

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**

**CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DE REÚSO DA ÁGUA  
DE LAVAGEM DOS FILTROS DE UMA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) DE UMA INDÚSTRIA  
TÊXTIL DE BLUMENAU-SC**

**Mariah Siebert Zipf**

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

**Orientador  
Professor Dr. Fernando Soares Pinto Sant'anna**

**FLORIANÓPOLIS-SC  
JULHO/2010**



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

**CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DE REÚSO DA ÁGUA  
DE LAVAGEM DOS FILTROS DE UMA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) DE UMA INDÚSTRIA  
TÊXTIL DE BLUMENAU-SC**

**MARIAH SIEBERT ZIPF**

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

BANCA EXAMINADORA:



**Prof. Dr. Fernando S. P. Sant'Anna**  
(Orientador)



**Prof. Dr. Mauricio Luiz Sens**



**Prof. Dr. Ramon Lucas Dalsasso**

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
AGOSTO, 2010.

## AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos que de certa forma me auxiliaram, direta ou indiretamente, na realização deste trabalho, em especial:

Ao Prof. Dr. Fernando Soares Santanna, pela confiança, orientação, amizade e extrema paciência durante todo o percurso desta caminhada.

A meu pai, de quem herdei, entre tantas outras coisas, o gosto pela engenharia, que sempre esteve ao meu lado me ensinando, me incentivando, participando de todas as decisões, me dando apoio e amor, sempre. Tenho muito orgulho do profissional e, principalmente, do pai que és.

À minha mãe, que sempre esteve ao meu lado durante toda essa jornada, que é meu porto seguro, que me incentivou para que eu chegasse a esta etapa da minha vida e que não mediu esforços para me ver feliz durante todos esses anos. Deixo aqui registrada minha enorme admiração por esta profissional, amiga e, acima de tudo, mãe.

Aos meus irmãos, Pedro e Bruno, por todos os momentos de descontração e por todos os sorrisos que me proporcionam sempre, fazendo-me esquecer de todos os problemas.

À oma e ao opa, por todo carinho e atenção que me deram durante toda a minha vida.

À minha amiga irmã, Mariana, que sempre esteve comigo durante todos esses anos em Florianópolis, me apoiando em todos os momentos e me fazendo rir sempre.

A todos os meus amigos, de Florianópolis e de Blumenau, por compartilharem comigo tantos momentos bons e por me darem suporte nas fases difíceis.

A todos os meus colegas de curso pelo companheirismo e parceria de sempre.

A todos os colaboradores da Karsten S.A, que sempre me trataram com respeito e simpatia. Em especial à minha supervisora de estágio Vanesa, ao Claus do laboratório e aos operadores da ETA, que me ajudaram, me ensinaram e foram fundamentais para a realização deste trabalho.

## **RESUMO**

Na indústria da água, a matéria prima (água bruta) recebe produtos químicos e mediante operações e processos transforma-se em água tratada. Como em todo processo industrial no processo de tratamento da água também ocorre um elevado consumo de recursos hídricos, na limpeza e lavagem de decantadores e filtros, gerando um grande volume de resíduos. O crescimento contínuo do consumo de água e o aumento da degradação dos corpos hídricos são os fatores que de forma determinante exercem influência nas estações de tratamento de água (ETAs). A queda da qualidade da água bruta a ser tratada implica em maior consumo de produtos químicos e, conseqüentemente, maior produção de resíduos passíveis de tratamento e disposição em local adequado. O principal destino dos resíduos das ETAs ainda tem sido os corpos hídricos, sem qualquer tratamento prévio, agredindo ao meio ambiente. A empresa têxtil Karsten S.A descarta diariamente no rio do Testo em torno de 640m<sup>3</sup> de efluente gerado no processo de lavagem dos filtros da ETA. Esta realidade, além de ser um passivo ambiental, gera um grande desperdício econômico, sendo que a água utilizada nos processos de lavagem é uma água tratada. Dentro dos conceitos de Prevenção à Poluição, os quais se materializam em ações de economia de energia e água, não-contaminação do meio ambiente, preservação dos recursos naturais e não-geração de resíduos, o presente trabalho analisou as características do efluente gerado na lavagem dos filtros e propôs alternativas para a sua minimização, tratamento e recirculação para o início da ETA. Verificou-se que a água, atualmente descartada, após decantação simples, passa a possuir características melhores que as da água bruta, sendo, portanto, totalmente apta e ser recirculada. Constatou-se também que a carreira de filtração atual é muito baixa, podendo ser aumentada para 24 horas, gerando a metade do volume de efluentes. A opção de alimentar continuamente a ETA com a água de lavagem dos filtros mostrou-se mais atrativa devido ao menor trabalho gerado aos operadores e ao menor custo, porém é preciso lavar os filtros sempre nos horários determinados, para não alterar o nível do reservatório.

**PALAVRAS-CHAVE:** produção mais limpa, estação de tratamento de água, reuso da água de lavagem de filtros, indústria têxtil.

## **ABSTRACT**

In the water industry, the raw material (raw water) receives chemicals and through operations and processes becomes treated water. As in any industrial process, water treatment process also occurs with a high consumption of water, cleaning and washing of filters and decanters, generating a large volume of waste. The continuing growth of water consumption and increased degradation of water resources are the factors that exert a determining influence on water treatment plants (WTP). The decrease in quality of raw water to be treated results in higher consumption of chemicals and, consequently, increased production of waste suitable for treatment and disposal in an appropriate location. The main destination of the waste water treatment plants has been the water without prior treatment, attacking the environment. The textile company Karsten SA drops daily in the River Testo around 640m<sup>3</sup> of wastewater generated in the process of washing filters at the WTP. This fact, besides being an environmental liability, creates an economic waste, because the water used in washing processes is a treated water. Within the concepts of Pollution Prevention, which materialize in actions to save energy and water, non-contamination of the environment, conserving natural resources and non-waste generation, this study examined the characteristics of the effluent generated in the wash the filters and proposed alternatives for their minimization, treatment and recycling to the beginning of WTP. It was found that water, now discarded, after separating simple, it possess the best characteristics of the raw water, therefore, fully fit and be recirculated. It was also found that the career of current filtration is very low and may be increased to 24 hours, generating half the volume of effluent. The second option presented it becomes more attractive due to the smaller operators to work generated, however you must always wash the filters at the times determined not to alter the level reservoir

**KEYWORDS:** cleaner production, water treatment plant, reuse of wash water filters, textile industry.

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABIT – Associação Brasileira das Indústrias Têxteis

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
ETAETE – Estação de Tratamento de efluentes  
FATMA – Fundação de Meio Ambiente  
Filter Backwash Recycling Rule  
FIESC - Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina  
ISO - International Standart Organization  
NBR – Norma brasileira  
ONU - Organização das Nações Unidas  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PIB – Produto Interno Bruto  
PML – Produção mais Limpa  
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente  
SENAI - Serviço Nacional da Indústria  
SST – Sólidos Suspensos Totais  
STD – Sólidos Totais Dissolvidos  
UNEP - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente  
Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura  
UNIDO - United Nations Industrial Development Organisation



## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Cronograma de atividades.....	56
Tabela 1 – Classificação das águas com relação ao teor de carbonato de cálcio (dureza total).....	16
Tabela 2: Volume descartado nas operações de lavagem dos filtros.....	65
Tabela 3: Valores de turbidez e SST para as amostras do filtro 1.....	66
Tabela 4: Valores dos parâmetros analisados no sobrenadante do filtro 1.....	67
Tabela 5: Valores de turbidez e SST para as amostras do filtro 2.....	67
Tabela 6:Valores dos parâmetros analisados no sobrenadante do filtro 2.....	69
Tabela 7: Valores de turbidez e SST das amostras do filtro 3.....	69
Tabela 8:Valores dos parâmetros analisados no sobrenadante do filtro 3.....	71
Tabela 9: Valores de turbidez e SST das amostras do filtro 4.....	71
Tabela 10:Valores dos parâmetros analisados no sobrenadante do filtro 3.....	73
Tabela 11: Valores de sólidos sedimentáveis para cada filtro.....	74
Tabela 12: Comparação dos parâmetros com a água bruta.....	76
Tabela 13: Turbidez e cor na saída de cada unidade da ETA.....	80
Tabela 18: Valores do fluxo de caixa.....	95
Tabela 19: valores atuais para vazões, DBO e MS.....	97

Tabela 20: valores para vazões, DBO e MS. Com o sistema de  
reciclo.....97

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do tratamento convencional.....	25
Figura 2: Fluxograma da filtração direta descendente.....	26
Figura 3: Fluxograma da filtração direta ascendente.....	26
Figura 4: Fluxograma da dupla filtração.....	27
Figura 5: participação econômicas das atividades industriais em SC....	36
Figura 6: Ponto de coleta durante o processo de lavagem do filtro.....	53
Figura 7: unidades da ETA.....	58
Figura 8: processo de lavagem dos filtros multicelulares.....	62
Figura 09: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.....	66
Figura 10: Gráfico da variação de SST ao longo do tempo de lavagem.....	66
Figura 11: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.....	68
Figura 12: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.....	68
Figura 13: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.....	70
Figura 14: Gráfico da variação de SST ao longo do tempo de lavagem.....	70

Figura 15: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.....	72
Figura 16: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.....	72
Figura 17: Variação da turbidez ao longo da sedimentação.....	74
Figura 18: Valores dos principais parâmetros para cada filtro.....	75
Figura 19: Valores dos principais parâmetros para cada filtro.....	76
Figura 20: Valores dos principais parâmetros para cada filtro em comparação com a água bruta.....	77
Figura 21: Esquema de reciclo da água de lavagem – Opção 1.....	85
Figura 22: Gráfico para dimensionamento do tanque de equalização (vazão de entrada e vazão de saída).....	87
Figura 23: Gráfico para dimensionamento do tanque de equalização (volume de entrada e volume de saída).....	87
Figura 24: Gráfico para dimensionamento do tanque de equalização (Altura da lâmina d'água do reservatório ao longo do tempo).....	88
Figura 25: Esquema de reciclo da água de lavagem – Opção 2.....	89
Figura 26: Layout da estação.....	90
Figura 27: Payback do investimento.....	96
Figura 28: Fluxo de caixa, mostrando o tempo de retorno do investimento.....	98

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	8
2	OBJETIVOS .....	11
2.1	Objetivo principal .....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	12
3.1	Características Físicas e Organolépticas da Água.....	12
3.1.1	Turbidez.....	12
3.1.2	Cor Verdadeira e Cor Aparente .....	12
3.1.3	Condutividade Elétrica .....	13
3.2	Características Químicas da Água .....	13
3.2.1	Potencial hidrogeniônico (pH).....	13
3.2.2	Dureza.....	14
3.2.3	Alcalinidade e Acidez.....	14
3.2.4	Ferro .....	15
3.2.5	Compostos Orgânicos.....	15
3.3	Características Biológicas .....	15
3.4	Tratamento de Água.....	15
3.4.1	Principais Processos de Tratamento de Água .....	17
3.4.2	Tecnologias de Tratamento.....	23
3.4.3	Resíduos das ETAs .....	25
3.5	Recursos hídricos.....	27

3.6	Água na indústria.....	29
3.7	Indústria Têxtil.....	31
3.7.1	Processo Produtivo.....	32
3.7.2	Setor Têxtil em Santa Catarina.....	33
3.7.3	Aspectos Ambientais.....	35
3.7.4	Água na Indústria Têxtil.....	37
3.8	Produção mais Limpa.....	38
3.9	Reúso.....	40
3.10	Reúso na ETA.....	42
4	METODOLOGIA.....	46
4.1	Natureza da pesquisa.....	46
4.2	Levantamento Bibliográfico.....	47
4.3	Escolha da Indústria.....	47
4.4	Local de estudo.....	47
4.5	Coleta de Dados.....	49
4.6	Orçamento.....	51
4.7	Determinação do Período de Retorno do Investimento ..	52
4.8	Cronograma.....	54
5	RESULTADOS.....	55
5.1	Funcionamento da ETA.....	55
5.2	Volume da Água Descartada na Retrolavagem.....	62
5.3	Análises da água de lavagem.....	63
5.4	Opções para minimização de efluentes.....	77

5.4.1	Aumento da carreira de filtração .....	77
5.4.2	Lavagem com auxílio de ar comprimido .....	79
5.5	Opções de Recirculação do Efluente .....	80
5.5.1	Primeira opção .....	81
5.5.2	Segunda opção .....	83
5.6	Orçamento.....	89
5.7	Escolha da Alternativa mais Atrativa.....	89
5.8	Tempo de retorno do investimento .....	91
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....	95
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

# 1 INTRODUÇÃO

O processo de modernização através dos avanços tecnológicos trouxe inúmeros benefícios e conforto a população de uma maneira geral, contudo gerou degradações ecológicas e problemas sociais e econômicos globais muito evidentes (BRAUN, 2001).

A produção desenfreada originou um consumo excessivo de recursos naturais e gerou uma quantidade enorme de resíduos, sólidos e líquidos, que até então eram jogados *in natura* acarretando uma série de impactos ambientais.

Insumo básico de praticamente todos os tipos de atividades produtivas, a água está se tornando um recurso cada vez mais raro. Nosso planeta possui três quartos de sua superfície coberta por água, mas apenas uma pequena parcela corresponde à água doce que pode ser aproveitada pelo homem, sem que seja preciso um enorme investimento para adequar suas características físicas, químicas e biológicas. (MENEZES; GADELHA; SILVA JUNIOR; MACHADO; ALMEIDA, 2005).

No final do século XX surgiu a conscientização quanto às questões ambientais. A sociedade começou a entender que os recursos da natureza são finitos fazendo surgir a necessidade de repensar o conceito de desenvolvimento utilizado até então. Leis ambientais foram criadas, conferências com órgãos mundiais foram realizadas e cada vez mais a questão sobre o meio ambiente destacava-se, conscientizando a população acerca da crise ambiental vivida por todo o planeta.

