumption through techniques of reuse and recycling in its processes start to be integrated in the strategic planning of some companies including the bearing industry. The present work has been developed with the objective of evaluating the potential of water reuse in the activity of tumbling conical coils with thickness in the range of 5 to 8 mm, and height of 6 to 8 mm, being an activity of utmost importance to guarantee a satisfactory quality standard, in order that the subsequent activities are effected without anomalies, leading to the attainment of an end product of quality. By not requiring water with high standards of quality, in this work the potential of effluent reuse was demonstrated in the activity of tumbling, making possible to achieve the objective of this study, where it was possible to evaluate water physical and chemical aspects before and after the treatment for future implantation in continue way.

Words keys: water reuse, quality, effluents and industry.

SUMÁRIO

Lista de figuras

Lista de tabelas

Lista de gráficos

Lista de quadros

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1. Ciclo hidrológico.....	7
3.2. A escassez de água e a disponibilidade hídrica.....	8
3.3. Importância da Conservação da Água.....	14
3.4. Conceito de Reúso para fins Industriais.....	18
3.5. Os Principais Usos da Água na Indústria	24
3.5.1. Consumo Humano.....	25
3.5.2. Matéria-prima.....	25
3.5.3. Uso para geração de energia.....	25
3.5.4. Uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento.....	25
3.5.5. Transporte e assimilação de contaminantes	26
4. REQUISITOS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA USO INDUSTRIAL.....	28
4.1. Indicadores de demanda de água pelas indústrias.....	31
5. METODOLOGIA	37
6. CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA.	38
6.1. Sistema de abastecimento e distribuição de água na planta de Cajamar..	40
7. PROCESSO INDUSTRIAL E POTENCIAL DE REÚSO.....	43

7.1. Sistemática do processo de tamboreamento de rolos cônicos.....	43
7.2. Etapas do processo de tamboreamento.....	43
7.2.1. 1ª Etapa.....	43
7.2.2. 2ª Etapa.....	44
7.2.2.1. Dados técnicos da 2ª etapa:	45
7.2.3. 3ª etapa	46
7.2.3.1. Dados técnicos da 3ª Etapa.....	46
7.2.4. 4ª Etapa.....	48
7.2.5. 5ª etapa	49
7.2.5.1. Dados técnicos da 5ª etapa.	50
8. CONSUMO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES	51
8.1. Características físicas e químicas da água utilizada no processo.....	52
8.2. Característica do efluente gerado no processo de tamboreamento	53
9. METODOLOGIA ATUAL DE TRATAMENTO DO EFLUENTE GERADO NO PROCESSO.	55
10. ESTUDO DE TRATABILIDADE VISANDO O REÚSO.....	57
10.1. Dosagens ótimas de produtos químicos.	65
10.2. Estimativa de custo com produtos químicos	65
10.3. Ensaio de clarificação com Procytrat.....	66
10.4. Complementação do processo de tratamento do efluente	67
10.5. Balanço de Massa.....	68
11. DISCUSSÃO.....	72
12. CONCLUSÕES :	74
13. RECOMENDAÇÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico	8
Figura 2 - Prensa horizontal, executando a prensagem dos arames.	44
Figura 3 – Execução da atividade de desengraxe e remoção de arestas (rebarba)	45
Figura 4 – Lavagem dos rolos	47
Figura 5 – Lavagem/ enxague dos rolos	47
Figura 6 – Retirada do excesso de água do tambor.....	48
Figura 7 – Limpeza final dos Rolos	49
Figura 8 – Sistema de filtragem, com a separação e captação de borra oleosa	56
Figura 9 – Estação de tratamento de efluentes da SKF do Brasil	56
Figura 10 – Aparelho de JAR TEST utilizado nos ensaios.....	59
Figura 11 – Início do JAR TEST, efluente bruto.	60
Figura 12 – Conclusão da etapa de sedimentação.....	62
Figura 13 – Final da floculação/sedimentação após adição do Polímetro.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição consumo de água na indústria por atividade	27
Tabela 2 - Categorias de água de acordo com sua qualidade.....	28
Tabela 3 – Padrões de qualidade recomendados para água de reúso para torres de resfriamento	30
Tabela 4 - Requisitos de qualidade para a água de uso industrial recomendados em mg/l, exceto para pH e cor, que são expressos em unidades..	31
Tabela 5 – Consumo de água industrial e potável em indústria rolamenteira, sediada em S.Paulo.....	32
Tabela 6 - Consumo de água em algumas indústrias no mundo	33
Tabela 7 – Consumo de água na SKF, Pune - Índia.....	36
Tabela 8 - Consumo de água no processo de tamboreamento.	51
Tabela 9 – Características físicas e químicas na atividade de tamboreamento da unidade da SKF na cidade de Pune na Índia.	53
Tabela 10 – Características físicas e químicas do efluente bruto do processo de tamboreamento.	54
Tabela 11 – Dados dos valores de titulação de ácido sulfúrico a 0,02 N.....	61
Tabela 12 - Dados de volume de coagulante dosados.....	61
Tabela 13 - Valores de turbidez, cor, pH, condutividade elétrica e velocidade de sedimentação.	61
Tabela 14 – Dosagem de coagulantes e ajuste de pH.....	63
Tabela 15 - Valores de turbidez, cor, pH e velocidade de sedimentação	63
Tabela 16 - Dosagem de polímero catiônico.....	64
Tabela 17 - Resultados da avaliação de turbidez após aplicação de polímero catiônico.	64

Tabela 18 – JAR TEST com Procytrat 100 A e 100 B.....	66
Tabela 19 – Análise físico - químico após tratamento.	67
Tabela 20 – Variável escolhida para o balanço de massa	68
Tabela 21 : Concentrações de SDT e vazões no processo de tamboreamento....	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico de consumo de água mensal no Tamboreamento	52
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fluxograma do processo produtivo.....	41
Quadro 2 – Fluxograma do Balanço Hídrico.....	42
Quadro 3 – Fluxograma do processo de tratamento	58

1. INTRODUÇÃO

O conjunto das atividades humanas, cada vez mais diversificado, associado ao crescimento demográfico vem exigindo maior atenção às necessidades de uso de água para as mais diversas finalidades.

Essas necessidades incluem tanto aspectos quantitativos como qualitativos e se evidenciam principalmente em regiões com características de desenvolvimento urbano, industrial e agrícola mais acentuadas.

Há que se destacar a existência de regiões onde a escassez e a má distribuição de água são fatores limitantes ao seu próprio processo de desenvolvimento.

Nessa situação surge uma questão fundamental: Como enfrentar a relação demanda e oferta de água? A resposta a esta pergunta passa, invariavelmente, pela necessidade de serem estabelecidas políticas adequadas e implementados sistemas de gestão efetivos.

Diversos são os instrumentos, os mecanismos e as tecnologias que podem ser empregadas na resolução dessa questão. Porém muitas das opções disponíveis carecem de estudos e investigações que auxiliem o seu melhor emprego e produzam resultados sanitários, ambientais e econômicos satisfatórios.

A baixa disponibilidade de água para usos em processos produtivos e a necessidade de um ambiente mais saudável têm impulsionado, nas últimas décadas, a implantação de programas de racionalização do uso da água e a reutilização de efluentes líquidos em todo o mundo.

O programas de racionalização do uso da água e a reutilização de efluentes implica em menor necessidade de captação dos mananciais, constituindo-se, portanto, em uma estratégia eficaz para a conservação dos recursos hídricos em seus aspectos qualitativos e quantitativos. Desta forma, procura-se aumentar a disponibilidade hídrica das regiões onde a água é escassa, contribuindo para equacionar a disputa pelo uso deste recurso.

Outro aspecto importante é que, pela menor geração de efluentes líquidos, a reutilização constitui-se numa ferramenta potencial para o controle da poluição e, conseqüentemente, proteção do meio ambiente. Assim, são reduzidos os riscos de sanções ambientais, há uma melhora da imagem da indústria perante a comunidade

local, clientes e órgãos de controle ambiental, bem como é favorecida a obtenção de selos verdes e certificações ambientais. Além disto, os custos associados à geração de efluentes líquidos, seja por tratamento, perda de água tratada, penalizações financeiras, monitoramento, manutenções das redes de coleta e instrumentos, são minimizados com a prática de reutilização de efluentes.

Por estas razões o reúso de água surge como uma opção adequada para o enfrentamento do problema relacionado à escassez de água, se constituindo em um importante instrumento de gestão ambiental com disponibilidade de amplo acervo de conhecimento para a sua adequada utilização.

Critérios e padrões de qualidade a serem aplicados em um sistema de reúso de água devem ser considerados, destacando-se a questão da saúde pública, a aceitação da água pelo usuário, a preservação do ambiente, a qualidade da fonte de água para reúso e a adequação da qualidade ao uso pretendido.

O desenvolvimento industrial tem gerado vários impactos sobre os recursos naturais, reduzindo sua disponibilidade, inclusive da água, seja pela captação excessiva em rios e do subsolo e pela degradação de sua qualidade em consequência dos processos de poluição.

Com a globalização do mercado muitas empresas procuraram se modernizar objetivando tornarem-se mais competitivas. Com o aumento da produção industrial, os problemas de escassez dos recursos naturais tendem a se agravar levando ao desenvolvimento de leis ambientais mais rígidas, o que demonstra a importância das questões ambientais na atualidade.

Estes fatores, tornam imprescindível o uso racional destes recursos naturais. As indústrias e o mercado necessitam-se adaptar cada vez mais rapidamente às tendências mundiais e as constantes mudanças nos conceitos de gestão ambiental, para estarem aptas para enfrentar os desafios que são submetidas.

O crescimento da conscientização da problemática ambiental em nível mundial e conseqüente aumento do número de consumidores exigentes e preocupados com a conservação do meio ambiente, demonstra de maneira clara esta nova condição.

O fator ambiental gera, então, a necessidade de adaptação das empresas e, conseqüentemente, direciona as estratégias para a sua expansão. Como consequência, muitas empresas têm mudado seu paradigma de desenvolvimento, visão empresarial, seus objetivos, estratégia de investimento e de marketing.

Isto implica no aprimoramento de seus processos e produtos à nova realidade do mercado global, adotando práticas coerentes com o conceito de desenvolvimento sustentável.

Uma demonstração de que os fatores ambientais vêm direcionando a forma de gestão das empresas é o aumento do número de certificações de sistemas de qualidade e meio ambiente, para que os consumidores possam identificar os produtos desenvolvidos com uma preocupação ambiental.

No Brasil, os custos elevados da água para uso industrial, particularmente nas regiões metropolitanas, têm estimulado as indústrias a avaliar as possibilidades internas de reúso. Essa tendência se amplia frente às novas legislações associadas aos instrumentos de outorga e cobrança pela utilização dos recursos hídricos, tanto na captação de água, como nos despejos de efluentes, os quais estão sendo implantados pelas agências federais e estaduais de bacias hidrográficas.

Com isso as indústrias são induzidas a reduzir o consumo de água, por uma sistemática de racionalização do uso e reúso, além de se preocuparem com o abatimento das cargas poluidoras de seus efluentes, por meio de sistemas de tratamento mais eficientes.

Em relação ao reúso de água deverá ser dada prioridade para usos que já possuam demanda imediata e que não exijam níveis elevados de tratamento, sendo conveniente concentrar a fase inicial do programa de reúso interno em atividades que apresentam elevado consumo de água, como torres de resfriamento e operações de lavagem, entre outras.

Além das possibilidades internas de reúso as indústrias também podem considerar ofertas das companhias de saneamento para a compra de efluentes tratados como água de utilidades, desde que haja interesse destas companhias, o que está vinculado à demanda e aos custos de produção e distribuição. A **“água de utilidade”**, produzida através de tratamento de efluentes secundários e distribuída por adutoras que servem a um agrupamento significativo de indústrias, pode ser um grande atrativo para abastecimento industrial a custos razoáveis. Por exemplo, em algumas áreas da região metropolitana de São Paulo, o custo da água posta à disposição da indústria, pela companhia de abastecimento apresenta um custo de aproximadamente R\$ 8,00 (oito Reais), por metro cúbico, enquanto que a água de reúso, segundo estudo realizado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, apresenta um custo marginal por metro cúbico em torno de R\$ 1,80, sendo que o valor

de tratamento interno de efluente esta em torno de R\$ 0,80 a 1,20/m³. (SABESP, 2005)

Este custo varia, evidentemente, com as condições locais, tanto em termo dos níveis de tratamento adicionais necessários, como aqueles relativos aos sistemas de distribuição. A proximidade de estações de tratamento de esgotos às áreas de grande concentração industrial é uma condição favorável para a implantação de programas de reúso industrial, uma vez que viabiliza adutoras e custos unitários de tratamento menores.

Os usos industriais que apresentam possibilidade de serem viabilizados em áreas de concentração industrial significativa são basicamente os seguintes:

- Torres de resfriamento como água de reposição;
- Construção civil, incluindo preparação e cura de concreto, e para compactação do solo;
- Irrigação de áreas verdes de instalações industriais, lavagens de pisos e alguns tipos de peças, principalmente na industria mecânica;
- Processos industriais auxiliares.

Como critério para o estabelecimento de prioridades para usos que já possuam demanda imediata e que não exijam níveis elevados de tratamento, é recomendável concentrar a fase inicial do programa de reúso industrial, em torres de resfriamento e operações consideradas auxiliares, como lavagem de peças e equipamentos.

Esgotos domésticos tratados têm sido amplamente utilizados como água de resfriamento em sistemas com ou sem recirculação. Os esgotos apresentam uma pequena desvantagem em relação às águas naturais, pelo fato de possuírem temperaturas um pouco mais elevadas. Em compensação, a oscilação de temperatura é muito menor nos esgotos domésticos do que em águas naturais.

Embora corresponda a apenas 17% da demanda de água não potável pelas indústrias, o uso de efluentes secundários tratados, em sistemas de resfriamento, tem a vantagem de requerer qualidade independente do tipo de indústria, e a de atender, ainda, a outros usos menos restritivos, tais como lavagens de pisos e equipamentos, e como água de processos em indústrias mecânicas e metalúrgicas. (MANCUSO E SANTOS, 2003)

Além disso, a qualidade de água adequada para resfriamento de sistemas semi-abertos, é compatível com outros usos urbanos, não potáveis, tais como irrigação de

parques e jardins, lavagens de vias públicas, construção civil, formação de lagos para algumas modalidades de recreação e para efeitos paisagismo.

Embora as operações de resfriamento de água sejam importantes em muitas indústrias, em várias indústrias há um consumo relevante de água para operações consideradas auxiliares e nestes casos observa-se um elevado potencial para redução do consumo de água e implantação da prática de reúso.

Reúso e conservação devem, também, ser estimulados nas indústrias, em atividades que apresentem baixo consumo de água, assim como em estações de tratamento de água para abastecimento público, através da recuperação e reúso das águas de lavagens de filtros e de decantadores.