As indústrias passaram a sofrer uma grande pressão de seus consumidores para que incluíssem em suas preocupações o meio ambiente natural, diminuindo os impactos que seus processos causam a ele.

Gradativamente, a gestão ambiental de controle de ‘fim de tubo’ tem perdido espaço em favor de abordagens mais sustentáveis, na medida em que as restrições legais e os custos de tratamento vão se acentuando. Nessa nova visão, ganham destaque os conceitos de Produção Mais Limpa (P+L) / Prevenção à Poluição (P2), os quais se materializam em ações de economia de energia e água, não-contaminação do meio ambiente, preservação dos recursos naturais e não-geração de resíduos

O setor industrial é responsável por uma grande parte do consumo de água doce mundial e ao mesmo tempo, é um dos principais causadores da sua contínua degradação. Assim sendo, no mundo empresarial tem havido evoluções significativas na gestão hídrica. As empresas atentaram para o fato de que descuidar da água é um atalho para tornar a população onerosa e, pior ainda, ficar a mercê das críticas de clientes, fornecedores e acionistas.

O reúso é uma prática que promove a redução da demanda sobre os mananciais de água, constituindo-se numa alternativa bastante significativa para auxiliar na solução da problemática da escassez dos recursos hídricos. A sociedade como um todo já despertou para o potencial do reúso.

O setor têxtil foi um dos primeiros a perceber cobranças de seus consumidores quanto à questão ambiental, sendo forçado a tomar medidas para satisfazê-los. As indústrias têxteis vêm sofrendo várias transformações na produção, no que se refere à modernização tecnológica do seu parque industrial, na busca de novas matérias-primas, na melhoria da qualidade, na racionalização de energias, no desenvolvimento de produtos pioneiros para o mercado (KNUTH, 2001).

Hoje, muitas empresas deste setor utilizam mecanismos de reúso de água, demonstrando sua preocupação com o meio ambiente e também como maneira de aumentar a produtividade da indústria.

As estações de tratamento de água (ETAs) representam uma necessidade básica visto que têm a finalidade de produzir água de boa qualidade, porém no processo de tratamento da água também ocorre um elevado consumo de água na limpeza e lavagem de decantadores e filtros, gerando um considerável volume de efluentes.

Na maioria das regiões do Brasil, os resíduos gerados nas ETAs são despejados em corpos d'água, em desrespeito à legislação ambiental. A disposição inadequada deste efluente, em corpos hídricos, tem mostrado ser extremamente danosa, seja pela provável toxidez dos resíduos gerados no processo e presentes neste efluente, seja pelo aumento da quantidade de sólidos e da turbidez da água no corpo receptor, que podem comprometer a estabilidade da vida aquática. (MENEZES et al, 2005).

Os tratamentos existentes consistem na redução da quantidade de água dos resíduos sólidos para atender aos padrões de lançamento

exigidos pela disposição final em aterros. Em alguns casos, o líquido clarificado é recirculado no sistema de tratamento.

No Brasil não há norma regulamentadora para tratamento e reciclo de efluentes gerados nas ETAs, já nos Estados Unidos, a norma Filter Backwash Recycling Rule – FBRR (USEPA, 2002) traz recomendações e exigências para a recirculação desses resíduos. Segundo esta norma, o efluente líquido, dependendo de suas características, pode ser recirculado sem tratamento prévio, porém recomenda-se que seja feita uma pré-separação dos sólidos.

A Indústria Têxtil Karsten S. A. já havia realizado estudos em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), para identificar possíveis pontos de reúso de água, a fim de diminuir sua grande demanda de água e evitar gastos desnecessários. Um dos pontos identificados foi a Estação de Tratamento de Água da empresa, que gera uma quantidade enorme de efluentes. Atualmente, por volta de 640m<sup>3</sup> de efluente são descartados diretamente no corpo hídrico, por dia.

O ganho ambiental do projeto de minimização e reúso do efluente gerado na ETA é indiscutível. O efluente não seria mais lançado ao rio contaminando-o e, ao mesmo tempo, a demanda de água captada do rio se tornaria mais baixa, preservando então o corpo hídrico da região. Mostraria ainda que a indústria se preocupa com a questão ambiental.

A minimização e o reúso de resíduos gerados em uma ETA é uma ação consistente com o conceito prevenção da poluição e produção mais limpa, o presente trabalho então visa analisar as características do efluente líquido gerado na ETA Karsten, a fim de constatar se é possível recircular o mesmo para a entrada da ETA. Além disso, apresentar alternativas de minimização e reciclo para os efluentes, juntamente com uma análise econômica verificando o período de retorno do investimento, para que em um futuro próximo a indústria possa tornar esse projeto uma realidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo principal**

Propor alternativas de sistemas de reciclo para a água do processo de lavagem mecânica dos filtros da Estação de Tratamento de Água da Indústria Têxtil Karsten S.A..

### **2.2 Objetivos específicos**

- Estudar o funcionamento da ETA;
- Analisar as características da água de lavagem dos filtros;
- Propor opções de minimização dos efluentes.

### **3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **3.1 Características Físicas e Organolépticas da Água**

Apesar de as características físicas da água terem importância relativamente pequena do ponto de vista sanitário, elas podem ser determinantes na escolha da tecnologia do tratamento (DI BERNARDO, 2002). São elas: turbidez, cor, temperatura, condutividade elétrica, sabor e odor.

##### **3.1.1 Turbidez**

A turbidez é característica física relativa à adsorção, ou refração de luz no meio aquoso, devido a presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, as quais podem apresentar ampla faixa de tamanhos. A turbidez pode ser causada principalmente por areia, argila e microrganismos em geral (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

##### **3.1.2 Cor Verdadeira e Cor Aparente**

Nas águas naturais, a cor é, também, característica física relativa à adsorção, ou refração de luz no meio aquoso, decorrente da presença de matéria inorgânica e orgânica dissolvida, originada da decomposição de plantas e animais. A remoção da cor obedece normas para atender efeitos estéticos, e também para eliminar ou diminuir a presença de orgânicos dissolvidos. Com a descoberta de que tais substâncias são, potencialmente, precursoras de formação de trihalometanos (THM) e de outros compostos organo-halogenados se a desinfecção for feita com cloro livre, a quantificação da cor passou a ser muito importante (DI BERNARDO & DANTAS, 2005). A cor aparente é aquela derivada da medida feita na amostra da água em seu estado natural

Cor verdadeira é feita com o sobrenadante da amostra de água centrifugada por 30 minutos, com rotação de 3.000 rpm, ou de água filtrada em membrana de 0,45 m (DI BERNARDO, 2002).

### **3.1.3 Condutividade Elétrica**

A condutividade depende da quantidade de sais dissolvidos na água, sendo aproximadamente proporcional à sua quantidade. A determinação da condutividade elétrica permite estimar de modo rápido a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) presentes na água. Para valores elevados de STD, aumenta a solubilidade dos precipitados de alumínio e de ferro, o que influi na cinética da coagulação. Também é afetada a formação e precipitação de carbonato de cálcio, favorecendo a corrosão (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

## **3.2 Características Químicas da Água**

Do ponto de vista sanitário, as características químicas das águas são de grande importância, pois a presença de alguns elementos ou compostos químicos na água bruta pode inviabilizar o uso de certas tecnologias de tratamento e exigir tratamentos específicos. Dependendo da forma em que se encontra um metal na água, ele poderá ou não ser removido na estação. O cromo com valência seis, por exemplo, é muito mais difícil de ser removido que o cromo de valência três (DI BERNARDO & DANTAS, 2005). Das muitas características químicas: pH, alcalinidade e acidez, dureza, cloretos e sulfatos, ferro e manganês, nitratos e nitritos, oxigênio dissolvido e compostos orgânicos, serão feitos alguns comentários relativos ao pH, alcalinidade e acidez, dureza, ferro e manganês.

### **3.2.1 Potencial hidrogeniônico (pH)**

O pH expressa a acidez de uma solução. É um parâmetro importante, principalmente nas etapas de coagulação, filtração, desinfecção e controle de corrosão. Águas com valores baixos de pH tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais e paredes de concreto. Águas com valor elevado de pH, tendem a formar incrustações (DI BERNARDO, 2002).

### 3.2.2 Dureza

Segundo DI BERNARDO & DANTAS (2005), dureza é definida como a soma de cátions polivalentes presentes na água e expressa em termos de uma quantidade equivalente de  $\text{CaCO}_3$ . Os principais íons metálicos, que conferem dureza à água são o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$  – quase sempre associado ao íon sulfato) e, em menor grau, o íon ferro ( $\text{Fe}^{2+}$  – associado ao nitrato), do manganês ( $\text{Mn}^{2+}$  - associado ao nitrato) e estrôncio ( $\text{Sr}^{2+}$  – associado ao cloreto).

A dureza está associada a incrustações em sistemas de água quente, podendo causar problemas sérios em aquecedores em geral. Na maioria dos casos, a dureza é decorrente do cálcio associado ao bicarbonato, o qual se transforma em carbonato (pouco solúvel) por aquecimento ou elevação do pH, tendo-se neste caso a dureza temporária. A dureza decorrente de cátions associados a outros ânions é denominada dureza permanente. A Tabela 1 apresenta uma classificação das águas em relação ao teor de carbonato de cálcio.

**Tabela 1 – Classificação das águas com relação ao teor de carbonato de cálcio (dureza total).**

Classificação das Águas	Dureza total (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )
Mole (normal)	0 a 50
Moderadamente dura	51 a 150
Duras	151 a 300
Muito duras	> 300

**FONTE: Adaptado de RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991, p.**

31

### 3.2.3 Alcalinidade e Acidez

De acordo com DI BERNARDO & DANTAS (2005), a alcalinidade pode ser entendida como a capacidade da água neutralizar ácidos, e a acidez, como a capacidade de neutralizar bases. A alcalinidade e a acidez de soluções aquosas baseiam-se geralmente, no sistema do ácido carbônico. Em função do pH, tem-se:  $\text{pH} = 12,3$  a  $9,4$ :

alcalinidade decorrente de hidróxidos e carbonatos. pH = 9,4 a 8,3:  
alcalinidade decorrente de carbonatos e bicarbonatos. pH = 8,3 a 4,4:  
alcalinidade decorrente somente de bicarbonatos.

Ainda segundo esses autores, a medida da alcalinidade é usualmente obtida por meio de titulação com ácido padronizado, sendo os resultados expressos em termos de carbonato de cálcio.

### **3.2.4 Ferro**

O ferro solúvel, geralmente, está associado a bicarbonatos e cloretos, e sua presença não costuma causar problemas ao ser humano, porém quando oxidado causa problemas com seu precipitado, causando manchas em sanitários e roupas.

### **3.2.5 Compostos Orgânicos**

Os constituintes orgânicos têm três origens principais: substâncias orgânicas naturais, atividades antrópicas e reações que ocorrem nas ETAs. Embora tais substâncias não sejam prejudiciais ao ser humano, algumas podem agir como precursores de formação de trihalometanos e outros compostos organo-halogenados durante a desinfecção, se o cloro livre for utilizado na ETA.

## **3.3 Características Biológicas**

Incluem as contaminações por organismos vegetais como algas (verdes, azuis, diatomáceas), bactérias (saprofitas e patogênicas), leveduras, fungos e vírus. Os organismos animais estão representados pelos protozoários e vermes. As características biológicas da água são determinadas através de exames bacteriológicos e hidrobiológicos.

## **3.4 Tratamento de Água**

As características físicas e químicas da água são importantes na escolha de tecnologia para o seu tratamento. As características químicas,

produzidas por sais ou compostos orgânicos, interferem, ou até mesmo inviabilizam, a utilização de determinadas tecnologias de tratamento (DI BERNARDO, 1993 a).

As tecnologias de tratamento de água evoluíram consideravelmente, a ponto de se poder afirmar que, teoricamente, água de qualquer qualidade pode ser tratada. Porém os riscos e custos do tratamento de águas muito contaminadas podem ser extremamente elevados. (DI BERNARDO & DANTAS, 2005)

O tratamento de águas de abastecimento pode ser definido como o conjunto de processos e operações realizado com a finalidade de adequar as características físico-químicas e biológicas da água bruta, isto é, como é encontrada no curso d'água, com padrão organolepticamente agradável e que não ofereça riscos à saúde humana. (DI BERNARDO, 2003)

O desconhecimento da água bruta pode levar a muitos erros de projeto das ETAs, portanto a escolha do manancial deve ser precedida de levantamento sanitário da bacia hidrográfica e de profundo estudo da qualidade da água. A definição deve estar associada à preservação futura do mesmo, pois a qualidade da água pode mudar não só sazonalmente mas também ao longo dos anos. Durante o período de utilização do manancial deve ser feitos monitoramentos sanitários freqüentes a fim de descobrir eventuais mudanças na qualidade da água. (di Bernardo).

A resolução número 20 do CONAMA, de 15 de junho de 1986, classifica as águas doces, salobras e salinas do Brasil, especificando o tipo de tratamento necessário para águas destinadas ao abastecimento público. Para cada classe são especificados limites dos parâmetros físicos, químicos, biológicos e radiológicos. A NBR-12216 da ABNT, também faz uma classificação das águas naturais associando cada uma delas ao tipo de tratamento recomendado.

Segundo a norma, existem os seguintes tipos de águas naturais para abastecimento público:

Tipo A: Águas superficiais ou subterrâneas provenientes de bacias sanitariamente protegidas e que atendam ao padrão de potabilidade, sendo requeridas apenas desinfecção e correção de pH.

Tipo B: águas superficiais ou subterrâneas provenientes de bacias não protegidas e que atendem o padrão de potabilidade por meio de tecnologia de tratamento que não exija coagulação química.

Tipo C: águas superficiais provenientes de bacias não protegidas e que exigem tecnologias com coagulação para atender ao padrão de potabilidade.

Tipo D: águas superficiais de bacias não protegidas, sujeitas à poluição, que requerem tratamentos especiais para atender ao padrão de potabilidade.

### 3.4.1 Principais Processos de Tratamento de Água

#### **Coagulação:**

Substâncias coagulantes são adicionadas na água com a finalidade de reduzir as forças eletrostáticas de repulsão, que mantém separadas as partículas em suspensão, as coloidais e parcela das dissolvidas. Desta forma, eliminando-se ou reduzindo-se a “barreira de energia” que impede a aproximação entre as diversas partículas presentes, criam-se condições para que haja aglutinação das mesmas, facilitando sua posterior remoção por sedimentação e/ou filtração. Os coagulantes mais utilizados são o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, sais que, em solução, liberam espécies químicas de alumínio ou ferro com alta densidade de cargas elétricas, de sinal contrário às manifestadas pelas partículas presentes na água bruta, eliminando, assim, as forças de repulsão eletrostática originalmente presentes na água bruta.

A coagulação geralmente realizada por sais alumínio e de ferro, resulta de dois fenômenos:

Essencialmente químico: consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva, que depende da concentração do metal e pH final da mistura;

Fundamentalmente físico: consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato entre as impurezas presentes na água.

Os principais mecanismos da coagulação são: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura, adsorção e formação de pontes.

a) compressão da camada difusa: estabelecimento de uma força iônica grande no meio (em geral através de eletrólitos indiferentes, como Na<sup>+</sup> ou Ca<sup>+</sup>) de forma que a camada difusa, para restabelecer seu

equilíbrio, reduza sua espessura, eliminando a estabilização eletrostática. Por fim, as camadas difusas se juntam, ocorrendo a coagulação;

b) adsorção e neutralização de cargas: importante para os casos de filtração direta - em que não há necessidade de formação de flocos -, ocorre através da adsorção do coagulante na interface colóide/água. Esse mecanismo exige cuidado quanto às dosagens de coagulante (em geral sais de  $\text{Ca}^+$  e  $\text{Na}^+$ ), para que não ocorra a reestabilização das partículas;

c) varredura: um dos mecanismos mais utilizados em função da segurança e do desconhecimento do operador – fornece flocos de maior tamanho -, ocorre através do envolvimento das partículas coloidais por precipitados de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  (a partir dos coagulantes); e

d) adsorção e formação de pontes: ocorrem a partir de compostos orgânicos de grande cadeia molecular que apresentam sítios ionizáveis que permitem a formação de pontes de hidrogênio na interação colóide-coagulante

### **Unidades de mistura rápida:**

Nas ETAs a coagulação é realizada na unidade de mistura rápida, podendo ser hidráulica ou mecanizada. Há grande diversidade entre os tipos comumente usado nas ETAs. Destacam-se os dispositivos nos quais se tem a formação do ressalto hidráulico (vertedor Parschall ou retangular), injetores (tubos providos de orifícios) em tubulações forçadas ou em canais de água bruta, câmaras providas de agitadores mecanizados com diferentes tipos de rotores, etc. (DI BERNARDO & DANTAS, 2005)

### **Floculação**

Após a coagulação, é necessária agitação relativamente lenta para proporcionar encontros entre as partículas menores a fim de formar flocos maiores de impurezas. Com o aumento do tamanho dos flocos e conseqüentemente aumento de sua massa específica, fica mais fácil sua remoção por sedimentação, flotação ou filtração direta.

Nas ETAs, a floculação pode ser realizada em unidades hidráulicas ou mecanizadas. As unidades hidráulicas podem ser do tipo chicanas com escoamento vertical (ascendente e descendente) ou horizontal, de meio granular fixo (geralmente pedregulho) ou de meio

granular expandido (esferas de material com baixa massa específica), de malhas localizadas em canais, etc. Nas unidades mecanizadas, os agitadores podem ser de eixo horizontal ou vertical e os rotores podem ser de paletas paralelas ou perpendiculares ao eixo, ou do tipo turbina. (DI BERNARDO & DANTAS, 2005)

Polímeros sintéticos e naturais podem ser usados como auxiliares no processo de floculação, ajudando na formação dos flocos.

### **Sedimentação e Flotação**

Sedimentação é o fenômeno físico em que as partículas em suspensão apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, devido à ação da gravidade, enquanto a flotação caracteriza-se pela ascensão das partículas suspensas e pela aderência de microbolhas de ar às mesmas, tornando-as de menor massa específica que o meio onde se encontram.

A ocorrência de sedimentação ou flotação das partículas suspensas propicia a clarificação do meio líquido, ou seja, a separação das fases sólidas e líquidas. (DI BERNARDO & DANTAS, 2005)

A decantação pode ser convencional, em unidades de escoamento horizontal de mantos de lodos, em unidades de escoamento vertical ascendente, ou de alta taxa (em unidades providas de placas ou módulos tubulares). A flotação pode ser realizada em unidades retangulares ou cilíndricas, sendo o efluente clarificado encaminhado aos filtros. Porém, ultimamente, tem sido mais comum o projeto e a construção de novas ETAs com a técnica da floto-filtração, ou seja, há clarificação e filtração na mesma unidade.

#### **Tipos de decantadores:**

**Decantadores Estáticos:** São assim chamados pela relativa lentidão com que o processo de decantação se efetua. Trata-se de grandes tanques, em geral de seção retangular.

**Decantadores Dinâmicos:** Os grandes volumes e áreas ocupados pelos decantadores estáticos propiciaram a criação de decantadores dinâmicos, nos quais o tempo de detenção é reduzido para 1 a 2 horas, com conseqüente aumento da taxa de escoamento superficial.

De Grande Superfície de Contato: Decantadores dotados de módulos tubulares. A aplicação de módulos tubulares permite a adoção de taxas elevadas de escoamento superficial, em relação aos decantadores convencionais, resultando em decantadores que ocupam áreas bastante reduzidas. Os módulos tubulares têm ângulo de inclinação de 60°

## **Filtração**

A filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de microorganismos presentes na água que escoam através de um meio granular. Em geral, a filtração é o processo final de remoção de impurezas realizado em uma ETA e, portanto, principal responsável pela produção de água com qualidade condizente com o padrão de potabilidade exigido.

Na filtração rápida descendente, com ação de profundidade, as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante, ao contrário à de ação superficial, em que a retenção é significativa apenas no topo do meio filtrante. Independente do tipo de filtração, há necessidade de lavagem do filtro após certo tempo de funcionamento. Geralmente essa lavagem é realizada através da introdução de água no sentido ascensional, com velocidade relativamente alta, para promover a fluidificação parcial do meio granular, com liberação das impurezas.

Em geral, a retenção de impurezas é considerada o resultado de dois mecanismos distintos, porém complementares: transporte e aderência. Em primeiro lugar, as partículas devem se aproximar das superfícies dos grãos e, posteriormente, permanecer aderidas a estes, de modo a resistir às forças de cisalhamento resultantes das características hidrodinâmicas do escoamento ao longo do meio filtrante. (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Os mecanismos de transporte são responsáveis por conduzir as partículas suspensas para as proximidades das superfícies dos coletores (grãos de antracito, areia ou outro material granular), as quais podem permanecer aderidas a estes por meio de forças superficiais, que resistem às forças de cisalhamento resultantes das características do escoamento ao longo do meio filtrante.

A filtração pode ser realizada com taxa constante ou declinante, dependendo das características de entrada e saída das unidades de uma

bateria. No caso da filtração com taxa constante, a filtração pode ocorrer com nível de água variável ou constante no interior dos filtros, de forma que os equipamentos de controle podem ou não ser necessários.

### **Sistema de lavagem dos filtros**

À medida que o filtro vai funcionando acumula impurezas entre os interstícios do leito filtrante, aumentando progressivamente a perda de carga e redução na sua capacidade de filtração. Quando essa perda atinge um valor preestabelecido ou a turbidez do efluente atinge além do máximo de operação, deve ser feita a lavagem. O tempo em que o filtro passa trabalhando entre uma lavagem e outra consecutivas é chamado de carreira de filtração. Ao final desse período, deve ser lavado para a retirada da sujeira que ficou retida no leito de filtragem. Uma carreira de filtração fica em torno de 20 a 30 horas, podendo em situações esporádicas, principalmente no início do período chuvoso, ocorrer mais de uma lavagem por dia. Esta lavagem tem aspectos bem peculiares.

#### **A lavagem dos filtros ocorre por:**

a) Transpasse da turbidez na água filtrada (Turbidez = 0,5 NTU). Durante a filtração, se a taxa de filtração permanecer constante, a velocidade de escoamento da água nos poros, ou seja, a velocidade intersticial irá aumentar. Isto ocorre em função das partículas retidas no meio filtrante. Quando as forças de cisalhamento forem maiores do que as forças de aderência, ocorrerá o arrastamento das partículas para as subcamadas inferiores do meio filtrante, até aparecerem na água filtrada. Isto caracteriza o transpasse. Quando ocorre o transpasse, significa que o meio filtrante não é mais capaz de reter impurezas ocasionando um aumento do número de microorganismos presentes na água filtrada. Este aumento, de turbidez e de organismos, poderá comprometer a desinfecção.

b) Igualdade entre a perda de carga total do sistema e a carga hidráulica disponível (geralmente entre 2,0 e 3,0m). O ideal nas estações de tratamento de água é que o encerramento da carreira de filtração se dê sempre pela obtenção da perda de carga limite (ou seja, da carga hidráulica máxima).

Ainda na situação ideal, a carga hidráulica disponível total para certa taxa de filtração, seria igual àquela para a qual o final da carreira de filtração ocorresse simultaneamente com a perda de carga e a turbidez limites (DI BERNARDO & DANTAS, 2005)

Normalmente, os filtros rápidos são lavados aplicando-se em escoamento ascendente, com velocidade capaz de assegurar a expansão adequada do meio filtrante. Pode ser lavado somente com água ou com ar e água e com ou sem lavagem auxiliar.

Lavagem eficiente pode ser conseguida quando a expansão do leito atinge cerca de 40%. Nestes casos, dependendo da granulometria, a lavagem pode ser feita com velocidades ascencionais entre 0,70 e 1,05 m/min, correspondendo a taxas de 1000 a 1500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d, respectivamente, com tempo de lavagem entre 7 e 10 min.

Analisando um sistema de filtração é possível saber qual filtro lavar quando:

- Lava-se o filtro que estiver operando a mais tempo ou o que apresentar o nível de água mais elevado;
- Lava-se o filtro que estiver operando a mais tempo se o sistema trabalha com taxa declinante;
- Se houver controle de turbidez da água filtrada em cada filtro, lava-se o filtro que apresentar pior resultado.

A lavagem pode ser feita através de bombas. Deve ser dada atenção especial ao controle da vazão de lavagem, que pode ser feito através de duas válvulas. É recomendável que se tenha mais de um conjunto motor-bomba para que se tenha maior flexibilidade no controle da vazão durante a lavagem.

A lavagem também pode ser feita por reservatório elevado, para lavar os filtros por gravidade. Este sistema apresenta a vantagem de que exige pouca manutenção, embora precise de um conjunto motor-bomba, mas de pequena potência sendo que dispõem de um bom tempo para recalcar a água para o reservatório elevado. Essa solução tem sido a mais empregada no Brasil, porém deve ser feita uma análise econômica para ver qual sistema de lavagem será mais interessante.

Outra opção é a lavagem por ar e água (com bomba ou reservatório). Esse sistema é muito utilizado em filtros com areia de grande espessura, onde o ar envolve os grãos e a água lava o espaço

entre eles. Sendo assim, os filtros deste tipo não precisam expandir o leito para lavá-lo.

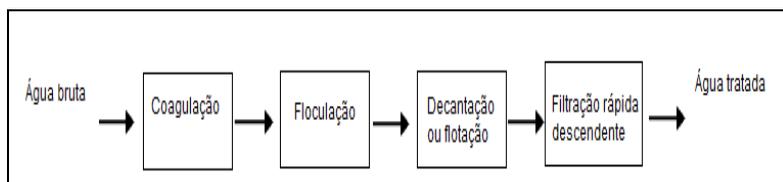
Existe também a lavagem com água proveniente dos demais filtros. Esse sistema de filtração é chamado de filtros multicelulares ou sistema autolavável. Para lavar um dos filtros a água filtrada dos demais é conduzida para este, quando aberta a comporta ou válvula de saída da água de lavagem. Os filtros estão todos interligados como vasos comunicantes pela câmara de fundo falso ou por grandes tubulações de saída da água de lavagem. Uma das desvantagens é que a caixa dos filtros normalmente deve ter uma altura bem elevada para garantir condições hidráulicas para uma boa lavagem.

### 3.4.2 Tecnologias de Tratamento

A água quimicamente coagulada pode chegar vários caminhos até chegar aos filtros, sendo que a qualidade da água bruta deve ser o fator na escolha da tecnologia de tratamento. São descritas abaixo as principais tecnologias de tratamento e suas principais características.

#### Tratamento convencional

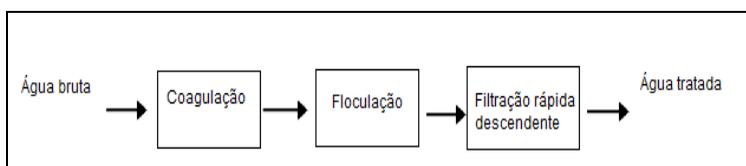
Também denominado de tratamento convencional, neste sistema normalmente a água bruta é coagulada com sais de alumínio ou ferro através do mecanismo de varredura. Após a mistura rápida, a água coagulada é submetida a uma agitação lenta até que os flocos alcancem tamanho e massa específicos pra que sejam retirados nos decantadores ou flutuadores. A água clarificada é então filtrada em unidades com escoamento descendente. (Figura 1).