2. OBJETIVOS

Considerando os problemas associados à escassez de recursos hídricos e a relevância desta temática para as regiões altamente urbanizadas e industrializadas, o presente trabalho tem por objetivo principal analisar e verificar a viabilidade do tratamento de efluentes e reúso de água na atividade de tamboreamento de rolos cônicos, da empresa SKF do Brasil Ltda.

Os objetivos específicos são:

- Efetuar pesquisa bibliográfica visando analisar os diversos tipos de reúso de água, através de literatura especializada;
- Analisar os processos e operações desenvolvidas na indústria;
- Caracterizar os parâmetros físicos e químicos dos efluentes gerados no processo de tamboreamento de rolos cônicos;
- Avaliar a eficiência do tratamento dos efluentes gerados;
- Mensurar e caracterizar a qualidade dos efluentes após tratamento;
- Avaliar a viabilidade de implantação do tratamento do efluente com enfoque no reúso, por meio de balanço de massa.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica procurou-se dar ênfase à análise de temas relevantes ao trabalho proposto como o ciclo hidrológico, escassez de água, gestão dos recursos hídricos, conservação de água na indústria, qualidade de água e análise do uso e reúso da água na indústria.

3.1. Ciclo hidrológico

Na natureza, a água, em suas três fases, se encontra em contínua circulação por meio do fenômeno conhecido como ciclo hidrológico. As águas dos oceanos, rios, lagos, da capa superficial dos solos e das plantas evaporam e transpiram por ação dos raios solares e dos ventos. O vapor formado vai constituir as nuvens que, em condições adequadas, condensam-se, precipitando-se em forma de chuva, neve ou granizo.

Quando as precipitações caem no solo, uma parte da água escoar pela superfície, alimentando os rios, lagos e oceanos; outra se infiltra no solo; e uma última parte volta a formar nuvens, regressando à atmosfera por evaporação e transpiração.

Os fatores que impulsionam o ciclo hidrológico são a energia térmica solar, a força dos ventos, que transportam vapor d'água para os continentes, e a força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e deslocamento das massas de água. Os principais componentes do ciclo hidrológico são a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas e a percolação, a infiltração e a drenagem. A figura 1 ilustra as fases do ciclo hidrológico.

Figura 1 - Ciclo hidrológico

Fonte: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2003)

A característica essencial de qualquer volume de água superficial localizada em rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas são a sua instabilidade e mobilidade. Todos os componentes sólidos, líquidos e gasosos (as três fases em que a água existe no planeta Terra) são parte do ciclo dinâmico da água, ciclo este, perpétuo. A fase mais importante deste ciclo para o homem é justamente a fase líquida, em que ela está disponível para pronta utilização.

3.2. A escassez de água e a disponibilidade hídrica

A água é essencial para a manutenção da vida deste planeta. A sobrevivência do ser humano e de todas as formas de vida na Terra está diretamente relacionada com a água. Além disso, a água é indispensável para o desenvolvimento das atividades criadas pelo ser humano, sob diversas vertentes e valores: econômicos, sociais, culturais, religiosos e outros.

Segundo Rebouças (2000), a terra contém 1.386.000.000 km³ de água em diferentes estados físicos, que pode ser dividida em dois grupos: água salgada e água doce, sendo que 97,5% representa a proporção de água salgada e o restante 2,5% de água doce.

Entretanto, cerca de 68,7% desses recursos são constituídos por águas armazenadas nas regiões polares e em geleiras diversas, e cerca de 30,1% são águas doces, as quais se encontram em reservatórios subterrâneos. Assim, a água doce encontrada nos rios e lagos corresponde a apenas 0,27% do volume de água doce e à cerca de 0,007% do volume total de água do planeta. Em resumo e em números aproximados, os 2,5% de água doce no planeta Terra não estão diretamente disponíveis à utilização. Apenas 0,3% da água doce está disponível na forma mais facilmente aproveitada, a partir de corpos superficiais de água, de pequenos córregos e grandes rios, lagos naturais e represas artificiais.

Existem variações de disponibilidade de água e de populações no planeta, ocasionando situações díspares, em que o volume *per capita* é alto, decorrente de áreas com grande disponibilidade de água e com densidade populacional pequena, e regiões com a situação inversa, com grande concentração populacional e baixa disponibilidade desse bem. Também ocorrem situações em que há altas disponibilidades de recursos, mas nas quais existe escassez, devido a elevados níveis de consumo.

A distribuição da população, devido a vários fatores, não está se desenvolvendo de forma harmoniosa com relação às fontes de recursos naturais no planeta, ocasionando uma concentração populacional em áreas com pouca disponibilidade de recursos hídricos e de terras férteis. O crescimento populacional acaba exercendo uma pressão cada vez mais intensa sobre os recursos hídricos, seja pelo aumento da demanda, seja, pelos problemas associados à poluição destes recursos, devido ao desenvolvimento de suas atividades. Este contexto vem se disseminando e é um dos motivos que torna complexa a relação entre disponibilidade hídrica e demanda de água.

A disponibilidade hídrica *per capita* é usada internacionalmente para classificação das ocupações humanas. Áreas ou regiões com disponibilidade na faixa entre 2.000 m³/hab/ano e 1.000 m³/hab/ano são consideradas como de potencial escassez. Com disponibilidade menor que 1.000 m³/hab/ano e com valores menores

que 500 m³/hab/ano, são classificadas como de escassez e de escassez crítica, respectivamente. Como pode ser observado no Quadro 1, o Brasil é um dos países privilegiados em relação à disponibilidade hídrica, sendo considerado um “país rico” neste aspecto.

QUADRO 1 – Disponibilidade hídrica no mundo

Classificação em relação à água	Disponibilidade hídrica m ³ /hab.ano	Exemplos de países
Países muito pobres	Menor que 500	Arábia Saudita, Israel, Jordânia, Líbia e Singapura
Países pobres	Entre 500 e 1.000	Cabo Verde, Egito e Quênia
Países com abastecimento regular	Entre 1.000 e 2.000	Bélgica, Paquistão, Polônia e Ucrânia
Países com suficiente abastecimento	Entre 2.000 a 10.000	Alemanha, Cuba, Espanha, EUA, França, Índia, Japão. México e Reino Unido
Países ricos	Entre 10.000 a 100.000	Albânia, Angola, Argentina, Austrália, Brasil, Canadá e Rússia
Países muito ricos	Maior que 100.000	Gabão, Guiana Francesa, Islândia e Suriname

Fonte: modificado de TOMAZ, 2001.

O Quadro 2 ilustra a oferta (deflúvio) e a disponibilidade hídrica do Brasil em relação a outros países e continentes no ano de 1998.

QUADRO 2 – Disponibilidade *per capita* mundial e brasileira

Regiões	Oferta (deflúvio médio) - 1998		Consumo	
	Total (km ³ /ano)	<i>Per capita</i> (m ³ /hab/ano)	Total (km ³ /ano)	<i>Per capita</i> (m ³ /hab/ano)
África	3.996	5.133,05	145,14	202
América do Norte	5.308,60	17.458,02	512,43	1.798
América Central	1.056,67	8.84,08	96,01	916
América do Sul	10.080,91	30.374,34	106,21	335
BRASIL	5.744,91	30.374,34	36,47	246
Ásia	13.206,74	3.679,91	1.633,85	542
Europa	6.234,56	8.547,91	455,29	625
Oceania	1.614,25	54.794,64	16,73	591
Mundo	41.497,73	6.998,12	3.240	645

Fonte: <http://www.ambientebrasil.com.br>

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2005), apesar de não expressar a real disponibilidade de água da bacia, o quociente entre a vazão média anual e a população residente é freqüentemente utilizado pelas Nações Unidas como indicador de disponibilidade hídrica por habitante em grandes regiões. Neste sentido, o Brasil é considerado rico em disponibilidade hídrica por habitante em grandes regiões, com uma disponibilidade de 33.000 m³/hab/ano distribuída nas doze regiões hidrográficas, que serve a um conjunto de usos múltiplos, não se tratando de água disponível para satisfazer apenas as necessidades do uso residencial ou de manutenção da saúde humana. Existe uma grande diferença entre disponibilidades *per capita* ao longo do território brasileiro.

O Quadro 3 mostra a vazão média por habitante nas doze regiões hidrográficas. No Brasil, há uma grande variabilidade espacial da vazão média por habitante, e a baixa disponibilidade de água para atender os diferentes usos está associada à conjugação de densidade populacional elevada com ocorrência de vazões específicas de média e baixa.

QUADRO 3 - Vazão média por habitante no Brasil

Região Hidrográfica	População (10 ⁶ hab)	Vazão média	
		(m ³ /s)	(m ³ /hab/ano)
Amazônia	8	131.947	533.096
Tocantins/Araguaia	7	13.624	59.858
Atlântico Nordeste Ocidental	5	2.683	15.958
Parnaíba	4	763	6.456
Atlântico Nordeste Oriental	21	779	1.145
São Francisco	13	2.850	7.025
Atlântico Leste	14	1.492	3.362
Atlântico Sudeste	25	3.179	3.972
Atlântico Sul	12	4.174	11.316
Brasil	170	179.433	33.376

Fonte: Agência Nacional de Águas - ANA (2005)

Segundo a ANA (2005), a vazão média dos rios em território brasileiro é de 179 mil m³/s, valor que corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de água doce. A Região Amazônica detém 73,6% dos recursos hídricos superficiais, ou seja, a vazão média é quase três vezes maior que a soma das vazões das demais regiões hidrográficas. A menor vazão média por habitante é observada na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, com média inferior de 1.200 m³/hab/ano.

A baixa disponibilidade *per capita* combina os efeitos da densidade populacional e da vazão disponível. Por exemplo, na Região Amazônica tem-se uma população relativamente bastante pequena para a vazão disponível, o que acaba resultando em uma disponibilidade *per capita* expressiva. Pode-se verificar que em áreas com altíssima densidade populacional, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), onde vivem 18 milhões de habitantes, a bacia hidrográfica do Alto Tietê tem uma vazão média natural de longo prazo (Q) de 90 m³/s. Assim, a disponibilidade *per capita* natural da bacia é de apenas 158 m³/hab/ano (Alves et Zanella, 2004). Pode-se dizer que a situação da RMSP leva em consideração que processos de planejamento da ocupação humana deveriam ter em conta, como componente decisiva, a situação dos recursos hídricos. A solução para a RMSP foi buscar quantidades adicionais de água em outras bacias hidrográficas.

Os principais fatores que contribuíram para a escassez de água são: o desenvolvimento desordenado das cidades, aliado à ocupação de áreas de mananciais e ao crescimento populacional, provocando o esgotamento das reservas naturais de água e obrigando as populações a buscar fontes de captação cada vez mais distantes; a poluição por falta de saneamento, a má distribuição regional da água, o desmatamento, a construção de hidrelétricas - capazes de mudar o curso original dos rios - o desperdício e as mudanças climáticas.

A escassez é, então, resultado do consumo cada vez maior, do mau uso dos recursos naturais, do desperdício, da falta de políticas públicas que estimulem o uso sustentável, a participação da sociedade e a educação ambiental, fatores que hoje têm na moderna legislação de âmbito federal e estadual uma promissora perspectiva de recuperação.

Segundo Mierzwa (2002), a água é essencial à vida, constitui elemento necessário para quase todas as atividades humanas. Sendo, ainda componente da paisagem e do meio ambiente, tem muitas funções nas atividades humanas e serve

para a manutenção de vida no planeta. Entre as várias funções e aplicações, podem-se destacar seus múltiplos usos: abastecimento doméstico e industrial, irrigação de culturas agrícolas, geração de energia elétrica, produção e processamento de alimentos, produção industrial, recreação e paisagismo, aquicultura, piscicultura, pesca, navegação fluvial e marítima, diluição de águas residuárias e assimilação de efluentes, sendo esta, talvez, uma das aplicações menos nobres que poderia ser dada para este recurso.

O princípio dos usos múltiplos estabelece que os diferentes setores usuários de recursos hídricos têm igualdade de direito de acesso à água. Em situações de escassez, a prioridade de uso da água é o consumo humano e a dessedentação de animais. Por meio da mediação de conflitos de interesse entre usuários, a legislação brasileira, tendo como braço executivo a ANA, garante o princípio dos usos múltiplos. Os diversos usos múltiplos da água geram conflitos, devido às várias demandas produzidas pelos usos múltiplos. Quando ocorre escassez, exacerbam-se os conflitos sobre os usos múltiplos, os quais podem se tornar muito acirrados quando aumentam a poluição da água e esta se torna ainda mais indisponível por contaminação. O desafio às sociedades do futuro é gerenciar os conflitos e acomodar todos os usos múltiplos com eficiência e economia. Novamente a legislação estabeleceu instrumentos à altura do desafio da gestão desse bem natural através da gestão descentralizada e participativa. De acordo com a ANA (2005), cerca de 46% das vazões de retirada no País são destinadas à irrigação, 26%, ao abastecimento urbano, 18% para a indústria, 7% para os animais, e apenas 3% para abastecimento rural.

3.3. Importância da Conservação da Água

A água se constitui em recurso natural fundamental para a indústria, e sua participação na produção é variável. A minimização do seu uso é uma questão prioritária para a maioria das indústrias de todo o mundo.

No século passado, países industrializados evoluíram de exploradores de recursos naturais abundantes para conservadores de recursos escassos. As limitações dos recursos naturais da Terra se tornaram uma preocupação crescente com o aumento da demanda para a energia elétrica e produtos industriais. Atualmente, até mesmo países em desenvolvimento estão bastante preocupados e interessados no desenvolvimento controlado e na utilização dos seus recursos.

Os produtores industriais têm que produzir a um custo desejado, mas também têm que considerar outros fatores importantes, como por exemplo: minimizar o consumo de matérias-primas e energia; minimizar a geração de resíduos pelo uso eficiente de recursos; recuperar materiais úteis dos resíduos gerados na produção e tratar todos os resíduos de forma que eles possam ser convertidos a uma forma ambientalmente aceitável antes da disposição.(Bravo, 2003).

O desenvolvimento de técnicas efetivas que conduzem à conservação da água em todos os processos que a utilizam resultará em um consumo diminuído deste valioso recurso natural. Muitos esforços estão sendo feitos e, nos dias atuais, existem várias técnicas de conservação de água desenvolvidas e aplicadas por diversas indústrias. A disponibilidade de água e o preço são a força motriz mais eficiente e estimuladora para a seleção de um ótimo método de conservação de água.

O estudo primário para conservação de água normalmente se refere à água de processo quando o seu uso excede as exigências dos equipamentos. A próxima possibilidade é o reúso da água identificada como levemente contaminada, mas aceitável para o reúso direto em um processo que não requer alta qualidade, como por exemplo, na lavagem de equipamentos. As indústrias de aço e petróleo reduziram o consumo de água, substituindo um sistema de água de resfriamento por um sistema fechado de recirculação.