**Figura 1: Fluxograma do tratamento convencional**

## Filtração direta descendente

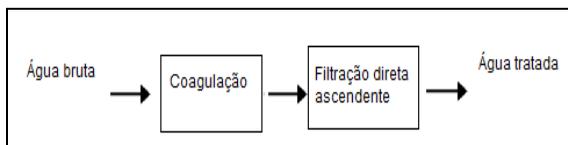
A água pode ser coagulada com sais de alumínio ou de ferro e receber um polímero como auxiliar de floculação ou filtração, ou ser coagulada com polímero catiônico no mecanismo de coagulação de neutralização de cargas. Dependendo do tamanho das partículas presentes na água bruta e das características do processo de filtração, a floculação pode ou não se fazer necessária. A filtração com taxa declinante variável deve ser preferencialmente adotada. (Figura 2).



**Figura 2: Fluxograma da filtração direta descendente**

## Filtração direta ascendente

A água bruta é coagulada no mecanismo de neutralização de cargas e introduzida na parte inferior da unidade filtrante, a qual deve possuir fundo e sistema de drenagem apropriados, camada de pedregulho adequada e meio filtrante constituído unicamente de areia. Os filtros podem ser operados com taxa constante e com ou sem descargas de fundo intermediárias. (Figura 3).

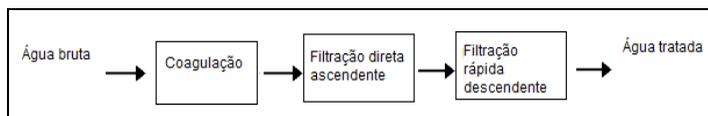


**Figura 3: Fluxograma da filtração direta ascendente**

## Dupla filtração

Na dupla filtração tem-se a associação da filtração direta descendente com a filtração direta ascendente. Nos dois filtros usa-se meio filtrante constituído unicamente de areia, com a diferença de que o

tamanho dos grãos é maior do que os que se utiliza quando há somente a filtração direta ascendente. A coagulação da água bruta é realizada através do mecanismo de neutralização de cargas e geralmente a operação da filtração ascendente é realizado com descargas de fundo intermediárias introduzindo-se água na interface. (Figura 4).



**Figura 4: Fluxograma da dupla filtração**

### 3.4.3 Resíduos das ETAs

As diversas atividades industriais exigem águas com diferentes características, com diferentes padrões de qualidade. Mesmo quando os padrões de qualidade exigidos não são muito restritivos, como é o caso da água utilizada para resfriamento, procura-se utilizar uma água de boa qualidade a fim de proteger os equipamentos.

As técnicas de tratamento de água dependem dos compostos que precisam ser removidos. Portanto dependendo das características da água bruta captada e das exigências quanto ao grau de pureza, maior ou menor será o grau de complexidade do tratamento.

As estações de tratamento de água (ETAs) representam uma necessidade básica visto que têm a finalidade de produzir água de boa qualidade, porém no processo de tratamento da água também ocorre um elevado consumo de água na limpeza e lavagem de decantadores e filtros, gerando uma grande quantidade de efluentes.

O tratamento de água visando torná-la potável gera uma quantidade de resíduos, que pode ser de diferentes tipos, dependendo da concepção do sistema de tratamento. No Brasil, o sistema de tratamento mais utilizado é o chamado convencional, que gera dois tipos principais de resíduos/rejeitos, a saber:

- despejos gerado nos decantadores (ou eventualmente em flotadores com ar dissolvido)
- os despejos gerados na operação de lavagem dos filtros.

s impurezas removidas no processo, juntamente com os produtos químicos utilizados, formam o chamado “lodo de ETA” devendo receber um tratamento e serem dispostos de maneira adequada.

Os resíduos produzidos nas ETAs convencionais, caracterizam-se por possuírem grande umidade, geralmente maior que 95%, estando sob forma fluida. Em termos de volume, a maior quantidade de resíduos é proveniente da lavagem dos filtros e, em termos de massa de sólidos, as maiores quantidades são geradas nos decantadores. (SOUZA & CORDEIRO, 2002).

Segundo BARBOSA (2002) citado em SOUZA & CORDEIRO (2002) Os resíduos de ETAs são constituídos por materiais removidos da água bruta, por produtos químicos adicionados à água durante o tratamento e pela própria água que atua como agente transportador destes mesmos resíduos. Geralmente, tais resíduos apresentam baixa biodegradabilidade, alta concentração de sólidos totais, agentes patogênicos e, eventualmente, metais pesados que podem causar toxicidade à vida aquática

A quantidade e a qualidade dos resíduos gerados na ETA convencional, dependem da qualidade da água bruta, do tipo e da quantidade de produtos químicos adicionados e da eficiência do tratamento. Esses resíduos gerados nas ETAs, tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo, representam um problema sério para as instituições que gerenciam tais sistemas. (DI BERNARDO, DI BERNARDO & CENTURIONE FILHO, 2002)

Cada linha geradora de despejos apresenta características distintas em termos de vazão e concentração de sólidos, razão pela qual, diferentes concepções de tratamento devem ser consideradas.

A disposição inadequada deste efluente, em corpos hídricos, tem mostrado ser extremamente danosa, seja pela provável toxidez dos resíduos gerados no processo e presentes neste efluente, seja pelo aumento da quantidade de sólidos e da turbidez da água no corpo receptor, que podem comprometer a estabilidade da vida aquática. O efluente descartável apresenta uma composição bastante variada, sendo constituído principalmente do material em suspensão, originalmente presente na água bruta, e das substâncias químicas adicionadas à água (coagulantes) para tratá-la. (MENEZES et al, 2005).

### 3.5 Recursos hídricos

Essencial ao surgimento e manutenção da vida, a água é indispensável para o desenvolvimento das diversas atividades criadas pelo ser humano e apresenta, por essa razão, valores econômicos, sociais e culturais. (MENEZES et al, 2005).

Nosso planeta possui três quartos de sua superfície coberta por água, mas apenas uma pequena parcela corresponde à água doce que pode ser aproveitada pelo homem, sem que seja preciso um enorme investimento para adequar suas características físicas, químicas e biológicas.

O estoque natural de água existente no planeta é da ordem de 1.386 milhões de km<sup>3</sup>. O volume total de água na Terra não aumenta nem diminui, é sempre o mesmo. A água ocupa aproximadamente 70% da superfície do nosso planeta. Mas 97,5% da água do planeta é salgada. Da parcela de água doce, 68,9% encontra-se nas geleiras, calotas polares ou em regiões montanhosas, 29,9% em águas subterrâneas, 0,9% compõe a umidade do solo e dos pântanos e apenas 0,3% constitui a porção superficial de água doce presente em rios e lagos. (MENEZES et al, 2005).

Do total de água disponível para o consumo mundial, cerca de 70% são utilizadas na agricultura. A indústria é responsável por 22%, ficando os restantes 8% para uso doméstico. (TWARDOKUS, 2004).

A água doce não está distribuída uniformemente pelo globo. Sua distribuição depende essencialmente dos ecossistemas que compõem o território de cada país. Segundo o Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), na América do Sul encontra-se 26% do total de água doce disponível no planeta e apenas 6% da população mundial, enquanto o continente asiático possui 36% do total de água e abriga 60% da população mundial.

O consumo diário de água é muito variável ao redor do globo. Além da disponibilidade do local, o consumo médio de água está fortemente relacionado com o nível de desenvolvimento do país e com o nível de renda das pessoas. Uma pessoa necessita de, pelo menos, 40 litros de água por dia para beber, tomar banho, escovar os dentes, lavar as mãos, cozinhar etc. Dados da ONU, porém, apontam que um europeu, que tem em seu território 8% da água doce no mundo,

consome em média 150 litros de água por dia. Já um indiano, consome 25 litros por dia. Segundo estimativas da Unesco, se continuarmos com o ritmo atual de crescimento demográfico e não estabelecermos um consumo sustentável da água, em 2025 o consumo humano pode chegar a 90%, restando apenas 10% para os outros seres vivos do planeta.

O desenvolvimento industrial e tecnológico que vêm ocorrendo mundialmente nos últimos anos, têm levado a uma demanda de água cada vez maior, fazendo com que as poucas fontes de água doce do planeta hoje disponíveis, já estejam comprometidas ou vulneráveis às poluições. Devido a essa situação, a disputa pela água tem aumentado entre os povos, sendo que sua disponibilidade tornou-se limitada, pelo comprometimento de sua qualidade.

Cada vez mais, a água passa a ser considerada um recurso natural, com valores econômico, estratégico e social. Assim, nos dias atuais há um sentimento crescente relacionado às exigências ambientais, de proteção aos mananciais, considerando-se o uso racional da água e o reúso, como ferramentas importantes para as indústrias, inclusive a da produção de água tratada, que buscam minimizar problemas relacionados à disponibilidade hídrica e ao lançamento de efluentes, cada dia mais premente. (MENEZES et al, 2005).

A utilização dos recursos de água doce é fonte de numerosos problemas, cuja resolução necessita uma profunda reflexão ética. É preciso saber se o planeta tem capacidade de suportar esse ritmo de exploração dos recursos de água doce. A água, fonte de vida, é igualmente um recurso de valor econômico e uso coletivo, que deve ser gerido de maneira a não provocar conflitos ou desequilíbrios entre países ou dentro de um mesmo país. (UNESCO, 2001)

No Brasil, a referida situação de disputa pela água atingiu um nível tal, que conflitos de uso são fartamente detectados nas regiões mais carentes, especialmente no semi-árido.

Em janeiro de 1997, com a aprovação da lei 9433, foi criado no Brasil o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, fundamento os seguintes aspectos: a água é um bem de domínio público; é um recurso natural limitado e dotado de valor econômico; em situações de escassez o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; a gestão de recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia hidrográfica é unidade territorial para implementação da política

nacional de recursos hídricos e a atuação do gerenciamento de recursos hídricos; e a gestão de recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e da comunidade.

### 3.6 Água na indústria

Dentre os principais usos da água estão o consumo humano, uso industrial, irrigação, geração de energia, transporte, aquíicultura, preservação da fauna e flora, paisagismo, assimilação e transporte de efluentes.

Depois da irrigação e do consumo humano, o setor industrial é o que mais consome a água do planeta. (UNESCO, 2001)

O setor industrial é responsável por uma grande parte do consumo de água doce mundial e ao mesmo tempo, é um dos principais causadores da sua contínua degradação. Isso ocorre devido ao rápido crescimento da população em todo o mundo, o que leva a uma necessidade sempre crescente de se aumentar a produção dos bens de consumo. O fato é que as indústrias se proliferam, consumindo quantidades cada vez maiores de energia e matérias-primas, gerando poluição e outros inconvenientes ao meio ambiente.

Dependendo do processo industrial a água pode ser tanto matéria-prima, incorporada ao produto final, como um composto auxiliar na preparação das matérias-primas, fluido de transporte, fluido de aquecimento ou refrigeração, nos processos de limpeza dos equipamentos, etc. (UNESCO, 2001)

De uma maneira genérica, pode-se dizer que a água encontra as seguintes aplicações na indústria:

- Consumo humano: água utilizada em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas e refeitórios, bebedouros, equipamentos de segurança (lava-olhos, por exemplo) ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto;

- Matéria Prima: como matéria-prima, a água será incorporada ao produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cervejas e refrigerantes, de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, de cosméticos, de alimentos e conservas e de fármacos, ou então, a água é

utilizada para a obtenção de outros produtos, por exemplo, o hidrogênio por meio da eletrólise da água.

- Uso como fluido auxiliar: a água, como fluido auxiliar, pode ser utilizada em diversas atividades, destacando-se a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem.

- Uso para geração de energia: Para este tipo de aplicação, a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia cinética, potencial ou térmica, acumulada na água, em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica.

- Uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento: Nestes casos, a água é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento devido à geração de calor, ou então, devido às condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento

- Outros Usos: Utilização de água para combate à incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa.

De um modo 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 produção. O ramo de atividade da indústria, que define as atividades desenvolvidas, determina as características de qualidade da água a ser utilizada, ressaltando-se que em uma mesma indústria podem ser utilizadas águas com diferentes níveis de qualidade. Por outro lado, o porte da indústria, que está relacionado com a sua capacidade de produção, irá definir qual a quantidade de água necessária para cada uso.

A disponibilidade hídrica do planeta vem diminuindo acentuadamente devido ao aumento excessivo do consumo de água e da poluição dos corpos d'água. Isto tem levado as indústrias a adotarem estratégias de gerenciamento dos recursos hídricos. A cobrança pelo uso da água e pelo descarte do efluente nas bacias hidrográficas, instituída através da Lei 9.433/97, são fatores que também contribuem para as indústrias investirem em programas de conservação da água. Desta forma, a conservação da água torna-se uma ferramenta indispensável para reduzir de modo sistemático o consumo de água e a geração de

efluentes, e adequar as indústrias a realidade de escassez hídrica. (MARTINS; ASTORGA & SILVEIRA, 2006)

Apesar da cobrança pela captação de água bruta ainda ser baixa devido à abundância deste recurso natural, as leis ambientais e os custos envolvidos com o uso dos recursos hídricos estão se tornando cada vez mais presentes entre os fatores competitivos do setor industrial. Para reduzir o impacto ambiental, deve-se prioritariamente atuar sobre o consumo de água no sentido de sua redução através da adoção de tecnologias que permitam a minimização do consumo ou seu reúso.

### **3.7 Indústria Têxtil**

De acordo com o CNTL-SENAI/RS (2007) o início desta história precede a ocupação do país pelos portugueses, já que os índios exerciam atividades artesanais, com técnicas de entrelaçamento manual de fibras vegetais, produzindo telas com diversas finalidades, inclusive para proteção corporal.

A indústria Têxtil e de Confeção deu origem ao processo de industrialização no Brasil. No período de colonização, a indústria ainda sofria forte influência de acordos internacionais e era extremamente descontínua. As diretrizes da política econômica das colônias eram ditadas pela Metrópole e aconteciam conforme os interesses do colonizador. Mas, foi neste período que começou a primeira política industrial nacional, em 1844, quando foram elevadas as tarifas alfandegárias para a média de 30%, fato que propiciou um estímulo à industrialização, especialmente para o ramo têxtil. (CNTL/SENAI/RS, 2007)

Em 1864 funcionavam vinte fábricas no Brasil, com cerca de 15.000 fusos e 385 teares. Menos de vinte anos depois, ou seja, em 1881, aquele total cresceria para quarenta e quatro fábricas, totalizando 60.000 fusos e gerando cerca de 5.000 empregos. Nas décadas seguintes, houve uma aceleração do processo de industrialização e, às vésperas da I Guerra Mundial, existiam duzentas fábricas que empregavam 78.000 pessoas.

O número de operários ocupados no ramo têxtil e de confecção triplicou no período de 1920 a 1940. Em 1958, foi fundada a Fenit, a primeira Feira Nacional da Indústria Têxtil, que aconteceu no Pavilhão

Internacional do Parque do Ibirapuera, dando origem a dezenas de outras feiras têxteis e de confecção espalhadas por todo o território brasileiro. A evolução da Indústria têxtil e do vestuário, ao longo dos últimos dez anos, ficou marcada por um forte investimento em tecnologia, com especial destaque na informação e comunicação. As indústrias têxtil e do vestuário assumiram posição de destaque nas exportações nacionais.

O valor da produção da cadeia Têxtil e de Confecção representa o equivalente a pouco mais de 4% do PIB total brasileiro e de 17% da indústria de transformação. Emprega cerca de 1,5 milhão de trabalhadores, o que representa 1,7% da população economicamente ativa do país e 16,9% do total dos trabalhadores alocados na indústria da transformação.

Isso faz dela a segunda maior empregadora formal deste aglomerado. Estes dados demonstram claramente que a cadeia Têxtil e de Confecção mantém seu status de setor de grande relevância para a dinâmica da economia do país, além de trazer forte impacto social, sobretudo por conta do perfil do trabalhador, constituído em sua maioria por mulheres, e com baixo grau de instrução. (Associação Brasileira das Indústrias Têxteis – ABIT, 2003)

### **3.7.1 Processo Produtivo**

Segundo CETESB (2009) o processo produtivo do setor têxtil pode ser dividido em:

A) Fiação: etapa de obtenção do fio a partir das fibras têxteis que pode ser enviado para o beneficiamento ou diretamente para tecelagens e malharias.

B) Beneficiamento: etapa de preparação dos fios para seu uso final ou não, envolvendo tingimento, engomagem, retorção (linhas, barbantes, fios especiais, etc.) e tratamento especiais.

C) Tecelagem e/ou Malharia: etapas de elaboração de tecido plano, tecidos de malha circular ou retilínea, a partir dos fios têxteis.

D) Enobrecimento: etapa de preparação, tingimento, estamparia e acabamento de tecidos, malhas ou artigos confeccionados.

E) Confecções: nesta etapa o setor tem aplicação diversificada de tecnologias para os produtos têxteis, acrescida de acessórios incorporados nas peças.

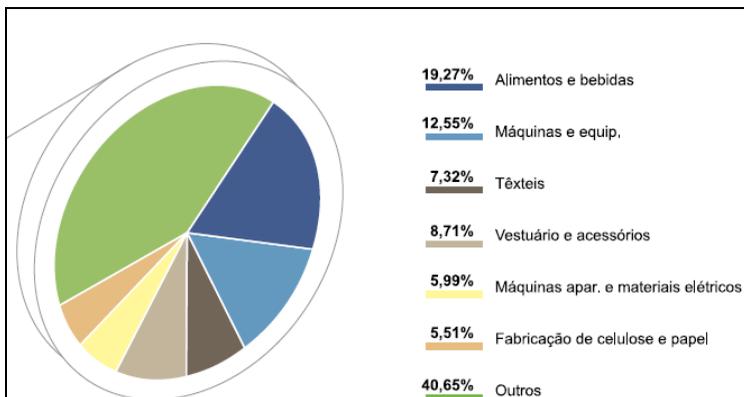
### **3.7.2 Setor Têxtil em Santa Catarina**

Santa Catarina possui um importante parque industrial, ocupando posição de destaque no Brasil. A indústria de transformação catarinense é a quarta do país em quantidade de empresas e a quinta em número de trabalhadores. O segmento alimentar é o maior empregador, seguindo-se o de artigos do vestuário e o de produtos têxteis.

O PIB catarinense é o sétimo do Brasil, registrando, em 2006, R\$ 93,2 bilhões. As estimativas preliminares para 2007 são de R\$ 100,8 bilhões e para 2008 R\$ 118,2 bilhões. O setor secundário participa com 34,4%, o setor terciário com 58,7% e o primário com 6,9%. Dentro do setor secundário, a participação da indústria de transformação é de 24,4%, de acordo com a nova metodologia de cálculo do IBGE.

A economia industrial de Santa Catarina é caracterizada pela concentração em diversos polos, o que confere ao estado padrões de desenvolvimento equilibrado entre suas regiões: cerâmico, carvão, vestuário e descartáveis plásticos no Sul; alimentar e móveis no Oeste; têxtil, vestuário e cristal no Vale do Itajaí; metalurgia, máquinas e equipamentos, material elétrico, autopeças, plástico, confecções e mobiliário no Norte; madeireiro na região Serrana e tecnológico na Capital. Embora haja essa concentração por região, muitos municípios estão desenvolvendo vocações diferenciadas, fortalecendo vários segmentos de atividade. (FIESC, 2009)

As atividades industriais com maior participação econômica em Santa Catarina podem ser observadas na Figura 5.



**Figura 5: participação econômica das atividades industriais em SC**  
**Fonte: IBGE 2007 adaptado por FIESC. 2009.**

Deve-se aos imigrantes alemães o estabelecimento das primeiras unidades produtivas do segmento têxtil em Santa Catarina. Após a Revolução Industrial, alguns pioneiros levaram para o Vale do Itajaí a máquina a vapor e a indústria têxtil.

Santa Catarina é o segundo polo têxtil e do vestuário do Brasil. No estado está estabelecida a maior empresa brasileira fabricante de camisas de malha e segunda maior do mundo. Também é o maior produtor de fitas elásticas da América Latina e destaca-se na produção de artigos de cama, mesa e banho. No comércio internacional, o estado é o maior exportador do Brasil de roupas de toucador/cozinha, de tecidos atalhados de algodão e de camisetas T-Shirt de malha.

O setor têxtil catarinense possui:

- 8.321 indústrias (2008);
- 155 mil trabalhadores (2008);
- 16,0% do Valor da Transformação Industrial de SC (2007);
- 3,2% das exportações de SC, US\$ 263 milhões (2008).

Algumas das principais empresas têxteis catarinenses são: Companhia Têxtil Karsten, Cremer S/A, Hering Têxtil S/A, Malwee Malhas Ltda, Artex S/A e Buettner S/A.

### 3.7.3 Aspectos Ambientais

Os principais impactos ambientais do setor têxtil de acordo com o CETESB, 2009, são:

a) Geração de efluente e cor: a composição dos efluentes têxteis varia de acordo com as diversas características dos processos produtivos, dificultando a consolidação de dados gerais. Os setores produtivos de tinturaria, estamparia e engomagem/desengomagem são os principais geradores de efluentes com concentrações de carga orgânica por matéria-prima ou produto. A indústria têxtil utiliza diversos tipos de corantes ou anilinas, auxiliares químicos que ao serem processados geram um efluente líquido com características específicas, necessitando tratamento específico para atender a legislação ambiental.

b) Odor do óleo de enzimação (ou “odor de rama”): os óleos de enzimação são utilizados com a finalidade de lubrificar os fios das fibras têxteis, sejam naturais ou sintéticas, visando impedir o acúmulo de cargas estáticas nas fibras (provocam a repulsão e eriçamento das fibrilas, podendo levar a quebra ou rompimento dos fios no processo), facilitar o deslizamento dos fios nas guias e maquinários e aumentar a coesão das fibras. A questão relativa a estes produtos, no entanto, é que durante o processo de termofixação em rama, com o aquecimento ocorre a volatilização deste óleo – por volta de 160°C a 180°C. Estes vapores ao serem descartados à atmosfera causam forte odor, podendo se constituir em fonte de incômodo à população do entorno.

c) Geração de resíduos: ao longo da cadeia têxtil existem diversas operações que geram resíduos, desde o descaroçamento do algodão até restos de fios e tecidos nas confecções, variando estes rejeitos quanto à característica e quantidade. Em especial, merecem destaque os resíduos perigosos oriundos de embalagem ou mesmo do uso de produtos químicos, como por exemplo, a perda de pasta na estamparia, a geração de lodos biológicos de tratamento, entre outros. No que se refere ao lodo biológico é importante salientar que este possui poder calorífico e poderá ser utilizado com substituto de combustível em caldeiras de biomassa.

d) Ruído e Vibração: diversos equipamentos utilizados nas sucessivas etapas da cadeia têxtil podem ser fonte potencial de emissões de ruído e de vibração, que se não controladas podem gerar incômodo à vizinhança das indústrias.

As indústrias têxteis caracterizam-se pela facilidade de produção, porém são grandes consumidores de água, corantes e produtos químicos ao longo de sua cadeia produtiva. Um grande volume de resíduos é gerado e até pouco tempo eram lançados diretamente nos corpos hídricos da região.

Na década de 80, a FATMA elaborou um programa de recuperação ambiental da região e estabeleceu um prazo para que as indústrias têxteis construíssem estações de tratamento.

As indústrias instalaram as estações de tratamento de efluentes, mas enfrentaram dificuldades inerentes ao setor. Foi preciso buscar processos adicionais para a descoloração dos efluentes. Muitas vezes a ETE se mostrava com baixa eficiência na remoção de cor e com elevada produção de lodo.

O setor têxtil foi começando a sentir a mudança no perfil do consumidor, alterado pelos princípios da sustentabilidade. Por isso as empresas catarinenses de maior porte tiveram que se adequar às normas internacionais, como a ISO 14000 e a ISO 9000, além de conquistar os chamados selos verdes – certificações que atestam que o produto não apresenta substâncias tóxicas e foi processado seguindo padrões internacionais de qualidade. Hoje essas empresas representam um grupo de indústrias no qual a preservação ambiental é parte de uma postura proativa em relação ao meio ambiente, proporcionando inovações constantes. (FIESC, 2009)

O Setor têxtil brasileiro investe uma média de US\$ 1 bilhão por ano para manter seus parques sempre atualizados, com tecnologia de ponta, respeitando as leis ambientais e investindo em profissionais capacitados. (CETESB, 2009)

As indústrias têxteis vêm sofrendo várias transformações na produção, no que se refere à modernização tecnológica do seu parque industrial, na busca de novas matérias-primas, na melhoria da qualidade, na racionalização de energias, no desenvolvimento de produtos pioneiros para o mercado (KNUTH, 2001).

A estrutura de gestão na indústria têxtil tem mudado muito nos últimos anos. Incorporar a gestão ambiental de acordo com as normas ISO 14000 é mais um passo para o desenvolvimento da qualidade produtiva. É o caminho necessário para alcançar o desenvolvimento sustentável e se manter competitiva no difícil mercado internacional (KNUTH, 2001).

### 3.7.4 Água na Indústria Têxtil

Segundo SANIN (1997) citado por TWARDOKUS (2004), os maiores setores consumidores de água doce disponível são a agricultura e à indústria, sendo o setor têxtil responsável por 15% da água consumida pelas indústrias.

No caso do setor têxtil, há utilização da água em quase todas as fases do processo, em maior quantidade no beneficiamento dos tecidos, na lavagem, no tingimento, no amaciamento e ainda no setor de utilidades responsável pelos processos de aquecimento e resfriamento.

Com o crescimento das atividades industriais, os sistemas foram sendo sobrecarregados. Na região do Vale do Itajaí há considerável número de empresas têxteis. O crescimento da indústria têxtil fez com que as indústrias consumissem cada vez mais água, deste modo, as reservas começaram a dar sinais de escassez.

No que se refere ao consumo da indústria, o setor têxtil consome aproximadamente 15% da água. O potencial contaminante da indústria têxtil, em sua totalidade, é considerado médio, sendo a tinturaria e o acabamento as etapas do processo produtivo têxtil mais contaminantes se comparadas com a fiação e a tecelagem (TOLEDO, 2004).

De acordo com MORAN et al. (1997) e TALARPOSHTI et al. (2001), as indústrias têxteis possuem uma das mais altas cargas poluidoras em seu efluente, devido às variações em seus processos e produtos utilizados torna seus efluentes um composto complexo.

A água é usada na indústria têxtil como meio de transporte para os produtos químicos que entram no processo, bem como para a remoção do excesso daqueles produtos considerados indesejáveis para o substrato têxtil. A maior parte da carga contaminante dos efluentes aquosos contém impurezas inerentes à matéria-prima, tais como os produtos adicionados para facilitar os processos de fiação e tecelagem, produtos químicos auxiliares e corantes eliminados durante as diferentes etapas do acabamento. A quantidade e a qualidade da carga poluidora se encontram intimamente relacionadas com as fibras utilizadas para elaborar os tecidos crus.