O reúso do efluente tratado descartado das indústrias é, atualmente, uma grande área de investigação que possibilita novas técnicas de tratamento mais sofisticadas que estão sendo introduzidas no mercado. Teoricamente, é possível fechar muitos sistemas de processos industriais de reúso de água, mas um limite para esse recurso

sempre é estabelecido pelo controle de qualidade do produto, como por exemplo: um sistema fechado em muitas indústrias resultará em uma formação contínua de sais dissolvidos. Porém, o grau máximo de reúso pode ser individualmente estabelecido antes que os problemas possam acontecer. (Mustafá, 1998).

Na grande maioria dos casos, o efluente tratado, que é atualmente descarregado para o esgoto, pode passar por um tratamento adicional e recuperado para uso em áreas operacionais como torres de resfriamento, caldeiras ou como água de lavagem. O tratamento adicional pode envolver o uso de técnicas de membrana como osmose reversa ou ultrafiltração, ou até uma filtração clássica para remover sólidos suspensos. No caso de o esgoto sanitário tratado ser reciclado, são necessários tratamentos adicionais como raios ultravioleta ou cloração para a desinfecção, quando o fluxo de perda de água tratada contiver microorganismos.

É imprescindível que uma avaliação crítica do reúso da água seja executada antes da elaboração e desenvolvimento dos sistemas de tratamento de efluentes; isto é particularmente aplicável quando água e sistemas de administração de efluentes são projetados para novas plantas ou novas linhas de produção.

Tratamento de membrana da água de descarga da torre de resfriamento tem sido usado para reduzir o consumo de água (este tratamento produz água de qualidade elevada) e reduzir o volume de efluentes descartados. A água de descarga da torre de resfriamento pode, também, ser reduzida com o uso de abrandadores e filtragem em conjunto com o controle efetivo de depósitos e técnicas de inibição de corrosão. (Cichocki, 2005)

A segregação de fluxos incompatíveis deve ser considerada antes que o critério do processo de tratamento seja desenvolvido, pois em algumas antigas plantas já existentes, isto pode ser inviável economicamente, ou até, em muitos casos, impossível.

Não é comum que somente uma porção de fluxo de efluente contenha a maior parte de carga de sólidos suspensos. Para isto, uma parte do fluxo precisa ser tratada para remoção dos sólidos suspensos. O tratamento separado desses fluxos é econômico e permite o uso mais efetivo de técnicas de recuperação de água. A água de resfriamento ou outros fluxos de baixa contaminação podem ser segregados e reciclados para o processo produtivo como água de lavagem de equipamentos ou, em alguns casos, como água de processo. (Cichocki, 2005).

Para cada caso, considerações sobre o reúso de água ou efluentes devem ser baseadas numa revisão das atuais práticas de gerenciamento de água, incluindo avaliações de fluxos, análises químicas e balanço de massa de água e efluentes; isto também se aplica ao sistema de tratamento de efluentes existentes. O próximo passo se refere à revisão do uso de água na área de produção e avaliação de possibilidades de racionalização/redução do consumo de água.

Diferentes métodos para o reúso máximo de água de processo e de resfriamento (quando aplicável), assim como efluente tratado das estações de tratamento existentes, são avaliados incluindo análise econômica.

A análise econômica é realizada com base nos custos de investimentos, operação e manutenção dos equipamentos selecionados para a implementação, em comparação com a economia dos custos resultantes do menor consumo de água, diminuição do volume de efluente descartado e diminuição do volume de subprodutos decorrentes do sistema de tratamento de efluentes como lamas (diminuição do custo de disposição final). Com base nesta análise, decide-se por estender as modificações e a seleção de tratamento adicional; e o sistema novo é projetado e instalado.

A escassez dos recursos hídricos em algumas regiões do Brasil, principalmente no Estado de São Paulo, esta levando atualmente o setor industrial a estabelecer novas estratégias que visem racionalizar a utilização dos recursos hídricos e mitigar os impactos negativos relativos à geração de efluentes pelas indústrias. Assim ações relacionadas ao reúso da água vêm ganhando cada vez mais destaque entre os diversos setores dentre eles as indústrias rolamenteiras que dependem desse recurso tão imprescindível, tanto no consumo direto, como insumo em seus processos (cadeia produtiva).

Mundialmente, principalmente na Europa, onde a SKF do Brasil possui sua matriz, segundo Janosova, Miklankova, Hlavinek e Wintgens (2005), “O uso da água através da Europa varia de país para país devido ao clima, a cultura, a economia, e as diferentes circunstâncias políticas”.

Todos os países têm interesses comuns na utilização da água: como tratar da água, como satisfazer a demanda para as residências, indústrias e agricultura, e como proteger o ambiente e os ecossistemas aquáticos.

Reusar o efluente torna-se economicamente e ambientalmente o método mais racional para o gerenciamento integrado da água. A recuperação, reciclagem e reúso

de efluentes promove a preservação de recursos naturais e transforma-se em uma opção atrativa para conservar e preservar as fontes de água disponíveis.

De acordo com Environmental Protection Agency, 2004 “O reúso de água industrial nos Estados Unidos da América (EUA), aumentou significativamente a partir de 1990, alguns fatores, dentre eles, o reúso urbano ganhou popularidade, em decorrência da falta de água e aumento da população, principalmente em áreas de seca, pela legislação a respeito da conservação da água e da conformidade ambiental.

Com o intuito de minimizar o problema do aumento do consumo, alguns estados dos EUA aumentaram a disponibilidade da água de reúso para as indústrias e instalaram em suas plantas processos de reúso interno.

Indústrias localizadas nos estados da Califórnia, Arizona, Texas, Florida e Nevada, tem se beneficiado com a água de reúso em seus processos industriais, para resfriamento.

As indústrias químicas, refinarias de petróleo e metalúrgicas também estão se beneficiando com a água de reúso, não somente no processo de resfriamento, mais também nos processos produtivos.

O reúso da água visa principalmente induzir as empresas na busca de um novo sistema de gerenciamento de água em seus processos, objetivando a autonomia no abastecimento de água e racionalização no seu consumo.

Com a crescente deterioração da qualidade das águas dos mananciais, a necessidade de tratamento cada vez mais sofisticado onera os custos para o tratamento da água, motivo pelo qual a racionalização e a otimização do uso, o reúso e reciclo de água descartados como resíduos podem retornar ao processo, minimizando, por conseguinte, os custos.

Sintetizando, segundo o Manual de Conservação e Reúso de Água para a Indústria (FIESP - 2005) as indústrias que buscarem a implantação de um Programa de Conservação e Reúso de Água, serão beneficiadas nos seguintes aspectos:

Ambientais

- Redução de lançamento dos efluentes em cursos d'água ou sistema de captação de efluentes públicos, melhorando assim a qualidade das águas;
- Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas para as demandas necessárias.

Econômicos

- Conformidades ambientais de acordo com os padrões e normas ambientais;
- Melhoria nos processos produtivos, com ganho de produtividade e redução de custos;
- Marketing ambiental, para os clientes internos e externos;
- Abertura de novos negócios;
- Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água;
- Abertura para iniciar certificações ambientais importantes, por exemplo: ISO 14001.

Sociais

- Melhoria na imagem da empresa, junto aos órgãos ambientais e principalmente o reconhecimento da sociedade como empresa socialmente responsável;
- Ampliação de oportunidades de novos negócios e consequentemente novos clientes possibilitando assim a probabilidade da geração de empregos diretos e indiretos;
- Troca de experiências com instituições educacionais e outras empresas (*Benchmarking*).
- Enquadramento à norma SA 8000 (responsabilidade social)

3.4. Conceito de Reúso para fins Industriais

A crescente demanda, associada aos elevados custos da água, tem incentivado a avaliação de possibilidades internas de reúso e até mesmo a viabilidade do uso de efluentes tratados de concessionárias como fonte de abastecimento.

Os efluentes gerados pelas atividades consumidoras podem ser avaliados como uma possibilidade de fonte alternativa para suprimento da demanda de usos específicos, configurando o conceito de reúso da água.

O reúso da água ou uso de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido mundialmente utilizado há alguns anos. A demanda crescente por água tem feito da reutilização de tal recurso um tema de grande importância. Neste sentido, é possível considerar o reúso da água como parte integrante de um conceito mais abrangente, que é o uso racional da água, o qual, por sua vez, está inserido na conservação de recursos naturais, compreendendo a alocação e uso racional, o controle de perdas e desperdícios, bem como a minimização da produção de resíduos e do consumo.

O reúso de água favorece a redução da demanda sobre os mananciais, pela possibilidade de substituição da água de qualidade superior (potável, por exemplo), por uma outra de qualidade inferior, que seja compatível com o uso específico. Este procedimento conceitua-se como substituição de fontes. Desta forma, grandes volumes de água potável podem ser poupados, utilizando-se águas originárias de efluentes tratados para o atendimento de demandas cujas finalidades podem prescindir de água. Sua conservação está intimamente ligada à integração dos sistemas de abastecimento, esgotamento e drenagem urbana.

Ressalta-se que a água tem um mecanismo natural de circulação que resulta no processo de autodepuração, e a torna reutilizável para os mais diversos fins inclusive industriais.

É importante salientar que cidades, lavouras e principalmente indústrias utilizam-se de forma não estruturada o conceito de reúso, isto é de forma indireta e não planejada, captando a jusante águas que foram utilizadas e devolvidas aos rios por consumidores a montante. Não é mensurável o número de pessoas e indústrias no mundo que já foram e são abastecidas com água de reúso. Porém o agravamento da poluição e contaminação é um fator limitante para a continuidade deste processo, principalmente quando se trata de efluentes sem qualquer tipo de tratamento.

De acordo com Miller (2005), "O grande desafio atual da humanidade é a busca de fontes de água que possam suprir as necessidades, tanto no contexto doméstico como industrial".

O potencial futuro para uso do efluente tratado é promissor, principalmente nas indústrias, e isso varia de acordo com o processo produtivo de cada empresa e o grau de necessidade da qualidade da água, principalmente como matéria-prima.

Embora a recuperação e reúso da água sejam praticadas em muitos países, a prática consiste em uma pequena fração do volume total do efluente gerado tanto a nível doméstico como industrial.

Além da água usada para consumo devem ser observadas outras fontes com potencial de reciclagem e reúso, dentre elas a água utilizada em atividades agrícolas, nos efluentes gerados em processos industriais e domésticos, a água de chuva, a dessalinização da água do mar e do sub solo, etc.

A prática de reúso da água fornece uma larga escala de benefícios para a comunidade, empresas e ao meio ambiente.

Um dos benefícios, talvez o mais significativo da prática do reúso da água é a inclusão do termo reusar a água em um planejamento integrado. Como exemplo podem ser citadas as indústrias, onde o maior objetivo a nível estratégico é buscar o desenvolvimento sustentável, que incluem as questões de política da água até projetos que devem fazer parte do plano de negócios de cada empresa.

Estes conceitos integrados, que envolvem a convergência de diversas áreas tais como o governo, sociedade (risco a saúde), órgãos ambientais (regulamentações), e a percepção pública, apresentam também um desafio significativo em reusar a água.

Estas conexões podem exercer influências nos benefícios e desafios associados com o reúso da água e um número de barreiras e impedimentos significativos à execução de projetos de reúso de água podem ser questionados.

Há inúmeros exemplos da existência de barreiras em projetos experimentais atuais para a prática do reúso a nível mundial, incluindo: a necessidade de novas tecnologias, transferência de tecnologia, desenvolvimento de novas aplicações; a necessidade de uma instrução pública e a aceitação pública aumentada; incentivos às indústrias ou outros órgãos que adotam a prática do reúso; a falta de financiamento para projetos de reúso de água e, por fim, a necessidade para a sustentação da prática do reúso por regulamentos e política públicas.

Os conceitos integrados podem também ser fatores que afetam a prática do reúso da água de uma maneira global. As tendências atuais incluem dirigir-se aos poluentes, o uso de tratamentos de efluentes avançados incluindo as membranas, reúso para fins não potáveis, percepção pública, compreender a economia de reusar a

água, recarga de aquífero (subsolo), armazenamento e recuperação de aquíferos, gerenciamento de salinidade, aumento no uso "de fontes alternativas", restauração ambiental ou natural do sistema, usos inovativos de reúso não potável da água, e sistemas descentralizados e globais.

Desde que estas tendências em desenvolvimento são emergentes no campo da recuperação e reúso da água, há um número de necessidades de pesquisas associadas com estes tópicos. A pesquisa é necessária para melhor compreender as necessidades para o desenvolvimento de novas tecnologias e ferramentas, ou para auxiliar as empresas, comunidades e, também, as agências de água a executarem seus projetos na prática de reúso de água.

Também é importante destacar que, já em 1958, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas promulgava o princípio de substituição de fontes de abastecimento, estabelecendo que "a menos que haja excesso, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada em aplicações que tolerem o uso de água com padrão de qualidade inferior (MANCUSO E SANTOS, 2003).

Avaliando-se algumas atividades, é possível identificar muitas que toleram água com grau de qualidade inferior ao da potável ou daquela utilizada em muitos processos industriais. Na agricultura, a irrigação de determinadas culturas poderia ser feita com efluentes domésticos previamente tratados, que é uma prática bastante comum em países com baixa disponibilidade de água (Haruvy, 1998).

De acordo com Mierzwa, (2002), uma definição bastante aceita para o termo reúso de água é:

"Uso de efluentes tratados para fins benéficos, tais como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis."

O reaproveitamento ou reúso da água é a forma pela qual a água, tratada ou não, é retornada a um processo.

Segundo Navachi,(2002) o reúso pode ser direto ou indireto, decorrentes de ações planejadas ou não, conforme as definições a seguir;

- Reúso indireto não planejado da água: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto

de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição, autodepuração).

- Reúso indireto planejado da água: ocorre quando os efluentes depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico.
- O reúso indireto planejado da água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam aos requisitos de qualidade do reúso objetivado.
- Reúso direto planejado das águas: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação.
- Reciclagem de água: é o reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição.

Segundo Mierzwa (2002), embora seja uma ferramenta bastante útil, a prática de reúso não deve ser considerada, como vem sendo difundida, a principal meta em um modelo de gerenciamento de águas e efluentes - o que, de certa forma, não atende aos princípios defendidos na Agenda 21. Isto também se justifica em razão dos investimentos necessários para adequar as características dos efluentes aos requisitos de qualidade, assim como da vazão a ser tratada. A prática em questão para sua aplicação, a água de reúso deve apresentar características físicas, químicas e biológicas adequadas para cada uso. Deve-se considerar também que a concentração de determinados contaminantes aumenta à medida que se aplica o reúso. Se esses pontos não forem observados e a prática de reúso for adotada mesmo assim, todas as atividades nas quais a água de reuso é aplicada estarão comprometidas.