A racionalização do uso da água na indústria têxtil é possível ser conseguida com a modernização dos equipamentos e incremento tecnológico nos processos e produtos visando uma menor utilização desse recurso natural tão escasso. Para minimizar o consumo de água é

necessário o monitoramento dos desperdícios diários no processo produtivo do mesmo modo que se procede com outros insumos como o ar comprimido, energia térmica ou energia elétrica, visando a contenção de despesas na empresa.

Para CORRÊA JR. e FURLAN (2003), o desafio é reduzir o consumo de água sem afetar a otimização do processo, isto é, buscar a redução da captação sem afetar a rentabilidade do negócio. Eles ainda salientam que certamente este tema ganhará destaque crescente, pois, em maior ou menor medida, a escassez de água tende a ser um problema universal em futuro não tão distante.

A utilização da água dentro de uma indústria têxtil, mais especificamente no beneficiamento, ocorre basicamente em todas as etapas, de modo direto nos processos de lavagem, tingimento e amaciamento, e de modo indireto para realizar aquecimento ou resfriamento nos processos do beneficiamento.

### **3.8 Produção mais Limpa**

Nos últimos anos, os métodos fim-de-tubo (que agem somente no final da produção) vêm sendo substituídos por novas tendências, as técnicas de prevenção da poluição. Verifica-se que as tecnologias de fim-de-tubo não mais respondem aos anseios da sociedade na busca pelo desenvolvimento sustentável. Estratégias ambientais convencionais que buscam atender às exigências ambientais legais deixam de serem vistas como única alternativa para melhorar o desempenho ambiental, além de serem extremamente onerosas para as empresas do ponto de vista econômico.

As novas metodologias são propostas como instrumentos para minimizar o uso de insumos (matérias primas, energia, água, entre outros) utilizados no processo fabril e que, devido ao desperdício, são convertidos em aspectos ambientais, adicionando custos à produção e gerando problemas ambientais.

Diferentes metodologias de gestão ambiental buscam demonstrar a possibilidade de se reduzir custos e minimizar os impactos ao meio ambiente, entre elas está a Produção Mais Limpa, também conhecida pela sigla PML.

A UNIDO e UNEP criaram, em 1994, o programa de Produção mais Limpa, voltado para a preservação ambiental. O Programa de

Produção mais Limpa é uma estratégia integrada e preventiva que visa aumentar a produtividade da empresa, diminuindo os custos de matéria-prima, energia, recursos naturais, e conseqüentemente reduzindo o impacto ambiental de maneira sustentável. Para implementar o programa e promover a aplicação da Produção mais Limpa por empresas e países em desenvolvimento existem cerca de 31 Programas nacionais de Produção mais Limpa (NCPPs) e Centros Nacionais de Produção Mais Limpa (NCPCs). Além disto, outros centros estão em fase de planejamento. Esses centros localizam-se em diversas partes do mundo, e têm como papel principal promover demonstrações na planta industrial, treinamento de todos os envolvidos, disseminação das informações e avaliação das políticas ambientais.

Em julho de 1995, foi inaugurado o NCPC brasileiro, denominado Centro Nacional de Tecnologias Limpas – CNTL SENAI e que está localizado no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI, em Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul. O CNTL SENAI tem a função de atuar como um instrumento facilitador para a disseminação e implantação do conceito de Produção Mais Limpa em todos os setores produtivos. O programa desenvolvido no Brasil é uma adaptação do programa da UNIDO/UNEP e da experiência da Consultoria Stenum, da cidade de Graz, na Áustria, que desenvolveu o projeto Ecological Project for Integrated Environmental Technologies – ECOPROFIT. (CNTL, 2007).

A definição mais usada para PML é a adotada pela UNIDO e pelo PNUMA: “Produção Mais Limpa é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada a processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência total e reduzir riscos aos seres humanos e ao meio ambiente” (UNEP, 2006).

Existem ainda outros conceitos, porém todos semelhantes. De acordo com o Centro Nacional de tecnologias Limpas (CNTL) “Produção mais Limpa significa a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Esta abordagem induz inovação nas empresas, dando um passo em direção ao desenvolvimento econômico sustentado e competitivo, não apenas para elas, mas para toda a região que abrangem.”

A Produção Limpa “inclui desde o questionamento da necessidade de determinados produtos até a proibição de tecnologias e compostos tóxicos e a implantação de métodos e materiais de produção limpos e seguros.” (GREENPEACE, 2006, s.p.).

De acordo com a UNEP, para processos produtivos, a PML resulta em medidas de conservação de matérias-primas, água e energia; eliminação de substâncias tóxicas e matérias-primas perigosas; redução da quantidade e toxicidade de todas as emissões e resíduos na fonte geradora durante o processo produtivo, de modo isolado ou combinadas.

Para produtos, a PML visa reduzir os impactos ambientais e de saúde, além da segurança dos produtos em todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas, manufatura e uso até a disposição final do produto.

Para serviços, a PML implica em incorporar a preocupação ambiental no projeto e na realização dos serviços.

### **3.9 Reúso**

Uma das principais técnicas de produção mais limpa consiste no reúso da água, que gera uma redução na captação da mesma e minimiza a geração de efluentes.

A reciclagem, ou reúso de água, já é um conceito antigo na história do nosso planeta. A natureza, por meio do ciclo hidrológico, vem reciclando e reutilizando a água há milhões de anos e com muita eficiência. Cidades, lavouras e indústrias já praticam, há muitos anos, de forma indireta ou pelo menos não planejada, o reúso, pois geralmente usuários de jusante captam águas que já foram utilizadas e devolvidas aos rios, pelos usuários de montante (FIESP/CIESP, 2004).

O reúso é uma prática que promove a redução da demanda sobre os mananciais de água, constituindo-se numa alternativa bastante significativa para auxiliar na solução da problemática da escassez dos recursos hídricos. A sociedade como um todo já despertou para o potencial do reúso. As indústrias em especial, estão incrementando seus processos, evoluindo de ações isoladas para Programas de Conservação de Água que compreendem desde práticas simplificadas até tecnologias bastante avançadas visando o uso racional dos recursos naturais. Somam-se as ações de redução do consumo de água nas fontes

geradoras e reaproveitamento interno de água em ciclos fechados, o reúso do efluente tratado.

Dentre os benefícios que o reúso de água pode proporcionar estão:

### **Benefícios ambientais:**

- Redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, possibilitando melhorar a qualidade das águas.
- Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada.
- Aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes, como abastecimento público, hospitalar, etc.

### **Benefícios econômicos:**

- Conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais estabelecidos, possibilitando melhor inserção dos produtos brasileiros nos mercados internacionais;
- Mudanças nos padrões de produção e consumo;
- Redução dos custos de produção;
- Aumento da competitividade do setor;
- Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água.

### **Benefícios sociais:**

- Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, e em toda a cadeia produtiva;
- Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos;
- Melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.

### 3.10 Reúso na ETA

O consumo, muitas vezes excessivo, de água na limpeza das ETAs, aliado ao problema de sua escassez e à necessidade de preservação dos recursos ambientais, resulta também em uma estratégia de redução dos desperdícios no processo, mediante aumento direto de sua eficiência e, quando viável, da recuperação da água de lavagem para o próprio abastecimento ou para outros usos qualitativamente menos restritivos das águas recuperadas. (MENEZES et al, 2005).

O crescimento contínuo do consumo de água e o aumento da degradação dos corpos hídricos são os fatores que de forma determinante exercem influência nas estações de tratamento de água (ETAs). A queda da qualidade da água bruta a ser tratada implica em maior consumo de produtos químicos e, conseqüentemente, maior produção de resíduos passíveis de tratamento e disposição em local adequado.

Os tratamentos existentes consistem na redução da quantidade de água dos resíduos para atender aos padrões de lançamento exigidos pela disposição final em aterros. Em alguns casos, o líquido clarificado é recirculado no sistema de tratamento. Porém, na maioria das estações do Brasil, estes resíduos são despejados em corpos d'água, em desrespeito à legislação ambiental. A grande maioria dos resíduos gerados durante o tratamento de água fica retida nos decantadores e filtros.

Nos Estados Unidos, a norma Filter Backwash Recycling Rule – FBRR (USEPA, 2002) traz recomendações e exigências para a recirculação desses resíduos. No Brasil não há regulamentação específica para esta prática, apenas a norma NBR 12.216 (ABNT, 1992) admite a reutilização da água de lavagem desde que seja submetida a pré-sedimentação e cloração intensa. De acordo com a FBRR, não há obrigatoriedade de tratamento do recirculado, embora recomenda-se que o efluente seja submetido a separação de sólidos, por sedimentação, flotação ou filtração em membranas. Recomenda-se que o recirculado tenha uma qualidade superior ou igual à água bruta afluente à ETA.

O manejo inadequado desses despejos é proveniente da falta de informação e entendimento do problema, que induz os administradores a decidir que os custos dispensados no tratamento desses resíduos não são justificáveis. É necessário que os profissionais da Indústria da Água tenham visão sistêmica do fato, desde a preservação dos mananciais até

o controle de qualidade da água tratada sem desprezar as influências dos insumos e os impactos causados pelo tratamento. (SOUZA & CORDEIRO, s.d.).

O tipo de operação da filtração, operação de lavagem, a qualidade da água bruta e o tipo de coagulante são características muito influentes para a qualidade do efluente gerado, conseqüente para o seu tratamento e possível recirculação.

A lavagem dos filtros pode ser efetuada de diversas maneiras, podendo gerar maior ou menor volume de resíduos líquidos. A lavagem dos filtros apenas com água no sentido ascensional gera um volume muito maior de efluente quando comparado ao sistema que possui lavagem auxiliar com ar, seguida de lavagem com água no sentido ascensional (SOUZA FILHO & DI BERNARDO, s.d.).

O tipo de coagulante empregado tem influencia direta na quantidade de resíduos líquidos gerados durante a lavagem dos filtros. Quando é empregado cloreto férrico em comparação com sulfato de alumínio, a duração das carreiras de filtração pode resultar mais longa, das características da água bruta, pois a água decantada pode-se apresentar com menor quantidade de sólidos e, com isso, diminuir o numero de lavagens e gerar menor volume de resíduos líquidos em um mesmo período de tempo (DI BERNARDO, 2003).

Devido à importância em realizar o tratamento dos despejos líquidos gerados bem como a necessidade de reaproveitamento, devido à falta de mananciais em condições, desperta o interesse em realizar ensaios de clarificação da água de lavagem de filtros para futuro reaproveitamento do sobrenadante e disposição adequada do sedimento.

O reaproveitamento da água de lavagem dos filtros, com clarificação prévia ou não dependendo do efluente, é importante, pois contribui para o atendimento da crescente demanda de água e a diminuição do volume de despejo, que será tratado e/ou enviado para a disposição final. Esse resíduo (água de lavagem) quando reaproveitado, pós tratamento, gera uma economia aos sistemas de tratamento. A viabilidade econômica do reaproveitamento desse resíduo é o que tem tornado essa alternativa difundida.

É importante fazer um levantamento das características físicas e operacionais da ETA, com descrição dos processos e produtos químicos utilizados no tratamento e análise das características da água bruta.

No Brasil, algumas ETAs realizam a recirculação da água de lavagem dos filtros, tais como a ETAs do Guarauá no Sistema Cantareira e Alto da Boa Vista no Sistema Guarapiranga, ambas responsáveis pelo abastecimento de água de parte da RMS, com capacidade para 33,0 e 11,0 m<sup>3</sup>/s, respectivamente (FERREIRA FILHO, 1997).

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG) realiza a recirculação da água de lavagem dos filtros nas ETAs Morro Redondo, Rio Manso e atualmente na ETA do Sistema Rio das Velhas, com capacidade para tratar 6,0 m<sup>3</sup>/s, segundo CASTRO et al. (1997). A ETA Rio Descoberto, em Brasília, com capacidade instalada de 6 m<sup>3</sup>/s, é gerenciada pela Companhia de Água e Esgotos de Brasília (CAESB) e realiza o reaproveitamento de água de lavagem dos filtros, após sua clarificação. O sistema permite a reutilização de cerca de 170 L/s de água, segundo BARBOSA (1997).

Embora algumas estações tenham experimentado problemas com a recirculação dos despejos, pouca literatura trata diretamente das características do material a ser recirculado, problemas e recomendações para a recirculação. Durante a recirculação da água de lavagem dos filtros, deve-se fazer um monitoramento, pois essa prática pode perturbar o próprio processo de tratamento ou afetar a qualidade da água final. Os impactos podem ser causados pelos próprios sólidos ou constituintes indesejáveis tais como cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*, manganês e ferro.

As vazões provenientes dos ciclos podem ser introduzidas a montante ou jusante à coagulação. Podem ser utilizadas duas diferentes concepções no tocante à recuperação da água de lavagem. A primeira delas é a imposição, por motivos de ordem sanitária, do ciclo de água de lavagem com um menor teor de sólidos e microrganismos possível. O principal motivo para a sua limitação é que, caso a água bruta apresente uma qualidade microbiológica não satisfatória ou presença de ferro e manganês, pelo fato do processo de filtração ser uma operação de pré-concentração de sólidos e microrganismos, quando do ciclo integral da água de lavagem, esta pode prejudicar o processo de tratamento da fase líquida (SOUZA et al. (1996), CORNWELL et al. (1994)).

Uma vez que seja necessária a separação de parte dos sólidos presentes na água de lavagem antes do seu retorno, devido à fragilidade do floco formado pelo hidróxido de alumínio ou férrico, a operação do sistema de recuperação de água de lavagem deverá ser

preferencialmente em batelada, pois a ocorrência de correntes de velocidades no interior do tanque de separação pode fazer com que haja a ressuspensão dos flocos sedimentados, retornando-os para a fase líquida.

Além disso, pelo fato do sobrenadante da água de lavagem ser reciclada para o início do processo de tratamento e por, eventualmente, apresentar uma quantidade de polímero em excesso na fase líquida, é importante que o polímero utilizado para melhorar a sedimentabilidade dos flocos tenha o seu uso permitido pelos órgãos de controle sanitário para fins de utilização no processo de tratamento de água. De um modo geral, polímeros não iônicos e aniônicos de médio e alto peso molecular são os que apresentam os melhores resultados.

Como a concentração de SS na água de lavagem é extremamente variável com o tempo, é de fundamental importância que o polímero escolhido trabalhe adequadamente caso este seja superdosado na água de lavagem, não apresentando perda na eficiência de remoção de SS.

Caso a água de lavagem possa ser reciclada integralmente para início do processo de tratamento sem a necessidade de remoção de SS presentes, o tanque de recebimento de água de lavagem passaria a trabalhar apenas como um tanque de equalização. Uma recomendação usual é que o retorno da água de lavagem não ultrapasse a 10% da vazão da água bruta afluente à ETA de modo a permitir que não haja nenhum prejuízo no processo de coagulação-floculação, dosagem de coagulante e sobrecarga hidráulica nas unidades de tratamento (KAWAMURA, 1991).

Um aspecto de grande importância no sucesso de um sistema de recuperação da água de lavagem é a conscientização da equipe de operação da ETA. Em muitos casos, devido à concepção do sistema de tratamento, os filtros são muitas vezes lavados sequencialmente sem o seu devido controle operacional, o que é especialmente comum em ETA's de grande porte que apresentam um grande número de filtros.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Natureza da pesquisa**

Pode-se definir pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas propostos. A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema. (GIL, 1991).

Será realizada uma pesquisa de natureza qualitativa que, segundo Goldenberg (2007), não se preocupa com a representatividade numérica do grupo pesquisado, mas com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, de uma instituição, etc.

A pesquisa é classificada como descritiva, pois pretende relatar com exatidão os fatos de uma determinada realidade. Segundo Gil (1991), as pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis.

O método adotado será o estudo de caso, pois se pretende adquirir conhecimento do fenômeno estudado a partir da exploração intensa de um único caso. De acordo com Goldenberg (2007) “o estudo de caso reúne o maior número de informações detalhadas, por meio de diferentes técnicas de pesquisa, com o objetivo de aprender a totalidade de uma situação e descrever a complexidade de um caso concreto”.

Segundo Gil (1991) o estudo de caso tem diferentes propósitos, tais como: explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos, preservar o caráter unitário do objeto estudado, descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação, formular hipóteses ou desenvolver teorias e explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de experimentos.

“Os propósitos do estudo de caso não são os de proporcionar o conhecimento preciso das características de uma população, mas sim o de proporcionar uma visão global do problema ou de identificar possíveis fatores que o influenciam ou são por ele influenciados.” (GIL, 1991).

Conforme Gil (1991) é impossível estabelecer um roteiro rígido para o estudo de caso que permita determinar com precisão como se deve desenvolver a pesquisa. Todavia, descreve que na maioria dos casos é possível distinguir as seguintes fases: delimitação da unidade-caso, coleta de dados, análise e interpretação dos dados e redação do relatório.

## **4.2 Levantamento Bibliográfico**

Realizou-se um levantamento bibliográfico do material já existente sobre o assunto em questão. A pesquisa foi feita em livros, periódicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado na internet.

Este levantamento servirá de base sobre o assunto em questão para o início das pesquisas.

## **4.3 Escolha da Indústria**

Para a escolha da indústria ideal para o desenvolvimento das pesquisas foram seguidos alguns critérios:

- A indústria deveria fazer parte do setor têxtil;
- Deveria se preocupar não apenas com seu desempenho econômico, mas também com o desempenho ambiental e social;
- Deveria conhecer os aspectos e impactos ambientais originados de seu processo fabril;
- Ser uma empresa de produção privada do setor industrial de Santa Catarina, preferencialmente em Blumenau;
- Ter interesse em colaborar com o projeto se dispondo a abrir as portas da instituição para as pesquisas e liberando seus colaboradores a responder as eventuais questões.

## **4.4 Local de estudo**

Fundada em 1882 a empresa com sede em Blumenau/SC, atua nos segmentos cama, mesa, banho e tecidos para decoração.

Localizada no Bairro Testa Salto, Município de Blumenau, a Karsten ocupa hoje 127.640,95 m<sup>2</sup> de área construída, cercada de toda uma comunidade, onde a maioria dos habitantes está direta ou indiretamente ligada a ela.

A Karsten possui hoje instalações fabris e administrativas, que abrigam 3.271 colaboradores, dos quais 719 colaboradores na filial de Maracanaú/CE.

A Karsten participa tanto do mercado nacional como do internacional, estando entre os líderes de exportações brasileiras de toalhas de e toalhas felpudas.

A indústria sempre procurou incluir em suas preocupações o cuidado com o meio ambiente. Foi a primeira indústria têxtil catarinense a instalar uma estação de tratamento de efluentes pelo sistema biológico em 1986. Também foi pioneira no controle da poluição com a Secagem do Lodo em 1998. Em 1999 realizou-se a implantação Central de Resíduos com a separação dos resíduos nas áreas.

#### **Diversos trabalhos foram realizados referentes à questão ambiental como:**

- Monitoramento de ruído parque fabril;
- Certificação pela Norma NBR ISO 14001 (depois de alguns anos retirou-se a certificação, porém continuou-se utilizando os princípios da gestão ambiental);
- Trabalhos com UFSC redução e reaproveitamento de água (2000);
- Análise de emissão atmosférica das chaminés das máquinas parque fabril;
- Integração do Sistema de Gestão Karsten (SGK) com Sistema Ambiental (2009);
- Auditorias internas;
- Treinamentos voltados para educar e/ou reorientar os colaboradores;

- Programa de Bem com a Natureza; entre outros.

Em relação a recursos hídricos, a água que a empresa utiliza é captada do rio do Testo. A mesma é devidamente tratada para fins de consumo industrial e humano. A ETA da empresa, tem capacidade de tratar 300 m<sup>3</sup>/h e atualmente vem tratando cerca de 250 m<sup>3</sup>/h.

Atualmente os resíduos gerados pela ETA da Indústria são todos descartados diretamente no Rio do Testo, gerando impactos ambientais no corpo hídrico local além de ser um grande desperdício econômico à empresa, por ser uma água tratada, de boa qualidade.

A diretoria da empresa já se mostrou interessada em realizar programas de reúso de água, portanto, apresentou-se a proposta de trabalho à administração da empresa, usando uma linguagem simples a fim de que a idéia fosse perfeitamente compreendida. A proposta descreveu os benefícios esperados e os recursos necessários. Após a aceitação da direção da empresa as pesquisas foram iniciadas.

## **4.5 Coleta de Dados**

### **Informações iniciais**

As primeiras informações foram coletadas são relativas aos processos da ETA da indústria. Em cada unidade de tratamento foram pesquisadas e descritas a finalidade da operação, quando e como são feitas, além de outras informações relevantes. Foram realizadas diversas visitas a ETA associadas a conversas com os colaboradores da empresa, principalmente com os operadores da estação.

Posteriormente foram identificados os volumes descartados na operação de lavagem dos filtros. Essas informações foram coletadas através de levantamentos do projeto e plantas da ETA, medições com trena no próprio local e conversa com os operadores.

## Coletas da água de lavagem

Após a coleta dessas primeiras informações iniciou-se as coletas da água de lavagem dos filtros.

Durante o tempo de lavagem do filtro, foram coletadas amostras em intervalos de tempo para formar uma amostra seriada. A água que já está no filtro foi descartada e então iniciou-se o processo de retrolavagem. A coleta iniciou-se no primeiro momento em que a água muda de sentido e depois realizou-se coleta de três em três minutos. A lavagem dos filtros foi realizada durante 12 minutos aproximadamente, sendo coletadas então amostras nos tempos 0, 3, 6, 9 e 12 minutos, durante as quais a vazão de lavagem permaneceu constante ( $250\text{m}^3/\text{h}$ ). Após a coleta das amostras seriadas, retirou-se uma quantidade de cada uma das amostras a fim de formar uma amostra composta.

Após a coleta das amostras seriadas, retirou-se uma quantidade de cada uma das amostras a fim de caracterizar uma amostra composta.

Realizou-se coleta nos quatro filtros da ETA na saída da retrolavagem, como mostra a Figura 6. Um dos filtros estava há, aproximadamente, 12 horas sem lavar, sendo este o tempo utilizado normalmente entre as lavagens. Os outros três filtros estavam sem lavar há 24 horas, para analisar uma situação mais crítica a fim de saber se é possível aumentar a carreira de filtração.

As amostras foram coletadas manualmente e condicionadas em recipientes plásticos de 1000 mL cada um. Para a amostra composta retirou-se 200 mL da amostra de cada tempo e homogeneizou-as em outro recipiente.

Das amostras individuais efetuou-se leituras de turbidez e mediuse as concentrações de sólidos suspensos totais com a finalidade de determinar a variação desses parâmetros durante a lavagem do filtro, representados por uma curva de remoção de impurezas da unidade filtrante.

Para a amostra composta, realizou-se a sua clarificação através da sedimentação no cone Imhoff, e caracterizou-a segundo os seguintes parâmetros: turbidez, sólidos, cor aparente, pH, alcalinidade, DQO, dureza, condutividade elétrica, metais, nitrogênio total, fosfato e coliformes fecais (presença ou ausência).

Todas as análises foram realizadas de acordo com o preconizado no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).



**Figura 6:** Ponto de coleta durante o processo de lavagem do filtro.

#### **4.6 Orçamento**

O orçamento dos equipamentos foi realizado através de uma pesquisa de preço em lojas de materiais de construção. Para os valores de mão de obra, projeto e execução, instalações elétricas e hidráulicas, realizou-se uma estimativa com o auxílio do responsável pela área de projetos da empresa.

Os materiais orçados foram: construção dos reservatórios de concreto de 100 m<sup>3</sup> (concreto, aço, caixaria, escoramento, arame, pregos, espessadores, desmoldante, pintura e mão de obra civil), bomba centrífuga, dois misturadores lentos com hélice em inox, execução do

projeto, instalações hidráulicas (tubos, conexões e acessórios) e elétricas.

Cabe salientar que o custo de manutenção do sistema será desprezível, visto que a limpeza das calhas e dos reservatórios será feita eventualmente por funcionário da fábrica.

#### **4.7 Determinação do Período de Retorno do Investimento**

Para o sistema escolhido, realizou-se a determinação do período de retorno do investimento.

Se o projeto fosse instalado hoje em dia, o único ganho econômico seria com a diminuição da água usada no processo de lavagem. A água recirculada, passa novamente pela ETA, tendo um gasto para ser tratada. Portanto o reciclo só trará maiores benefícios econômicos a partir do momento que a cobrança pela captação de água for instalada.

Fez uma avaliação econômica para a instalação do projeto atualmente e outra para a instalação quando a cobrança for implantada.

A avaliação econômica do sistema de reciclo de água de lavagem dos filtros foi realizada através da análise do período de retorno (payback) do investimento, ou seja, o tempo necessário para amortizar o gasto extra com a implantação do sistema.

A Taxa de Juros Mínima de Atratividade (TMA) adotada para este cálculo foi de 1% a.m., o que corresponde aproximadamente à taxa de juros média de aplicação de renda fixa.

O *Pay Back* é uma das técnicas de análise de investimento mais comuns que existem. Este método visa calcular o nº de períodos ou quanto tempo o investidor irá precisar para recuperar o investimento realizado. Um investimento significa uma saída imediata de dinheiro. Em contrapartida se espera receber fluxos de caixa que visem recuperar essa saída. O *PayBack* calcula quanto tempo isso irá demorar. Diferente do payback simples, que é mais simplificado, o payback descontado leva em consideração a taxa de juros. O *Payback* descontado segue a mesma lógica do Payback, porém abate os saldos com os valores presentes (VP) dos fluxos de caixa.

## **Análise econômica para quando a cobrança pela captação de água estiver implantada:**

Através dos relatórios emitidos pelo comitê do Itajaí, foi possível encontrar a fórmula que será usada para calcular o valor a ser cobrado pela água em cada setor.

$$\text{Valor (R\$)} = [P_{\text{cap}} \cdot Q_{\text{cap}} \cdot K_{\text{enq}} + P_{\text{con}} \cdot Q_{\text{con}} + (P_{\text{DBO}} \cdot \text{DBO} + P_{\text{MS}} \cdot \text{MS} + P_{\text{X}} \cdot \text{X}) K_{\text{enq}}] K_{\text{s}} - V_{\text{produtor de água}}$$

Onde:

Onde (todos os valores são anuais):

$Q_{\text{cap}}$  = vazão de captação (m<sup>3</sup>)

$Q_{\text{con}}$  = vazão de consumo (m<sup>3</sup>)

$Q_{\text{lan}}$  = vazão de lançamento (m<sup>3</sup>), sendo que:

$Q_{\text{con}} = Q_{\text{cap}} - Q_{\text{lan}}$

$\text{DBO}$  = demanda bioquímica de oxigênio, em kg

$\text{MS}$  = materiais sedimentáveis, em litros

$\text{X}$  = quantidade de qualquer outro poluente a ser considerado, em kg, sendo que:

$\text{DBO} = \text{concentração de DBO} \cdot Q_{\text{lan}}$

$\text{MS} = \text{concentração de MS} \cdot Q_{\text{lan}}$

$\text{X} = \text{concentração de X} \cdot Q_{\text{lan}}$

Além disso:

$P_{\text{cap}}$  = preço unitário para a captação (R\$/m<sup>3</sup>)

$P_{\text{con}}$  = preço unitário para o consumo (R\$/m<sup>3</sup>)

$P_{\text{DBO}}$  = preço unitário para o lançamento de DBO (R\$/kg)

$P_{\text{MS}}$  = preço unitário para o lançamento de MS (R\$/L)

$P_{\text{X}}$  = preço unitário para o lançamento de X (R\$/kg)

$K_{\text{s}}$  = coeficientes setoriais por segmentos usuários de água

$V_{\text{produtor de água}}$  = valor correspondente à produção de água pela propriedade usuária, a ser estabelecido em conformidade com a Política Estadual de Serviços Ambientais.