Para a implantação da prática de reúso é preciso ter consciência que ele não substitui integralmente a necessidade de água de uma planta industrial, pois existem

limitações de ordem técnica, operacional e ambiental que restringem a utilização em sistemas internos (fechado), portanto é necessária uma avaliação do potencial, com base nas características da água disponível para captação, do efluente gerado e da água para as aplicações do reúso, além dos padrões de emissão de efluentes e isso deve estar contemplado dentro de um sistema de gerenciamento ambiental (SGA), que atenda à legislação ambiental vigente. Para as empresas que possuem a certificação da ISO 14001, este processo é facilitado em razão da exigência do comprometimento com atendimento aos requisitos legais aplicáveis ao empreendimento.

É importante salientar para as empresas que, antes de iniciarem os estudos de reúso de efluentes internos, visando otimizar, reduzir perdas e desperdícios do uso da água em processos produtivos, deve através de dados de consumo de água, estabelecer um balanço hídrico, identificando os processos de maior consumo de água, com base nisso deve elaborar projetos de conscientização e treinamento aos seus colaboradores e parceiros sobre importância do uso racional da água.

Segundo estudos efetuados por Mohsen, Jaber (2002), “O potencial de reúso de efluente industrial em Zarqa, Jordânia é discutido, pois as exigências da água de consumo das empresas, a produção de efluentes industriais e as tecnologias de tratamento foram avaliadas, das 30 (trinta) empresas estudadas, 19 (dezenove) delas descarregam principalmente efluentes orgânicos de seus processos produtivos, são empresas do ramo alimentício. São lançados diariamente por elas uma carga orgânica aproximada equivalente a 5,3 t de DBO, deste total aproximadamente 2,2 t, são descarregados em sistema público de esgoto e 3,1t é direcionado para uso agrícola (irrigação). Foi concluído que a maioria das empresas selecionadas requerem algum tipo de tratamento de seus efluentes, além de estudos adicionais para estabelecer o tipo de pré-tratamento do efluente mais adequado e seu custo estimado”

Com isso ressalta-se ainda mais a necessidade de estudos mais apurados na prática de reúso, principalmente sobre a qualidade de água necessária e o tipo de tratamento necessário para os efluentes.

A partir das informações do referido estudo, é possível determinar através de balanço de massa a fração de efluente a ser reutilizado. É imprescindível ter a disposição os dados de qualidade e quantidade da água captada e do efluente lançado para o meio ambiente. Com essas informações determina-se, o volume de água desperdiçado ou incorporado aos produtos e a quantidade de substâncias químicas adicionadas à água durante sua utilização. Avalia-se individualmente cada parâmetro

físico, químico e/ou biológico, ou pode-se escolher um único parâmetro que represente um conjunto de substâncias, o que simplifica a elaboração do balanço de massa.

A prática de reúso é um dos componentes do gerenciamento de águas e efluentes e é um instrumento para a preservação dos recursos naturais e controle da poluição ambiental, mas deve estar vinculado a outras medidas que busquem racionalizar o uso da água e demais recursos naturais.

Sintetizando, a qualidade e a quantidade de águas necessárias para as atividades industriais dependem do ramo de atividade da indústria e sua capacidade de produção.

De acordo com Metcalf & Eddy (2003), a depender da destinação final da água recuperada, existirão níveis de qualidade indicados para cada aplicação e, conseqüentemente, um tratamento específico, adequado a cada caso. Consideram-se como principais variáveis as características da água residuárias a ser tratada e os requisitos de qualidade requeridos pela nova aplicação da água recuperada.

Os processos produtivos da indústria e produto final determina qual é grau de qualidade da água a ser utilizada, ressaltando-se que uma mesma indústria pode precisar de vários tipos de qualidade de água, cujos níveis são definidos em função de suas características físicas, químicas e biológicas. A demanda necessária de consumo, esta relacionada com a capacidade de produtiva de cada empresa.

Com base nesses fundamentos, explica-se a seguir os principais usos da águas na indústria, os padrões de qualidade da água para algumas aplicações específicas e o consumo médio de água em alguns segmentos industriais.

3.5. Os Principais Usos da Água na Indústria

De maneira geral, a quantidade e a qualidade da água necessária ao desenvolvimento das diversas atividades consumidoras em uma indústria dependem de seu ramo de atividade e capacidade de operação, segundo Nordel, 1961; Shereve e Brink Jr., 1980; Nalco, 1988 e Silva e Simões, 1999 (apud MIERZWA, HESPANHOL 2005) a água encontra as seguintes aplicações na indústria como segue:

3.5.1. Consumo Humano

Água utilizada para fins sanitários, cozinhas, refeitórios, fins potáveis, rega de áreas verdes, equipamentos de segurança como por exemplo lava olhos e sistemas de combate a incêndios (hidrantes e sistemas fixos), ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto:

3.5.2. Matéria-prima

Como matéria-prima, a água é incorporada ao produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de bebidas, produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, cosméticos, alimentos e conservas e farmacêutica. A água também pode ser utilizada para gerar outros produtos, como o hidrogênio, por meio de eletrólise da água. Uso como fluido auxiliar

A água pode ser o fluido auxiliar de diversas atividades, destacando-se a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, como veículo ou em operações de lavagem.

3.5.3. Uso para geração de energia

Este tipo de aplicação envolve a transformação de energia cinética, potencial ou térmica acumulada na água em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica. O grau de qualidade da água depende do processo de geração de energia em questão.

3.5.4. Uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento

Nesses casos, a água é usada para aquecer, principalmente na forma de vapor; para remover o calor de misturas reativas ou de outros dispositivos que exijam resfriamento devido à geração de calor ou as condições de operação estabelecidas, já

que a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema e danificar os equipamentos.

3.5.5. Transporte e assimilação de contaminantes

Embora não seja uma das aplicações mais nobres, a maioria das indústrias inevitavelmente utiliza a água para esta finalidade, seja em suas instalações sanitárias, na lavagem de equipamentos e instalações ou para incorporação de subprodutos sólidos, líquidos ou gasosos, gerados pelos processos industriais.

Dependendo do processo produtivo, a água deve ter características físicas, químicas e biológicas tais que possibilitem a obtenção dos melhores resultados possíveis, sem comprometer o resultado do processo. Quando a água é empregada para a limpeza de equipamentos, por exemplo, pode ser que se exija um grau de pureza elevado, principalmente quando os processos produtivos não tolerem a presença de outras substâncias químicas e/ou biológicas.

Na tabela, 1, seguem os dados internacionais de distribuição do consumo de água por tipo de atividade.

Devido ao avanço tecnológico e a crescente preocupação ambiental, a maioria das empresas nacionais já devem consumir menos água do que especificado na tabela 1, isso porém não significa que o potencial de racionalização esteja esgotado, pelo contrário, a verdade é que cada vez mais as legislações ambientais ficam mais restritivas e novas práticas de conservação da água vão se aperfeiçoando, obrigando as empresas a buscarem alternativas para reduzir o consumo isso de forma contínua, portanto para as grandes e medias empresas, este parâmetro deve fazer parte do plano de negócios, com destinação de verbas específicas.

Tabela 1 - Distribuição consumo de água na indústria por atividade

Indústria	Distribuição do consumo de água (%)		
	Resfriamento sem contato	Processos e Atividades Afins	Uso sanitário e outros
Carne enlatada	42	46	12
Abatimento e limpeza de aves	12	77	12
Laticínios	53	27	19
Frutas e vegetais enlatados	19	67	13
Frutas e vegetais congelados	19	72	8
Moagem a úmido de milho	36	63	1
Açúcar de cana-de-açúcar	30	69	1
Açúcar de beterraba	31	67	2
Bebidas maltadas	72	13	15
Indústria têxtil	57	37	6
Serrarias	58	36	6
Fabricas de celulose e papel	18	80	1
Cloro e álcalis	85	14	1
Gases industriais	86	13	1
Pigmentos inorgânicos	41	58	1
Produtos químicos inorgânicos	83	16	1
Materiais plásticos e resinas	93	7	*
Borracha sintética	83	17	*
Fibras de celulose sintéticas	69	30	1
Fibras orgânicas não celulósicas	94	6	*
Tintas e pigmentos	79	17	4
Produtos químicos orgânicos	91	9	1
Fertilizantes nitrogenados	92	8	*
Fertilizantes fosfatados	71	28	1
Negra de fumo	57	38	6
Refinaria de petróleo	95	5	*
Pneus	81	16	3
Cimento	82	17	1
Aço	~	~	1
Fundição de terra e aço	34	58	8
Cobre primário	52	46	2
Alumínio primário	72	26	2
Automóveis	28	69	3
* Valor inferior a 0,5% do volume total de água consumido			
Fonte: Van Der Leeden, Troise e Todd, 1990 (Apud Mierzwa, Hespanhol 2005, p 42)			

4. REQUISITOS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA USO INDUSTRIAL

Em virtude da sua aplicação e do seu grau de qualidade, a água pode ser enquadrada em uma das quatro categorias apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Categorias de água de acordo com sua qualidade

Grau de qualidade	Parâmetros			
	SDT (mg/L) ^a	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Dureza (mg/L) ^b
Tipo I: água ultrapura	< 10	<1	0	0
Tipo II: água de processo de alta qualidade	10 - 60	0 – 10	0	<30
Tipo III: água tratada	20 - 60	0 – 10	0 – 10	30-75
Tipo IV: água bruta ou reciclada	60 - 800	10 - 150	10 -100	-
a) Valores baseados nos dados fornecidos pela ANEEL				
(b) Valores baseados nos dados fornecidos pela ANEEL e pela classificação da água em função da dureza				
Fonte: Higgins(1989) (Apud Mierzwa,Hespanhol 2005, p.33)				

É possível afirmar que a qualidade da água é definida em função das características físicas, químicas, biológicas e radioativas, segue abaixo os tipos de consumo:

Consumo Humano

- Água potável, atendendo às características estabelecidas pela Portaria nº 518 – Norma de qualidade da água para o consumo humano, de 25/03/2004, Ministério da Saúde (www.saude.gov.br);

Matéria prima

Para este tipo de uso certamente o grau de qualidade pode variar significativamente, podendo-se admitir a utilização de uma água com características equivalentes ou superiores à água utilizada para consumo humano, tendo-se como principal objetivo à proteção da saúde dos consumidores finais e/ou garantia da qualidade final do produto;

Fluido auxiliar

Similar a utilização da água como matéria prima, o grau de qualidade da água para uso como fluido auxiliar irá depender do processo à que esta se destina. Caso a água venha a ter contato com o produto final, o grau de qualidade deve ser restritiva, em função do tipo de produto que se deseja obter, caso contrário a água pode apresentar um grau de qualidade menos restritiva, comparando-se com a água de consumo humano;

Geração de energia

Dependendo do tipo de processo de transformação de energia, a água deverá apresentar graus muito diferentes de qualidade. No aproveitamento da energia potencial ou cinética, a água é utilizada no seu estado natural, podendo-se utilizá-la na forma bruta, captada de um rio, lago, ou outro sistema de reservação, devendo-se impedir que materiais de grandes dimensões, detritos, danifiquem os dispositivos de geração de energia. Para o aproveitamento da água para geração de energia térmica, a mesma deve apresentar um elevado grau de qualidade, para que não ocorram problemas nos equipamentos de geração de vapor ou no dispositivo de conversão de energia, como por exemplo crostas formadas pela presença de dureza temporária e presença de silicatos solúveis junto a sais de magnésio;

Fluido de aquecimento e/ou resfriamento

Para a utilização da água em forma de vapor, o grau de qualidade deve ser bastante restritivo, enquanto a utilização da água como fluido de resfriamento requer

um grau de qualidade bem menos restritivo como mostra na tabela 3, (padrões recomendados pela Environmental Protection Agency, para água de reposição em sistemas de resfriamento com circuitos semi-abertos com recirculação).

Tabela 3 – Padrões de qualidade recomendados para água de reúso para torres de resfriamento

Parâmetro ^a	Limite recomendado ^b
Cl	500
Sólidos totais dissolvidos	500
Dureza	650
Alcalinidade	350
pH	6,9 – 9,0
DQO	75
Sólidos em suspensão totais	100
Turbidez	50
DBO	25
Material orgânico ^c	1,0
NH ₄ N	1,0
PO ₄	4
SiO ₂	50
Al	0,1
Fe	0,5
Mn	0,5
Ca	50
Mg	0,5
HCO ₃	24
SO ₄	200

^a – Todos os valores em mg/l. exceto pH

^b – Water Pollution Federation, 1989

^c – substâncias ativas ao azul de metileno

Fonte: Mierzwa (2002)

Muitos processos produtivos exigem um controle maior nos parâmetros físico-químico da água, de modo a prevenir riscos adicionais no processo produtivo, na tabela 4, contêm dados sobre requisitos da água para aplicações industriais.

Tabela 4 - Requisitos de qualidade para a água de uso industrial recomendados em mg/l, exceto para pH e cor, que são expressos em unidades

Parâmetro	Tipo de Indústria						
	Papel e Celulose			Química	Carvão e petróleo	Têxtil	Cimento
	Polpa mecânica	Polpa química, parda	Polpa química branqueada				
Cobre					0,05	0,01	
Ferro	0,3	1,0	0,1	0,1	1,0	0,1	2,5
Manganês	0,1	0,5	0,05	0,1		0,01	0,5
Cálcio		20	20	68	75		
Magnésio		12	12	19	30		
Cloreto	1000	200	200	500	300		250
Bicarbonato				128			
Nitrato				5			
Sulfato				100			250
Sílica		50	50	50			
Dureza		100	100	250	350	25	35
Alcalinidade					125		400
SDT				1000	1000	100	600
SST		10	10	5	10	5	500
Cor	30	30	10	20		5	
PH	6-10	6-10	6-10	6,2 - 8,3	6-9		6,5 - 8,5

Fonte: Crook, 1996 (Apud Merzwa, Hespanhol 2005 p 35)

4.1. Indicadores de demanda de água pelas indústrias

Os indicadores de consumo de água para a indústria possibilita avaliar sua eficiência quanto ao uso da água, objetivando a melhoria continua nos processos produtivos que utilizam água, minimizando assim os impactos gerados, seja pelo aspecto qualitativo e quantitativo.

Na tabela 5, seguem dados de consumo de água industrial e potável de uma grande multinacional rolamenteira, sediada em São Paulo, cujo tipos de rolamentos automotivos e processos se assemelham a SKF do Brasil Ltda. Ressalta-se que os dados apresentados na tabela dão apenas um indicativo do consumo de água para este setor, uma vez que não são apresentados os uso específicos por atividade.

Tabela 5 – Consumo de água industrial e potável em indústria rolamenteira, sediada em S.Paulo.

Tipo	Consumo meses / Ano em m ³						
	Dez/05	Nov/05	Out/05	Set/05	Agost/05	Jul/05	Jun/05
Água	1.199,00	1.984,00	2.132,00	2.104,00	2.036,00	1.973,00	2.104,00

Fonte: Dados de consumo de água - SABESP, 2005.

A quantidade de água necessária para o atendimento das diversas atividades industriais, é influenciada por diversos fatores como segue (Mierzwa, 2002):

- Ramo de atividade;
- Capacidade de produção;
- Condições climáticas da região;
- Disponibilidade de água;
- Método de produção;
- Idade das máquinas e instalações;
- Práticas operacionais;
- Cultura da empresa e da comunidade local;
- Inovação, tecnologia, investimento em pesquisa etc.

Por essas razões, se forem consideradas indústrias do mesmo ramo de atividade, com a mesma capacidade de produção, porém instaladas em diferentes regiões ou com idades diferentes, o volume de água consumida será diferente.

O consumo de água na indústria pode ser diferente em razão da tecnologia aplicada na produção. As indústrias mais modernizadas, que utilizam novas tecnologias e métodos de produção, utilizam melhor a água e os outros recursos naturais. Já numa instalação mais antiga, com tecnologias ultrapassadas e obsoletas, o desgaste de componentes e equipamentos pode ocasionar paradas constantes para manutenção e perdas devido a vazamentos, por esta razão as indústrias estão investindo em programas de manutenção em máquinas e manutenção produtiva total. Como exemplo a própria SKF do Brasil Ltda, objeto deste estudo de caso, com a implantação da metodologia TPM e canal zero defeito.

Como fonte de referência, são apresentaremos na tabela 6 – indicadores internacionais de consumo de água.

Tabela 6 - Consumo de água em algumas indústrias no mundo

Indústria e Produtos	Unidade de Produção (toneladas, exceto quando especificado)	Necessidade de água por unidade de produção (litros)
Produtos alimentícios		
Pães e massas		600 a 4.200
Comida enlatada		
Peixe enlatado e em conserva		400 a 1.500
Frutas e vegetais		2.000 a 80.000
Carne		
Matadouro	Tonelada de carcaça	4.000 a 10.000
Carne enlatada	Tonelada de carne preparada	8.800 a 34.000
Derivados de carne, Bélgica	Tonelada de carne preparada	200
Fábrica de salsicha		20.000 a 35.000
Peixe		
Peixe fresco e congelado		30.000 a 300.000
Peixe enlatado		58.000
Conserva e preservação de peixes		16.000 a 20.000
Aves		
Aves, Canadá		6.000 a 43.000
Frangos, EUA	Por ave	25
Perus, EUA	Por ave	75
Leites e derivados		
Manteiga		20.000
Queijo		2.000 a 27.500
Leite	1.000 litros	2.000 a 7.000
Leite em pó		45.000 a 200.000
Laticínios em geral, Canadá		12.200
Sorvetes, EUA		10.000
Iogurte, Chipre		20.000
Açúcar		
Beterraba		1.800 a 20.000
Cana-de-açúcar		15.000
Bebidas		
Cerveja	1.000 litros	6.000 a 30.000

Indústria e Produtos	Unidade de Produção (toneladas, exceto quando especificado)	Necessidade de água por unidade de produção (litros)
Whisky, EUA	1.000 litros	2.600 a 76.000
Destilados alcoólicos, Israel	1.000 litros	30.000
Vinho, França	1.000 litros	2.900
Vinho, Israel	1.000 litros	500
Alimentos Diversos		
Chocolates e confeitos		15.000 a 17.000
Gelatina comestível		55.100 a 83.500
Farinha de trigo		700 a 2.000
Macarrão		1.200
Papel e Celulose		
Polpa mecânica	Tonelada de polpa de madeira	30.000 a 40.000
Polpa ao sulfato	Tonelada de polpa branqueada	170.000 a 500.000
Polpa ao sulfito	Tonelada de polpa branqueada	300.000 a 700.000
Papel jornal		165.000 a 200.000
Papel fino	900.000 a 1.000.000	
Papel para impressão	500.000	
Petróleo e combustíveis sintéticos		
Gasolina para aviação	1.000 litros	25.000
Gasolina	1.000 litros	7.000 a 10.000
Querosene		
Extração de petróleo	1.000 litros de petróleo cru	4.000
Refinarias de petróleo	Tonelada de petróleo cru	10.000 a 30.500
Indústria química		
Ácido acético		417.000 a 1.000.000
Alumina (processo Bayer)		26.300
Amônia sintética	Tonelada de amônia líquida	129.000
Soda caústica		60.500 a 200.000
Indústria têxtil		
Maceração e tratamento de linho		30.000 a 40.000
Tratamento de lã		240.000 a 250.000
Tingimento de tecidos		52.000 a 560.000
Tecelagem de algodão		10.000 a 250.000
Mineração e Extração a céu aberto		
Ouro	Tonelada de minério	1.000
Minério de ferro		4.200
Bauxita	Tonelada de minério	300

Indústria e Produtos	Unidade de Produção (toneladas, exceto quando especificado)	Necessidade de água por unidade de produção (litros)
Cobre		3.100 a 3.750
Ferro e produtos de aço		
Alto-forno sem reciclagem		50.000 a 73.000
Aço acabado e semi-acabado		22.000 a 27.000
Produtos Diversos		
Indústria automobilística	Veículo produzido	38.000
Cimento Portland		550.000 a 2.500
Geração de Energia (termelétrica), EUA	KWh	200
Geração de Energia (termelétrica), China	KWh	230
Produção de Fertilizantes, Finlândia	Tonelada de nitrato de potássio	270.000
Vidro		68.000
Lavanderias		20.000 a 50.000
Beneficiamento de couro	Tonelada de peles	50.000 a 125.000
Metais Não ferrosos, brutos e semi-acabados		80.000
Borracha sintética		83.500 a 2.800.000
Amido, Bélgica	Tonelada de milho ou batata	10.000 a 18.000
<i>Fonte: Van Der Leeden, Troise e Todd, 1990 (adaptado), (Apud Mierzwa, Hespanhol 2005, p40 e41)</i>		

Com relação à demanda de água por indústrias similares a do estudo de caso, na tabela 7 são apresentados os dados de consumo de água da unidade da SKF, da cidade de Pune na Índia, cujo processo produtivo é semelhante a SKF do Brasil.

Pelos dados da tabela verifica-se que houve uma redução no consumo de água, decorrente da implantação da Ferramenta de melhoria continua SIX SIGMA(método utilizado para soluções de problemas e melhoria de processos, baseando-se em análises estatísticas, e sendo perpetuado sob o controle estatístico (<http://www.qualimaticconsultoria.com.br>)).

Tabela 7 – Consumo de água na SKF, Pune - Índia

Ano	Consumo de água em m3
2003	19.505,00
2004	16.758,50
2005	18.550,80

Fonte = SKF. *Annual Sustainability Report*, Gôtherburgo, 2005.

Avaliando-se os dados apresentados na tabela 7 verifica-se:

- Redução de 14% no consumo de água comparando 2004 com 2003
- Redução de 4,9 % no consumo de água comparando 2005 com 2003
- Acréscimo de 10% no consumo de água comparando 2005 com 2004, a justificativa deste acréscimo segundo a unidade, houve ampliação das instalações da fábrica, com a implantação de novos canais de produção, que ocasionaram novas contratações de mão de obra e uso de água no processo produtivo, principalmente nas centrais de óleo emulsionáveis(refrigerantes).

5. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido considerando-se as seguintes etapas:

Estudo do processo produtivo da empresa, desde a entrada da matéria prima até o produto final, onde os conceitos de reúso identificados em bibliografia especializada, teriam potencial de aplicação;

Realização de balanço hídrico na empresa, mediante os resultados do monitoramento diário dos hidrômetros existentes, controle esse dentro do programa de racionalização de consumo de água, pertencente ao sistema de gerenciamento ambiental (SGA);

Mediante os resultados das etapas anteriores, definição do processo produtivo a ser estudado, onde os conceitos de reúso podem ser aplicados;

Coleta de dados, análise e descrição do processo de tamboreamento de rolos cônicos a fim de verificar as possibilidades de reúso de água no processo;

Realização do balanço hídrico da atividade de tamboreamento de rolos cônicos para orientar o dimensionamento do sistema de tratamento do efluente gerado no processo;

Análise do potencial de reúso da água do tamboreamento de acordo com os parâmetros evidenciados nas avaliações quantitativas e no balanço hídrico;

Avaliação do processo atual de tratamento do efluente gerado pelo processo de tamboreamento, visando identificar a necessidade de alterações visando o reúso da água;

Definição da metodologia para tratamento do efluente gerado no processo de tamboreamento para reúso.

Realização de ensaios de JAR TEST para definição do melhor coagulante/floculante, bem como a determinação do pH ótimo de floculação e as concentrações ideais para o tratamento físico/químico;

Elaboração de um balanço de massa para definir o máximo potencial de reúso do efluente gerado no processo;

Determinação e análise dos custos de tratabilidade;

Identificação dos pontos recomendados para estudos futuros.

6. CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA.

A empresa objeto deste estudo de caso é a SKF do Brasil Ltda, localizada na Rodovia Anhanguera KM 30, Polvilho na Cidade de Cajamar S.Paulo, cuja suas principais características e desenvolvimento seguem no resumo abaixo:

Em 1907, na Suécia, o engenheiro Sven Wingquist, que trabalhava em uma indústria de tecelagem, projetou e construiu o primeiro rolamento autocompensador de esferas, que solucionou seus problemas de manutenções constantes, nos longos eixos de transmissão das máquinas de tecer.

O rolamento funcionou tão bem que ele começou a fabricar em escala e assim se deu início à Svenska Kullager Fabriken, que significa Fábrica Sueca de Rolamentos, hoje conhecida internacionalmente como SKF.

A história da SKF do Brasil iniciou-se em meados da primeira década do século passado, mais precisamente em 27 de janeiro de 1915. Nessa época a SKF tinha uma loja instalada no Rio de Janeiro e realizava importações de diversos tipos de rolamentos para suprir o mercado brasileiro.

Em junho de 1963, foi inaugurada sua primeira unidade fabril, às margens da Rodovia Presidente Dutra SP, e durante todos esses anos ocorreram muitas alterações na fábrica de Guarulhos SP, acompanhando o ritmo do desenvolvimento do país. Atualmente, a moderníssima fábrica da SKF do Brasil, faz parte do Grupo Sueco AB SKF, que é líder mundial no mercado de rolamentos, mantendo suas vendas através de uma grande rede de distribuidores autorizados.

Sintetizando:

Nº de funcionários: 38.700 (global do grupo)

Nº de Funcionários: 601 (Brasil)

Presidente do grupo: Tom Johnstone

Ano de fundação: 1907 (por Sven Wingquist)

Número de locais de produção: 83 em 22 países

Número de empresas: aproximadamente 150

Certificações : Segurança/Saúde e Meio Ambiente

ISO 14001 e OHSAS 18001

Organização: As empresas da SKF estão organizadas em cinco divisões: industrial, automotiva, elétrica, de serviços, e aeroespacial e de aço.

A unidade fabril de Cajamar pertence a unidade automotiva do grupo, fabricando rolamentos automotivos, sendo rolamentos de rolos cônicos (Taper Roller Bearing -TRB) e rolamentos de dupla camada de esferas – unidade de cubo de roda (Hab Unit Bearing - HBU).

Basicamente a unidade fabril da SKF do Brasil Ltda, é constituída das etapas apresentadas no fluxograma 1, sintetizadas abaixo:

1) Forjamento dos anéis

A matéria prima (barras de aço), são forjadas em prensas verticais e horizontais, com intuito da obtenção dos aneis interno e externo;

Após forjados os aneis são laminados em laminadoras a quente para a obtenção da espessura ideal de acordo com o tipo de rolamento a ser executado;

Em virtude do aquecimento dos anéis, os mesmos passam por um tratamento térmico, objetivando a diminuição da dureza do material, igualando as propriedades do aço, após os anéis são encaminhados para a usinagem para a retirada do sobre metal;

Já usinados, os anéis necessitam terem suas durezas aumentadas, e isso é feito nos fornos de tempera e revenimento;

Temperados, os anéis são retificados brunidos e montados, de acordo com seu tipo e especificação como por exemplo, rolamentos de roda, câmbio e embreagens etc.

2) Prensagem dos rolos

A matéria prima, aço em arames, são prensados em prensas horizontais, e o tamanho irá variar de acordo com o tipo e especificação dos rolamentos a serem confeccionados (rolamentos cônicos);

Prensados os rolos necessitam ser desengraxados e retirados suas arestas (rebarbas), inerente ao processo de prensagem e isso é feito no tamboreamento de rolos, objeto deste estudo de caso;

Desengraxados e isento de arestas (rebarbas) os rolos serão temperados em fornos de tempera e revenimento;

Já temperados os rolos são novamente lavados e encaminhado para serem retificados, brunidos e acondicionados em carretéis, posteriormente são encaminhados para a montagem onde serão acondicionados em gaiolas (suporte de rolos) e posteriormente montados entre os anéis interno e externo.

6.1. Sistema de abastecimento e distribuição de água na planta de Cajamar.

Captação em poço artesiano com vazão média de $30 \text{ m}^3/\text{h}$;

Reserva de água tipo torre com capacidade de 950 m^3

Uso doméstico = $94 \text{ m}^3/\text{dia}$

Uso industrial = $141 \text{ m}^3/\text{dia}$

Produção média de rolamentos = 1.620.000 de unidades/mês, sendo:

TRB (rolamentos cônicos de rolos) = 1.080.000 de unidades/mês

HBU (rolamentos de dupla camada de esferas) = 540.000 de unidades /mês

Volume médio consumido de água em cada rolamento produzido na planta de Cajamar = 2,6 litros

Consumo médio doméstico por Colaborador = 150 litros/dia

O fluxograma 2 apresenta o consumo setorial de água na empresa.

Fluxograma do Processo Produtivo

Quadro 1 – Fluxograma do processo produtivo

Quadro 2 – Fluxograma do Balanço Hídrico

7. PROCESSO INDUSTRIAL E POTENCIAL DE REÚSO

Para verificar o potencial de reúso no processo de tamboreamento de rolos, foram levados em consideração os seguintes aspectos:

- A qualidade e quantidade de água utilizada no sistema de tamboreamento;
- Vazão de consumo diário;
- Utilização do processo de tratamento atual (filtragem com papel), para compor a futura proposta do tratamento para reúso;
- Sistema hidráulico atual, compatível com proposta de reúso;
- Existência de local para instalação do sistema de tratamento a ser proposto para reúso.

7.1. Sistemática do processo de tamboreamento de rolos cônicos

O Processo consiste na remoção das rebarbas proveniente do sistema de prensagem em prensas horizontais, bem como efetuar o desengraxe químico dos rolos cônicos para proporcionar que os processos de retífica e brunimento satisfaçam os padrões de qualidade, fornecendo assim ao rolamento condições seguras de operação.

7.2. Etapas do processo de tamboreamento

7.2.1. 1ª Etapa

Sintetizando esta etapa, os arames após passarem por processo de prensagem (figura 2), tomam formas e tamanhos determinados pelo tipo de rolamento a ser fabricado e isso é determinado pelo Setor de Planejamento de fábrica.

Ressalta-se, novamente, que os rolos variam de tamanho e espessura, porém sua forma é sempre cônica, para serem aplicados nos rolamentos automotivos cônicos (TRB).

Figura 2 - Prensa horizontal, executando a prensagem dos arames.

7.2.2. 2ª Etapa

Nesta etapa os rolos cônicos são colocados em tambor, juntamente com produtos químicos específicos para que haja um desengraxe, em virtude dos rolos estarem umedecidos com óleo de refrigeração proveniente da etapa anterior.

Também serão removidas, por abrasividade, pequenas arestas (rebarbas), intrínsecas do processo de prensagem, para acelerar o mesmo são colocados no tambor pedaços de rebolos provenientes de sucatas dos processos de retíficas.

O desengraxe dos rolos cônicos se faz necessário para garantir a qualidade da 4ª etapa, evitando a combustão do óleo refrigerante impregnado nos rolos cônicos e, conseqüentemente, emissões atmosféricas, além do potencial de alteração significativa do processo.

A retirada das arestas (rebarbas), também é de suma importância visto que a sua presença, impossibilita o transporte automatizado através de tubos no processo de retífica e brunimento. A figura 3 ilustra o processo desenvolvido da segunda etapa de processamento.

Figura 3 – Execução da atividade de desengraxe e remoção de arestas (rebarba)

7.2.2.1. Dados técnicos da 2ª etapa:

Consumo de água por tambor = 20 litros

Tempo médio de processamento (giro) = 16 horas

Número médio de rolos por tambor = 140.000 unidades

Temperatura média da água por tambor = 60° C

Solução desengraxante:

- Soda cáustica em palha ;
- Solvente (Exxsol D 80);

Material abrasivo

- Sucatas de rebolo.

7.2.3. 3ª etapa

Nesta etapa, após os rolos cônicos estarem limpos e isentos de arestas (rebarbas), e para sua liberação para a próxima etapa o operador do tambor verifica visualmente, salientamos que o ciclo desta etapa dura aproximadamente 16 horas.

Em seguida há necessidade do escoamento da solução desengraxante, bem como a retirada do material abrasivo (sucata de rebolo). Para isso o tambor é inclinado mecânicamente através de acionamento elétrico, para que a solução seja direcionada para a canaleta de captação de efluente industrial, já o material abrasivo (sucata de rebolo) e rolos são retidos no interior do tambor, com o auxílio de um dispositivo manual (peneira), conforme podem ser observados nas figuras 4, 5 e 6. Observa-se que o material abrasivo(sucata de rebolo) pode ou não ser reutilizado na próxima batelada, ficando a cargo do operador de tambor esta definição.

Já nesta etapa também é exetuada uma desengraxe para permitir a total isenção de resíduos nos rolos cônicos, o efluente (água), também será encaminhado para a canaleta de captação de efluente industrial.

7.2.3.1. Dados técnicos da 3ª Etapa

Consumo de água por tambor (batelada) = 200 litros

Tempo médio de processamento (giro) = 30 min

Figura 4 – Lavagem dos rolos

Figura 5 – Lavagem/enxague dos rolos

Figura 6 – Retirada do excesso de água do tambor

7.2.4. 4ª Etapa

Nesta etapa os rolos cônicos serão encaminhados para o forno de tempera e revenimento.

A necessidade da realização da tempera nos rolos cônicos é para que os mesmos adquiram a dureza e a ductibilidade estabelecidos, pelo sistema de qualidade assegurada da empresa.

Resumidamente temperar um metal é aquecê-lo e resfriá-lo consecutivamente de forma controlada, para obter determinadas propriedades mecânicas e físicas, o revenimento consiste em aquecer o metal a uma temperatura abaixo da temperatura de austenitização (temperatura mínima para formação da autenita – tipo de lamela do ferro), a fim de reagrupar as lamelas internas, proporcionando maior ductibilidade ao material (fase de maleabilidade do material) e reduzindo as tensões adquiridas no processo de tempera.

7.2.5. 5ª etapa

Nesta etapa ocorrerá a limpeza final dos rolos cônicos, a fim de remover o óleo originado da tempera, assegurando assim que mesmos sejam encaminhados para as retíficas isentas de impurezas, garantindo assim um excelente desempenho de retificação e posterior brunimento (retifica fina – lapidação do anel). (figura 7).

Figura 7 – Limpeza final dos Rolos

A principal característica desta etapa é o consumo de água, pois não há critério técnico específico de quantas vezes o operador de tambor ira lavar e enxaguar, pois o critério adotado para isso é absolutamente visual.

7.2.5.1. Dados técnicos da 5ª etapa.

Consumo de água por tambor (batelada) = 220 litros

Tempo médio de processamento (giro) = 20min

Número médio de rolos por tambor = 140.000 unidades

Temperatura média da água por tambor = 60° C

Solução desengraxante:

- Soda cáustica em palha ;

8. CONSUMO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES

Após estudo minucioso do processo de tamboreamento de rolos cônicos, e principalmente constatações em conjunto com os operadores de tambor, para se ter uma estimativa segura de consumo, principalmente nas atividades que necessitam da sensibilidade do operador na dosagem da água. De posse de todos os resultados comparamos as mesmas com as informações dos dados reais de consumo verificado no hidrômetro do mesmo setor, com isso concluímos os valores de consumo por etapa, como segue na tabela 8 :

Tabela 8 - Consumo de água no processo de tamboreamento.

Nº da etapa	Descrição da etapa	Consumo de água na etapa
1	Prensagem de rolos	Não há consumo
2	Desengraxe e rebarbação de rolos	20 litros
3	Lavagem/enxague de rolos	200 litros
4	Tempera e revenimento	Não há consumo
5	Lavagem final de rolos	440 litros

Pelos dados acima se verifica que o consumo médio de água por rolo cônico no processo de tamboreamento é 0,005 l/rolo.

Cabe ressaltar que o número de processos é dimensionado com a necessidade da produção (retífica, brunimento e montagem), podendo atingir 8 processos/dia, portanto tomando como base esta informação o consumo diário de água no setor de tamboreamento de rolos cônicos é de aproximadamente:

$$\underline{5,3\text{m}^3/\text{dia}}$$

$$\underline{160\text{m}^3/\text{mês.}}$$

O levantamento do consumo de água no processo de tamboreamento resultou nos dados apresentados no gráfico 1.

Gráfico 1 – Gráfico de consumo de água mensal no Tamboreamento

8.1. Características físicas e químicas da água utilizada no processo.

De acordo com o levantamento efetuado, no laboratório da empresa na existe nenhuma orientação sobre os requisitos mínimos de qualidade para a água de uso no processo de tamboreamento, considerando-se adequada a qualidade da água naturalmente disponível. Por meio de consulta à unidade da SKF da cidade de Pune na Índia, obtivemos a informação de que a água de tamboreamento deve apresentar as características apresentadas na tabela 9:

Tabela 9 – Características físicas e químicas na atividade de tamboreamento da unidade da SKF na cidade de Pune na Índia.

Parâmetros	Valor
pH	5,5 – 9,0 upH
Sólidos Suspensos	100 mg/l
DBO	100 mg/l
DQO	250 mg/l
Óleos e Graxas	10 mg/l
Sólidos Dissolvidos Totais	2.100mg/l
Sulfatos	1.000 mg/l
Cloretos	600 mg/l
Fosfato	5 mg/l
Cianeto	0,2 mg/l
Cromo Hexavalente	0,1 mg/l
Cromo Total	2,0 mg/l
Chumbo	0,1 mg/l
Oxigênio Dissolvido	5 mg/l
<i>Fonte: PAWAR, 2005</i>	

Atualmente, no processo da SKF utiliza-se a água proveniente do reservatório elevado, a qual apresenta potabilidade de acordo com a portaria nº 518 do Ministério da Saúde e com temperatura de 60 °C.

8.2. Característica do efluente gerado no processo de tamboreamento

De acordo com as análises efetuadas durante o período de estudo os valores dos parâmetros físicos e químicos do efluente gerado no processo de tamboreamento de rolos cônicos, apresenta as características apresentadas na tabela 10. Ressalta-se que estas análises correspondem a uma média anual.

Tabela 10 – Características físicas e químicas do efluente bruto do processo de tamboreamento.

Parâmetro	2003	2004	Média	Unidade
Arsênio	não de detectado	0,04	0,04	mg/l
Bário	0,26	0,50	0,38	mg/l
Boro	11,30	0,09	5,70	mg/l
Cádmio	não de detectado	< 0.025	<0,025	mg/l
Chumbo	não de detectado	0,10	0,10	mg/l
Cianeto	0,01	< 0.007	0,01	mg/l
Cobre	1,13	1,10	1,12	mg/l
Cromo Hexavalente	não de detectado	< 0.008	< 0.008	mg/l
Cromo Total	6,42	4,96	5,69	mg/l
DBO (5 dias, 20 °C)	360,00	585,00	472,50	mg/l
DQO	1.900,00	1.272,00	1.586,00	mg/l
Estanho	não de detectado	< 2	< 2	mg/l
Fenóis	0,70	0,17	0,43	mg/l
Ferro Solúvel	1,45	9,50	5,48	mg/l
Fluoreto	2,00	0,80	1,40	mg/l
Manganês Solúvel	não de detectado	0,98	0,98	mg/l
Mercurio	não de detectado	0,01	0,01	mg/l
Níquel	0,74	0,36	0,55	mg/l
Óleos e Graxas	76,00	109,00	92,50	mg/l
PH	12,40	7,82	10,11	UpH
Prata	não de detectado	< 0.005	< 0,005	mg/l
Selênio	0,01	0,01	0,01	mg/l
Sólido Sedimentáveis	5,00	8,00	6,50	ml/l
Zinco	6,95	8,30	7,63	mg/l
Condutividade Elétrica	3.550	3.220	3.385	µS/cm
<i>Fontes: ALFA, 2003 e DIGILAB, 2004</i>				
<i>Para feitura da média levamos em consideração 01 ponto de coleta, sendo uma coleta por ano</i>				

9. METODOLOGIA ATUAL DE TRATAMENTO DO EFLUENTE GERADO NO PROCESSO.

Existe uma variação de consumo de água nas etapas do processo de tamboreamento de rolos cônicos, e isso se deve pelas seguintes razões:

- Falta de padronização de consumo de água, nas diversas fases do tamboreamento;
- Como a empresa trabalha em turnos de revezamento, existem para cada turno operadores de tambor diferentes, e pela falta de padronização cada um possui métodos de lavagens diferentes no que tange ao abastecimento e enxague dos rolos, para este caso a sensibilidade e prática de cada operador é fator importante para análise de consumo de água;
- Perda e aproximadamente de 5% da água devido a evaporação visto da utilização de água quente.

Consideramos para fins de estudo uma vazão média de efluente de $5,3\text{m}^3/\text{dia}$, atualmente os efluentes gerados no processo de tamboreamento de rolos cônicos são submetidos a um processo de tratamento em conjunto com todo efluente industrial gerado na fábrica, visando o seu lançamento ao meio ambiente de acordo com o Art 18 do Decreto 8468/76. Uma descrição do processo é apresentada a seguir: relatamos a seguir:

O efluente é filtrado em papel filtro (Figura 8), e posteriormente é encaminhado para ETE para tratamento físico/químico, para separação do óleo emulsionado (quebra de emulsão). A Figura 9 mostra uma vista geral do sistema de tratamento de efluentes da SKF, físico-químico e biológico.

A borra proveniente do sistema de filtração é encaminhada para co-processamento de acordo com sua classe (NBR 10.004 – classe 1: resíduo perigoso).

Figura 8– Sistema de filtragem, com a separação e captação de borra oleosa

Figura 9 – Estação de tratamento de efluentes da SKF do Brasil

10. ESTUDO DE TRATABILIDADE VISANDO O REÚSO

De acordo com o Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais, (CETESB – 1993) onde se ressalta que para retirada, principalmente, de sólidos suspensos, parâmetro considerado limitante para a aplicação do conceito de reúso na atividade de Tamboreamento de rolos cônicos, a aplicação de processo de coagulação/floculação e decantação, se mostra bem satisfatória o que foi confirmado, em JAR TEST, dando subsídios para propor um sistema de tratamento como segue no Quadro 3.

Quadro 3 – Fluxograma do processo de tratamento

Abaixo são descritas as etapas do sistema de tratamento proposto para o efluente, bem como os resultados dos ensaios de JAR TEST.

1º Manter a filtração do efluente bruto em papel filtro, com o intuito de diminuir os sólidos em suspensão;

2º Após a filtração o efluente bruto deverá ser encaminhado e armazenado em tanque, onde deverá ser tratado por processo físico e químico processo este contínuo, coagulação/floculação e decantação.

Para a determinação da dosagem ótima dos coagulantes, bem como as condições ótimas para floculação de uma água, será caracterizada pelo tempo e pela agitação necessária, para isso utilizaremos a técnica do ensaio de jarros – JAR TEST

Uma vez determinada a dosagem ótima dos coagulantes, deve ser verificada qual tempo e o gradiente de velocidade ótimos para se flocular a água em estudo. Além, disso, deve-se verificar se a floculação obtida fornecerá uma água que após sedimentação apresente uma grande redução de turbidez.

Ensaio de Jarros – JAR TEST

Para a realização do JAR TEST foi utilizado o aparelho JAR TEST microcontrolado MOD JT – 103, da marca MILAN, como mostra na figura 10.

Figura 10 – Aparelho de JAR TEST utilizado nos ensaios.

Para a realização do teste foram adotados os seguintes dados de velocidade e tempo de duração de mistura.

- Tempo da mistura rápida = 2 minutos
- Velocidade para a mistura rápida = 120 rpm
- Tempo da mistura lenta (floculação) = 20 minutos
- Velocidade para a mistura lenta (floculação) = 35 rpm

Determinação do pH ótimo de floculação

Volume do jarro = 2 litros

Turbidez da amostra bruta = 845,9 NTU

Cor = 66 uH

pH = 8,18 upH

Resíduo sedimentável = 110 mL/L (1 hora de cone de Imhoff)

A figura 11, mostra os jarros no início do ensaio de determinação do pH ótimo de coagulação e floculação.

Figura 11 – Início do JAR TEST, efluente bruto.

Para determinação do pH ótimo de floculação variou-se o pH do efluente adicionando-se ácido sulfúrico 0,02 N, com a titulação, determinou-se o volume de ácido necessário para o ajuste do pH adotado, estes dados apresentam-se na tabela 11. A titulação foi feita utilizando-se 200 mL de efluente.

Tabela 11 – Dados dos valores de titulação de ácido sulfúrico a 0,02 N

Nº do jarro	Valor de pH	Concentração de ácido sulfúrico a 0,02 N
1	8,18 upH	-
2	8,0 upH	2 mL /2 litros
3	7,5 upH	9 mL/2 litros
4	7,0 upH	27 mL/2 litros
5	6,5 upH	64 mL/2 litros
6	6,0 upH	107 mL/2 litros

O coagulante utilizado para a determinação do pH ótimo de floculação foi o Sulfato de Alumínio com 14 (quatorze moléculas) de água, diluído á 10%, cujos volumes e respectiva dosagem são apresentados na tabela 12.

Tabela 12 - Dados de volume de coagulante dosados

Nº do Jarro	Volume da Solução de Sulfato de alumínio e dosagem
1	0,6 mL – 30 mg/L
2	0,6 mL – 30 mg/L
3	0,6 mL – 30 mg/L
4	0,6 mL – 30 mg/L
5	0,6 mL – 30 mg/L
6	0,6 mL – 30 mg/L

Para diferentes tempos de sedimentação foram analisados os parâmetros turbidez, cor, pH e também foram calculadas as velocidades de sedimentação, adotamos como altura o valor de 8,5 cm que refere a distância do bico coletor do jarro com relação ao nível de líquido, conforme apresentado na tabela 13.

Tabela 13 - Valores de tubidez, cor, pH, condutividade elétrica e velocidade de sedimentação.

Jarro	1			2			3		
Tempo de Sedimentação (minutos)	5	10	20	5	10	20	5	10	20
Turbidez (NTU)	14,3	7,18	4,24	14,40	7,60	4,01	13,1	5,59	3,60
Cor (UH)	9,0	4,0	2,0	9,0	5,0	3,0	12,0	4,0	3,0
pH (upH)			7,40			7,36			7,3
Condutividade Elétrica (µS/cm)			224			231			228
Velocidade de	24,5	12,2	6,1	24,5	12,2	6,1	24,5	12,2	6,1

sedimentação (m/dia)									
Jarro	4			5			6		
Tempo de Sedimentação (minutos)	5	10	20	5	10	20	5	10	20
Turbidez (NTU)	65,4	50,3	29,6	42,0	35,7	22,3	36,6	24,9	14,8
Cor (UH)	15,0	14,0	10	14,0	14,0	12,0	14,0	11,0	10,0
pH (upH)			7,10			6,59			6,23
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			244			238			245
Velocidade de sedimentação (m/dia)	24,5	12,2	6,1	24,5	12,2	6,1	24,5	12,2	6,1

Após 20 minutos de sedimentação foi verificada uma redução significativa na turbidez, para o pH final de 7,3 upH. A figura 12 mostra os jarros após o processo de sedimentação.

Figura 12 – Conclusão da etapa de sedimentação

Com o valor do pH ótimo definido, foi feito um ensaio para a determinação da dosagem ótima de coagulante, sendo necessário manter o pH fixo em 7,3pH.

O pH do efluente foi então ajustado para o valor pré-estabelecido, ao mesmo tempo em que se fez a determinação do consumo de alcalinidade pelo coagulante, para determinar qual seria a quantidade necessária para que o pH final não fosse alterado.

A dosagem de coagulante variou de 20 a 80 mg/L. Os resultados das dosagens de coagulantes e ajuste de pH seguem na tabela 14:

Tabela 14 – Dosagem de coagulantes e ajuste de pH

Jarro	Sulfato de alumínio a 10% (mL/2L)	pH da amostra (upH)	pH ótimo (upH)
1	0,4 (20 mg/L)	---	7,3
2	0,8 (40 mg/L)	7,03	7,3
3	1,0 (50 mg/L)	7,16	7,3
4	1,2 (60 mg/L)	7,15	7,3
5	1,4 (70 mg/L)	7,15	7,3
6	1,6 (80 mg/L)	7,15	7,3

Após os tempos de sedimentação foram analisados novamente os parâmetros turbidez, cor e pH, são apresentados na tabela 15:

Tabela 15 - Valores de turbidez, cor, pH e velocidade de sedimentação

Jarro	1				2				3			
Tempo de Sedimentação (minutos)	3	5	10	20	3	5	10	20	3	5	10	20
Turbidez (NTU)	5,61	4,41	2,30	1,59	18,8	6,32	2,46	0,91	11,7	10,9	2,84	1,27
Cor (UH)	1	1	1	1	5	2	1	1	2	2	1	2
PH (upH)	---	---	---	7,5	---	---	---	7,5	---	---	---	7,17
Velocidade de sedimentação (m/dia)	40,8	24,5	12,2	6,1	40,8	24,5	12,2	6,1	40,8	24,5	12,2	6,1
Jarro	4				5				6			
Tempo de Sedimentação (minutos)	3	5	10	20	3	5	10	20	3	5	10	20
Turbidez (NTU)	25,1	15,8	3,85	1,69	27,1	22,0	7,61	2,74	30,5	18,4	7,49	2,89
Cor (UH)	6	4	2	1	2	4	4	1	6	3	2	1
PH (upH)	---	---	---	7,11	---	---	---	7,0	---	---	---	6,86
Velocidade de sedimentação (m/dia)	40,8	24,5	12,2	6,1	40,8	24,5	12,2	6,1	40,8	24,5	12,2	6,1

Através dos dados obtidos para turbidez, para o tempo de 20 minutos, verifica-se que o jarro que apresentou o melhor resultado foi o de número 2, adotando-se como dosagem ótima do agente de coagulação a concentração de 40 mg/L.

Para acelerar o processo de floculação foi estudada a influência de um auxiliar de floculação, Polieletrólito Catiônico na concentração de 1,0 g/L da empresa Nalco Company (www.nalco.com) sendo os volumes dosados apresentados na tabela 16. Salienta-se que a dosagem do polímero se deu durante a velocidade lenta de floculação.

Tabela 16 - Dosagem de polímero catiônico.

Jarro	Dosagem de Polímero Catiônico (mg/L)
1	0,2
2	0,4
3	0,6
4	0,8
5	1,0

Após a dosagem de polímero catiônico foi avaliado o parâmetro turbidez, estando os resultados obtidos apresentados na tabela 17:

Tabela 17 - Resultados da avaliação de turbidez após aplicação de polímero catiônico.

Jarro	1				2				3			
Tempo de Sedimentabilidade (minutos)	3	5	10	20	3	5	10	20	3	5	10	20
Turbidez (NTU)	1,45	1,42	1,18	1,34	1,02	1,03	0,92	0,88	1,59	1,45	1,15	1,55
Jarro	4				5							
Tempo de Sedimentabilidade (minutos)	3	5	10	20	3	5	10	20				
Turbidez (NTU)	1,42	1,25	0,90	1,31	1,34	1,21	1,04	1,19				

O jarro que apresentou melhor resultado de turbidez foi o jarro número 2, com uma turbidez final após 20 minutos de sedimentação de 0,88 NTU para uma velocidade de sedimentação de 6,1 m/dia, a figura 13 mostra os jarros após o processo de sedimentação com o uso de polímero catiônico.

Figura 13– Final da floculação/sedimentação após adição do Polímetro.

10.1. Dosagens ótimas de produtos químicos.

Ácido sulfúrico = 0,0048 g/L

Sulfato de alumínio = 0,04 g/L

Polímero catiônico = 0,004 g/L

10.2. Estimativa de custo com produtos químicos

Abaixo estão apresentados os custos com produtos químicos para realizar o tratamento proposto:

Obs) para a formação do custo final, adotamos os custos dos produtos com exceção do polímero catiônico da empresa Boreto e Cardo – www.boreto.com.br

Ácido sulfúrico: R\$ 0,011 por m³

Sulfato de alumínio: R\$ 0,048 por m³

Polímero catiônico: R\$ 0,13 por m³

Custo total: R\$ 0,19 por m³

Este valor resulta em um custo mensal para o tratamento de efluentes, considerando-se a geração de 5,3 m³/dia, igual a R\$ 30,21 (Trinta Reais e Vinte e Um

Centavos), não sendo considerado o custo de energia, mão de obra e disposição final de resíduos.

10.3. Ensaio de clarificação com Procytrat

Para efeito de comparação foi feito um outro ensaio de coagulação e floculação utilizando-se um produto disponível comercialmente, denominado Procytrat. Este produto é constituído por duas soluções, Procytrat 100A e Procytrat 100B. (comercial@procytek.com.br) De acordo com a recomendação do fornecedor, é necessário promover a mistura destas soluções na proporção de 80% e 20% respectivamente. A determinação da dosagem ótima foi feita através de ensaio de JAR TEST, com os resultados apresentados na tabela 18.

Com a adição do Procytrat o pH do efluente bruto (pH = 8,82), se auto ajustou para pH = 7,62, ocorrendo uma boa floculação e decantação.

Tabela 18 – JAR TEST com Procytrat 100 A e 100 B

BEQUER	PROCYTRAT 100A e 100B	pH (upH)	Resíduo sedimentável (RS)	Cor(UH)	Turbidez (NTU)
1	1 ml/l	8,82	160 ml/l	80,0	120,0
2	1,5 ml/l	8,75	160 ml/l	40,0	70,0
3	2 ml/l	7,62	160 ml/l	12,0	4,45
4	2,5 ml/l	6,27	80 ml/l	20,0	16,0
5	3 ml/l	6,17	80 ml/l	25,0	18,0

Analisando-se os resultados da tabela conclui-se que a melhor condição de tratamento foi obtida no jarro nº 3, e isso foi confirmado pelo menos valor de cor e turbidez, com uma velocidade de decantação de 30'.

pH = 7,62 upH

RS = 160 ml/l

Dosagem de produtos químicos:

2 mL de procytrat 100A e 100B (solução de 80% e 20% respectivamente), para cada litro de efluente, com isto, o custo de tratamento foi:

Custo por m³ = R\$ 10,24

Obs) Os dados para a formação do custo final, foi baseado no custo de tratabilidade do efluente industrial da SKF do Brasil Ltda, onde o tratamento físico – químico é efetuado com Procytrat.

Alguns parâmetros de qualidade do efluente foram realizados ensaios anteriores estão apresentados na tabela 19.

Tabela 19 – Análise físico - químico após tratamento.

Parâmetros	Resultados	Unidade
DBO	100	mg/L
DQO	360	mg/L
Cálcio	16,8	mg/L Ca
Magnésio	2,9	Mg/L Mg

Fonte: DIGILAB, 2004

10.4. Complementação do processo de tratamento do efluente

1º A operação de decantação o sobrenadante será direcionado para um reservatório com controlador de nível e bomba submersa para posterior envio para um filtro de areia (polimento);

2º Durante os ensaios de tratabilidade com o efluente do Tamboreamento foram feitas medições de Cálcio e Magnésio no efluente tratado, conforme mostrado na tabela 18. Porém no processo atual de tamboreamento a água passa por um trocador de calor, elevando a temperatura para 60 ° C, com a utilização da água de reúso os parâmetros cálcio e magnésio podem resultar problemas no trocador de calor,

havendo necessidade de um acompanhamento destes parâmetros para possível estudo futuro para implantação de um abrandador.

3º O filtrado seguirá para um reservatório, onde, de acordo com a demanda, passará por um trocador de calor.

10.5. Balanço de Massa

Para a verificação do ciclo de concentração da água de reúso da atividade de tamboreamento de rolos cônicos é necessário efetuar um balanço de massa com algumas variáveis do sistema. Devendo ser utilizadas as variáveis, cálcio e magnésio (contaminantes) que podem resultar problemas no trocador de calor e tubulações, como por exemplo incrustações ou corrosão.

Dentro os possíveis parâmetros de qualidade de água que podem ser considerados destaca-se o teor de Sais Dissolvidos Totais, uma vez que estes não são eliminados pelo processo de tratamento proposto, resultando em um parâmetro que pode ser utilizado para comparação no sistema como um todo, pois não será eliminado. Uma medida indireta da concentração de Sais Dissolvidos Totais é a condutividade elétrica, a qual será utilizada para efetuar a avaliação do potencial de reúso.

A condutividade é aumentada na medida em que o processo sofre o incremento de sais provenientes dos produtos químicos adicionados nas soluções de lavagens e também pela adição de pedras abrasivas.

Segue na tabela 20 os valores referentes a condutividade elétrica das águas de tamboreamento e do efluente bruto gerado.

Tabela 20 – Variável escolhida para o balanço de massa

Variável	Condutividade elétrica da água de tamboreamento ($\mu\text{S/cm}$)	Condutividade elétrica do Efluente Bruto ($\mu\text{S/cm}$)
Condutividade	215,00	3.385,00
<i>Fontes: ALFA, 2003; DIGILAB, 2004 e HDROLABOR, 2004</i>		

Determinação da carga de contaminantes introduzida - Sistema sem recirculação de efluente:

Para que seja possível desenvolver o balanço de massa para determinação do máximo potencial de reúso de efluentes é necessário determinar a carga de contaminantes introduzida no sistema. Para isto, utiliza-se o diagrama apresentado na figura abaixo.

Equação 1:

$$\text{Carga de sais} + (Q_{\text{água}} \times C_{\text{água}}) = Q_{\text{efluente}} \times C_{\text{efluente}}$$

$$\text{Carga de sais} = (Q_{\text{efluente}} \times C_{\text{efluente}}) - (Q_{\text{água}} \times C_{\text{água}})$$

Onde,

$$Q_{\text{água}} = 5,3 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$C_{\text{água}} = 215 \text{ } \mu\text{S/cm}$$

$$Q_{\text{efluente}} = 5,3 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$C_{\text{efluente}} = 3.385 \text{ } \mu\text{S/cm}$$

$$\text{Carga de sais} = (5,3 \times 3.385) - (5,3 \times 215)$$

$$\text{Carga de sais} = 16.801 \text{ m}^3/\text{dia} \times \mu\text{S/cm}$$

Determinação do Potencial de Reúso: Sistema com reúso:

Para determinar o potencial de reúso é necessário refazer o balanço de massa no sistema, inserindo-se a linha de recirculação e definir as novas correntes envolvidas, conforme apresentado na figura a seguir.

Balço Global no ponto I :

$$Q_A = Q_D \text{ --- (equação 1)}$$

$$(Q_A \times C_E) + \text{Carga de Sais} = (Q_D \times C_F) \text{ ---- (equação 2)}$$

Balço Global no ponto II :

$$Q_F = Q_R + Q_D \text{ --- (equação 3)}$$

$$Q_R = f \times Q_E \text{ --- (equação 4)}$$

Balço Global no ponto III :

$$Q_E = Q_A + Q_R \text{ ---(equação 5)}$$

$$Q_E \times C_R = Q_A \times C_E + Q_R \times C_F \text{ ---(equação 6)}$$

Substituindo 4 em 5

$$Q_E = Q_A + f \times Q_E$$

$$Q_A = Q_E - f \times Q_E$$

$$Q_A = Q_E (1 - f) \text{ ---(equação 7)}$$

Substituindo 4 em 3

$$Q_F = f \times Q_E + Q_D \text{ ---(equação 8)}$$

$$Q_D = Q_F - f \times Q_E \text{ ---(equação 9)}$$

Substituindo 7 em 6

$$Q_E \times C_R = Q_E (1 - f) C_E + f \times Q_E \times C_F$$

$$C_R = (1 - f) C_E + f \times C_F \text{ ---(equação 10)}$$

Substituindo 9 em 2

$$Q_A \times C_E + \text{Carga de Sais} = (Q_F - f \times Q_E) C_F$$

$$Q_E (1 - f) C_E + \text{Carga de Sais} = (Q_F - f \times Q_E) C_F$$

$$C_F = \frac{Q_E (1 - f) C_E + \text{Carga de Sais}}{(Q_F - f \times Q_E)} \text{ --- (equação 11)}$$

Admitindo-se que não ocorrem perdas de água no sistema e aplicando-se na equação 10 as concentrações de SDT, equivalente à condutividade elétrica, na água do processo de tamboreamento e na carga incorporada, é possível, variando-se a taxa de recirculação de efluente, obter a evolução da condutividade elétrica na água de reúso, conforme apresentado na tabela 21.

O máximo potencial de reúso é estabelecido para a máxima concentração de SDT admitida para a água de lavagem, ou seja, 2.100 mg/L (tabela 8). Admitindo-se que a relação entre condutividade elétrica e concentração de SDT seja igual a 2,0 (DOW Liquid Separations, 2005), a condutividade elétrica limite será de 4.200 $\mu\text{S/cm}$.

Tabela 21 : Concentrações de SDT e vazões no processo de tamboreamento.

Fração Reúso	QR (m³/dia)	QA (m³/dia)	QD (m³/dia)	CF ($\mu\text{S/cm}$)	CR ($\mu\text{S/cm}$)
0	0,00	5,30	5,30	3385,00	215,00
0,1	0,53	4,77	4,77	3737,22	567,22
0,2	1,06	4,24	4,24	4177,50	1007,50
0,3	1,59	3,71	3,71	4743,57	1573,57
0,4	2,12	3,18	3,18	5498,33	2328,33
0,5	2,65	2,65	2,65	6555,00	3385,00
0,6	3,18	2,12	2,12	8140,00	4970,00
0,7	3,71	1,59	1,59	10781,67	7611,67
0,8	4,24	1,06	1,06	16065,00	12895,00
0,9	4,77	0,53	0,53	31915,00	28745,00

<http://www.dow.com/Published>

Para a determinação do percentual ideal de reúso, será utilizado como limite de concentração de sais na água do processo de tamboreamento de rolos cônicos o valor máximo definido pela unidade da SKF na cidade de Pune na Índia, onde o valor ideal da condutividade é 4.200 $\mu\text{S/cm}$. Assim sendo, com base na tabela 21, observa-se que o sistema analisado poderá trabalhar com 50 % de água de reúso e 50% de água limpa, evitando que venha a ocasionar problemas no trocador de calor e tubulações.

11. DISCUSSÃO

De uma forma geral, o potencial de reúso da água em indústrias metalúrgicas é bem significativo, pois a escassez de recursos hídricos é uma realidade nos dias atuais, principalmente nas regiões metropolitanas industrializadas, em razão da demanda excessiva e do lançamento de efluentes para os corpos d'água.

As fontes de água com qualidade para o consumo humano estão cada vez mais distantes das regiões metropolitanas, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo. A busca de água em pontos cada vez mais distantes, em razão, por vezes, do crescente processo de poluição dos mananciais mais próximos.

Em decorrência do conceito de abundância de água, ainda presente, a utilização de água com padrão de qualidade satisfatória em processos auxiliares não é muito questionada. Porém com uma maior conscientização sobre os problemas atuais relacionados aos recursos hídricos, começa a haver uma preocupação com o nível de qualidade de água utilizada, assim como com a quantidade que se utiliza. Desta forma torna-se premente uma avaliação mais detalhada dos processos produtivos e sua relação com a água, principalmente no que se refere aos requisitos mínimos de qualidade.

O reúso da água é uma opção a ser considerada, pois pode ser uma excelente oportunidade de melhoria, já que é possível associar necessidades ambientais, com os benefícios econômicos que podem ser obtidos. Contudo é importante uma mudança na abordagem dada ao gerenciamento de recursos hídricos nas atividades industriais, utilizando os conceitos técnicos disponíveis para adequar, a água já utilizada, aos requisitos de processo, assim o reúso de água se torna uma ferramenta de grande valor para à escassez de água

Com relação ao processo proposto:

- ✓ O processo físico-químico com sistema de coagulação, floculação e decantação, apresentou redução significativa nos parâmetros DBO (78%) e DQO (77%), parâmetros estes de grande importância para análise de eficiência do sistema proposto ;
- ✓ A água apresentou boa condição de sedimentabilidade, conforme demonstrado pelos ensaios de JAR TEST;

- ✓ Com os ensaios de tratabilidade do efluente do tamboreamento, obtive - se uma remoção média da DQO de 1586 mg/L para 360 mg/L, portanto uma remoção de 77%;
- ✓ Com a condição do reúso, ocorrerá uma redução no lançamento de efluentes no corpo receptor, de acordo com o balanço de massa executado (50%);
- ✓ Com a utilização experimental de um decantador, com formato cônico, o processo de decantação será facilitado, resultando também uma boa remoção do lodo oriundo do tratamento;
- ✓ O lodo sedimentado será encaminhado para uma centrífuga, para a melhorar a separação da água e óleo, diminuindo assim o valor a ser gasto para o destino final. Pelo resultados obtidos do efluente tratado em cone inhoff ($RS = 110 \text{ mL/L}$), para um volume de $5,3\text{m}^3/\text{dia}$, teremos uma quantidade de lodo de $0,5\text{m}^3/\text{dia}$ ou $15\text{m}^3/\text{mês}$, a um custo de R\$ 195,00/ m^3 (fonte: BRASQUIP AMBIENTAL).

Custo total para descarte = R\$ 97,50/dia ou R\$ 2.925,00/mês

- ✓ A utilização de filtro de areia objetiva a eliminação de sólidos em suspensão, que não foram removidos no processo de tratamento;
- ✓ O custo de aproximadamente R\$ 0,19/ m^3 , não sendo considerado o custo de energia, mão de obra e disposição final de resíduos, se tornou atrativo, comparando-se com o custo de tratamento atual da empresa em torno de R\$ 5,60/ m^3 ;
- ✓ Tomando-se como base que atualmente na empresa o custo aproximado de energia elétrica para recalcar do poço artesiano da empresa 1(uma) hora continua de água é de aproximadamente R\$ 3,50, com a prática do reúso teoricamente estaríamos economizando R\$ 386,45/dia.
- ✓ A níveis de comparação o tratamento fisico/químicos utilizando o coagulante e floculante Procytrat 100A e 100B, apesar de apresentar resultados satisfatórios no JAR TEST, a relação custo/benefício não é atrativa, ao contrário da utilização de sulfato de alumínio e polímero catiônico.

12. CONCLUSÕES :

Na revisão bibliográfica foi estudada a prática do reúso, conceito amplamente discutido e difundido, avaliamos também bibliografias de outros países, principalmente o desenvolvimento da prática do reúso para fins industriais, objeto deste estudo de caso.

O processo da SKF do Brasil Ltda, foi amplamente estudado, para a identificação de potencial de reúso, embasados em levantamentos de consumo de água e qualidade necessária, concluímos pelo estudo na atividade de tamboreamento de rolos cônicos. Ressalta-se que o estudo foi ampliado também para outras unidades da SKF pelo mundo, principalmente na busca de parâmetros operacionais da água de tamboreamento de rolos.

Os dados dos parâmetros físico e químicos do efluente bruto, nos forneceu condições de propor um sistema de tratamento por floculação/sedimentação, onde os conceitos foram amplamente discutidos neste estudo, e os mesmos foram atestados pelos resultados alcançados em JAR TEST.

O balanço de massa mostrou que o máximo potencial é de 50% de água de reúso e 50% de água limpa, trabalhando com um fator de segurança, evitando problemas no trocador de calor e tubulações.

Ficou demonstrada a possibilidade de reúso das águas no sistema de tamboreamento de rolos cônicos e isso pode acarretar numa boa aceitação de operacionalidade e economia para as outras unidades da SKF pelo mundo que se utilizam desse processo.

O uso racional dos recursos hídricos com procedimentos como reutilização ou reúso da água para indústrias rolamenteiras, devido ao alto consumo deste insumo, representa um inevitável caminho para contribuir para o melhor aproveitamento da água disponível no planeta.

13. RECOMENDAÇÕES

Para a continuidade dos estudos é essencial a pesquisa dos seguintes itens:

- ✓ Estudar a possibilidade de utilização da água de reúso sem elevar a temperatura a 60 °C, dispensado o uso de trocador de calor e conseqüentemente minimizando o consumo de energia elétrica, pois, em teste piloto, os rolos não sofreram alterações significativas no processo de tamboreamento;
- ✓ Teste com outros tipos de coagulantes, como por exemplo o cloreto férrico;
- ✓ Com a necessidade da passagem da água de reúso em trocador de calor será necessário o monitoramento do parâmetro condutividade, pois, o mesmo apresenta potencial de incrustação nas paredes do trocador, pela presença da sílica livre (SiO₂);
- ✓ Com base nas informações contidas nesse estudo de caso, deve ser analisado o custo de implantação do projeto e comparados com os benefícios que os mesmos irão proporcionar;
- ✓ Recomendamos também uma linha de pesquisa para a acidificação e posterior prensagem em filtro prensa da borra gerada no processo de tratamento com o intuito de transformar a classe do resíduo de I para II de acordo com NBR 10004, diminuindo assim os custos com co-processamento;
- ✓ Os valores de Boro no efluente final apresentam com níveis acima do valor máximo permitido para descarte, conforme legislação em vigência, havendo necessidade de tratamento específico antes da sua destinação;
- ✓ Continuidade dos testes com água de reúso no processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

_____. Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, Dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente.

ALFA, LABORATÓRIO DE ANÁLISE E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL, **Registro de Ensaio – Amostra 0315790**, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>, acesso em 23.11.2005.

ALVES, W. et ZANELLA, L. Conservação e Tratamento da Água. Apostila da disciplina de mesmo título do Mestrado Profissional do IPT. IPT, 2004.

ANEEL (AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA). Microsistema de dados hidrometeorológicos – subsistema de qualidade de água. Brasília, 2000.

Ambiente Brasil, disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br> acesso em 06/01/06.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.001**: Sistema de Gestão Ambiental. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

Boreto & Cardoso disponível em <http://www.boreto.com.br> acesso em 06/03/06

BRASQUIP AMBIENTAL S/A, disponível em E mail: brasquip@brasquip.com.br

BRAVO, J. L. R. **Levantamento de oportunidades para racionalização do uso da água em unidades de processo de uma metalurgia de cobre primário**. 2003. 113 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2003.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - São Paulo), 1993
Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais

CICHOCKI, A. - **Conservação de água - Um desafio para indústria de hoje** –
Disponível em: <http://www.tratamentodeagua.com.br/informativos/acervo.php>.
Acesso em: 20 de agosto de 2005.

Comercial Procytek , disponível em <http://www.comercialprocytek.com.br> acesso em
06/01/06.

DIGILAB, ANÁLISE AMBIENTAL . **Laudo Técnico 0579/04**, 2004.

Dow Liquid disponível em <http://www.dow.com/Published>, acesso em 06/03/06

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**,
Washington, USA, 2004.

FIESP, CIESP., **Água e Indústria compreenda esta nova relação FIESP, CIESP.,
Conservação e Reúso de água, Manual de orientação para o setor industrial** –
volume I, 2005.

HARUVY, N. **Wastewater reuse** – regional and economic considerations. Resources,
conservationsand recycling, Amsterdam, 23, 1998.

HIDROLABOR, LABORATÓRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE S/C LTDA,
**Resultados dos Ensaio Físico-Químicos e Organolépticos, Número do Exame:
04/02955**, Sorocaba, 2004.

JANOSOVA, B.,MIKLANKOVA, J;HLAVINEK, P.; WINTGENS, T., **Drivers for
wastewater reuse: regional analysis in the Czech Republic**, Czech Republic, 2005.

MANCUSO, PEDRO CAETANO SANCHES; SANTOS, HILTON FELÍCIO DOS;
Reúso de Água. Editora Malone Ltda - São Paulo, 2003. 48p.

METCALF & EDDY, **Wasterwater engineering: treatment and reuse**, McGraw-
Hill – Boston, 2003.1819p.

MIERZWA, JOSÉ CARLOS; HESPANHOL, IVANILDO, **Água na Indústria: Uso Racional e Reúso**. Oficina de Textos - São Paulo, 2005. 143p.

MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria - Estudo de caso Kodak Brasileira**. 2002. 2v. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

MIERZWA, JOSÉ CARLOS; HESPANHOL, IVANILDO, **Programa para Gerenciamento de Águas e Efluentes nas Indústrias, Visando ao Uso Racional e à Reutilização**. Artigo revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 4, nº01 e nº02 Rio de Janeiro 1999.

MILLER, G. WADE. **Integrated concepts in water reuse: managing global water needs**. Water Reuse Association, VA, USA, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2003.

MOHSEN, MOUSA S.; JABER, JAMAL O. **Potential of Industrial Wastewater reuse**. Department of mechanical engineering, Hashemite University, Zarqa, Jordania, 2002.

MUSTAFA, G.S. **Reutilização de efluentes líquidos em indústria petroquímica**. 1998. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 1998.

NAVACHI, JOSÉ APARECIDO. **Reutilização dos Efluentes Tratados : Caso de uma Lavanderia Industrial** – Blumenau 2002. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciências Tecnológicas, universidade Regional de Blumenau.

Qualimática Consultoria, disponível em (<http://www.qualimaticconsultoria.com.br>), acesso em 06/01/06.

P.M.BRAILE, J.E.W.A. CAVALCANTI, **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais** – CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - São Paulo), 1993

PAWAR,HAJARAM. **EHS Quarter Report – QTR4**, SKF - Pune, Índia, 2005.

Portaria 518 – **Controle e Vigilância da Qualidade de água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade**, Ministério da Saúde, 25/03/2004.

Procytek, indústria e comércio, catálogo disponível em **comercial@procytec.com.br**

REBOUÇAS, A. C. 1999. **Águas doces no Brasil - capital ecológico, uso e conservação**. Capítulo 1. São Paulo, Escrituras Editora, 1999, pg. 1-59.

SABESP- Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, disponível em <http://w.w.w.sabesp.com.br>>, acesso em 10 agosto de 2005.

SKF, GROUP. **Annual Sustainability Report**, Gôtherburgo, 2005

TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências** – Um estudo atualizado sobre o uso racional de água. São Paulo: Navegar Editora, 2001.