Kenq assume valores de acordo com o enquadramento do corpo d'água onde se faz a captação, onde:

Kenq = 1,5 onde a captação é feita em rio Classe Especial

Kenq = 1,2 onde a captação é feita em rio Classe 1

Kenq = 1 onde a captação é feita em rio Classe 2

Kenq = 0,8 onde a captação é feita em rio Classe 3

Kenq = 0,6 onde a captação é feita em rio Classe 4

As vazões e os lançamentos são conhecidos para cada usuário. O foco das oficinas realizadas pelo comitê é discutir os valores de Ks e os preços unitários. Através de pesquisas e cálculos, a equipe do projeto chegou a alguns valores para esses coeficientes, que ainda não são definitivos.

Através da fórmula e dos valores estabelecidos até o momento, pode-se estimar o valor a ser pago pela água na Indústria Karsten S.A e o ganho econômico que representará o reciclo da água de lavagem dos filtros.

#### 4.8 Cronograma

Detalhamento das etapas	Dezembro de 2009 a Junho de 2010						
	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Meses →							
Levantamento Bibliográfico	X	X	X				
Definição da Indústria	X						
Coleta de dados na Indústria		X	X	X	X		
Análise e interpretação dos resultados					X	X	
Relatório final						X	X

**Quadro 1: Cronograma de atividades**

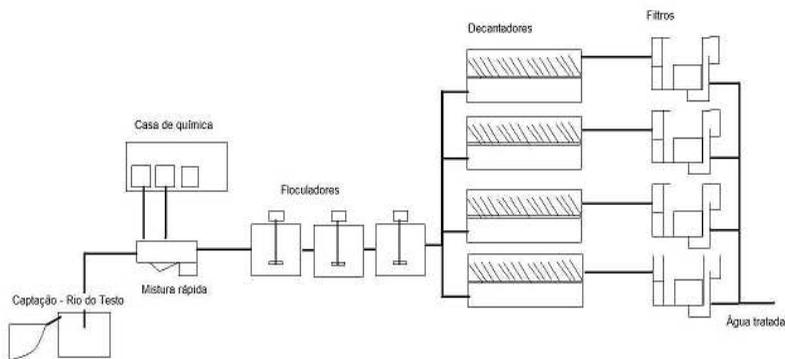
## 5 RESULTADOS

### 5.1 Funcionamento da ETA

A Karsten capta a água que consome do rio do Testo, em Blumenau. A própria empresa faz o tratamento da água para o consumo humano e para o processo industrial. A ETA Karsten tem uma vazão afluyente de aproximadamente 250m<sup>3</sup>/h.

O conjunto da ETA da indústria Karsten S.A compreende um sistema de ciclo completo com as seguintes unidades (Figura 7)

- Captação
- Sistema de preparação e dosagem das soluções dos reagentes químicos necessários à coagulação, correção de pH e desinfecção.
- Sistema de coagulação por mistura rápida das soluções dos reagentes com a água bruta.
- Sistema de floculação do tipo multiestágios.
- Sistema de decantação lamelar.
- Sistema de filtração de dupla camada por taxas declinantes.



**Figura 7: Unidades da ETA.**

## **Captação**

O processo de tratamento de água tem início com a captação da água bruta do rio do Testo. A água captada passa por um gradeamento que tem como função captar galhos, folhas, animais e outros materiais que possam vir arrastados pela água, posteriormente vai para o poço de sucção de onde é levada para a ETA.

## **Leitura da Vazão e Mistura Rápida**

A água bruta é recebida no canal de entrada que contém uma calha Parshall para medição da vazão de entrada da ETA, que fica em torno de 250m<sup>3</sup>/h.

Neste local também ocorre a dosagem de produtos químicos. São adicionadas soluções de sulfato de alumínio ou Policloreto de alumínio como coagulantes, Polímeros para auxiliar na floculação, quando necessário, e Soda Cáustica para corrigir o pH. As dosagens dos produtos variam de acordo com a vazão de entrada e qualidade da água bruta, mas normalmente são adicionados 180 ml/min de sulfato de alumínio e 140 ml/min de soda cáustica.

A água passa pela câmara de mistura, onde está instalado um misturador tipo turbina que tem a finalidade de dispersar os produtos químicos na massa. A câmara de mistura rápida para a coagulação e indicação de vazão, é constituída de um canal horizontal aberto, de secção retangular, dotado de difusores das soluções dos reagentes químicos de tratamento, com calha Parshall e Indicador de vazão, com formas geométricas e dimensões adequadas à obtenção de altos gradientes de velocidade para a dispersão instantânea das soluções dos reagentes na água bruta.

## **Câmaras de Floculação**

Com a adição do coagulante na entrada da ETA, juntamente com uma agitação da água, as partículas de sujeira sofrem uma desestabilização elétrica, facilitando a sua agregação e possibilitando a formação de flocos mais densos de sujeira que posteriormente serão

decantados. O polímero adicionado na entrada da ETA tem a função de auxiliar na formação dos flocos.

Após a coagulação, a água segue para as câmaras de floculação onde sofrerá suave agitação aumentando a probabilidade de choques entre coágulos de modo a formarem flocos crescentes em peso, visando posterior decantação.

Floculação constitui então um processo físico que promove a aglutinação das partículas já coaguladas, facilitando o choque entre as mesmas devido à agitação lenta imposta ao escoamento da água.

A câmara de floculação é constituída de uma câmara principal e sub-dividida em três sub-câmaras, é dotada de um floculador mecânico de triplo estágio, com formas geométricas e dimensões que permitem a obtenção de gradiente de velocidade adequados à formação de flocos com volume e densidade adequados à decantação. Esta câmara possui extravasor e dreno para esgotamento parcial e total.

### **Câmaras de decantação**

Decantação é o processo no qual a força da gravidade é utilizada para separar as partículas de densidade maior que a da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. Como os flocos de sujeira são mais pesados do que a água, caem e se depositam no fundo do decantador.

A água floculada segue pôr um canal onde é admitida nas câmaras de decantação pôr meio de comportas de superfície. Ao entrar nas câmaras, a água pôr meio de tubos distribuídos ao longo da sua extensão pela parte inferior toma o sentido ascendente, subindo de forma uniforme através dos perfis de decantação, que pôr sua área e forma construtiva, possibilitam a decantação das partículas floculadas nas câmaras de lodo.

A câmara de decantação lamelar é constituída de uma câmara dotada de placas planas e paralelas colocadas com ângulo de inclinação de 55 graus, para que a água floculada em fluxo ascendente passe entre elas , com áreas dimensionadas pra que resulte um Baixo número de Reynolds, com taxa de escoamento superficial que resulte em uma velocidade de sedimentação entre 0,14 a 0,42 cm/s, obtendo-se um fluxo estável. O ângulo de inclinação adotado permite não só que os flocos

deslizem mais facilmente pela subcâmara de acumulação de lodos como também facilita a limpeza eventual das placas,

Na parte inferior da decantação estão instalados os difusores e água floculada e os dispositivos de coleta e drenagem dos lodos, e na superior os dispositivos de coleta da água decantada e respectiva subcâmara de transferência pra sistema de filtração.

O lodo decantado é extraído periodicamente do fundo do decantador através de um sistema de descarga automática constituído pôr 4 válvulas com acionamento eletro pneumático controlado pôr temporizador. A água decantada é coletada através de canaletas na parte superior da câmara de decantação e é dirigida para o canal de água decantada.

## **Filtros**

Na filtração água passa por várias camadas filtrantes onde ocorre a retenção dos flocos menores que não ficaram na decantação. A água então fica livre das impurezas.

A camada filtrante é formada por um meio granular poroso, com a seguinte constituição:

- 10 cm de seixos rolados e classificados na granulometria de  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  polegadas.
- 10 cm de seixos rolados e classificados na granulometria de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{1}{4}$  polegadas.
- 10 cm de seixos rolados e classificados na granulometria de 1/8 a  $\frac{1}{4}$  polegadas.
- 20 cm de areia grossa, lavada e classificada na granulometria de 1,7 a 3,2mm.
- 45 cm de areia fina, lavada e classificada na granulometria de 0,5 mm C.U. 1,5, e/ou carvão antracitoso T.E 0,89, C.U 2,0.

A filtração da ETA funciona com fluxo descendente sendo a lavagem feita em sentido inverso.

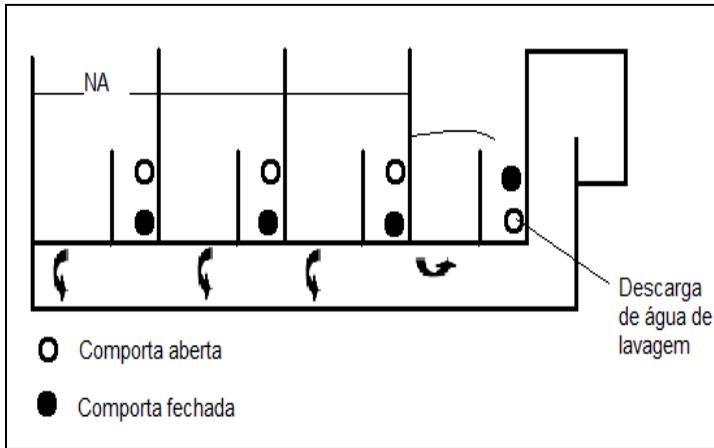
A água decantada é conduzida aos filtros de dupla camada de lavagem recíproca, sendo cada uma das câmaras lavada com a água das demais em operação, como mostra a Figura 8. A lavagem dos filtros se baseia no fato de que o nível de saída da água filtrada é superior ao nível da canaleta de coleta da água.

A câmara de filtração é constituída de quatro subcâmaras, com fundo falso, drenos, leito filtrante com dupla camada, calhas coletoras de água filtrada, coletores de água resultante da retrolavagem, tubulações, válvulas para as operações de funcionamento normal, retrolavagem, esgotamento total, e, canal de saída de água filtrada com vertedor controlador de fluxo.

Todas as 4 câmaras de filtração são interconectadas. Ao abrir a válvula de drenagem da água suja proveniente da lavagem, o nível na câmara que se deseja lavar decresce, estabelecendo uma carga hidráulica que inverte o sentido de fluxo no leito filtrante e efetua a lavagem. O sistema de lavagem é controlado a distância, através de atuadores pneumáticos de dupla ação com válvula solenóide e fim de curso para sinalização.

O processo utilizado é de filtração descendente e taxas declinantes do tipo multicelular, que dispensa conjuntos moto-bombas e/ou reservatório elevado, com respectivo circuito hidráulico, para a retrolavagem, pois esta é efetuada com a própria água filtrada do conjunto multicelular que é projetado para permitir que quando uma das células estiver colmatada, exigindo a retrolavagem, a mesma possa ser efetuada pela água filtrada das demais, numa única manobra dos comandos hidráulicos.

Quando os filtros trabalham a taxas constantes, a diferença da perda de carga entre as unidades permite identificar claramente qual a unidade a ser lavada. Porém quando se trabalha com taxa declinante, como na ETA Karsten, a perda de carga é igual entre as unidades em função da redistribuição de vazão entre elas. Portanto a lavagem dos filtros é realizada em sistema de rodízio, ou seja, lavam-se as unidades em uma sequência lógica para que tenham trabalhado aproximadamente o mesmo tempo.



**Figura 8: processo de lavagem dos filtros multicelulares.**

Fecha-se a comporta de acesso de água decantada ao filtro que desejamos lavar, e abrimos sua comporta de descarga de água de lavagem. Nessa situação, a água existente no interior do filtro a ser lavado é descarregada, até a altura correspondente à borda da calha coletora de água de lavagem.

Ao mesmo tempo, a água existente na câmara de água filtrada será encaminhada para o interior desse filtro, através de seu fundo (em virtude do posicionamento altimétrico do vertedouro de água filtrada em relação à borda da calha coletora de água de lavagem). Isto propiciará a retro-lavagem do filtro.

Após a limpeza, fechamos a comporta de descarga de água de lavagem e abrimos a comporta de acesso de água decantada para o filtro, o que fará com que ele volte a operar normalmente.

### **Abastecimento**

Após o processo de filtração a água é conduzida para o reservatório de água tratada para que possa abastecer o reservatório elevado para posterior uso pelas instalações da fábrica.

### **Processo potável**

Após ter passado pelo processo Industrial, parte da água recebe dosagem de Cloro para eliminar a presença de microorganismos e passa por um sistema de filtragem contínua sendo distribuída para os pontos de consumo humano/alimentar.

### **Monitoramento**

Cada ETA possui um laboratório que processa análises e exames físico-químicos e bacteriológicos destinados à avaliação da qualidade da água desde manancial até o sistema de distribuição

Diariamente são efetuadas análises da água industrial e Potável.

#### **Água Industrial:**

Alcalinidade Total (PPM)  
Dureza Total (CaCO<sub>3</sub>)  
Cloretos (mg/l)  
Condutividade (us/cm-1)  
Sólidos Totais Dissolvidos (ppm)  
Análise Bacteriológica (Colônias)  
Temperatura (°C)  
Turbidez (NTU)  
Cor (PtCo)  
PH  
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO – mg/l)  
Demanda Química de Oxigênio (DQO – mg/l)

#### **Água Potável:**

Residual de Cloro (ppm): O cloro é um agente bactericida. É adicionado durante o tratamento, com o objetivo de eliminar bactérias e outros microorganismos que podem estar presentes na água. O produto entregue ao consumidor deve conter, de acordo com a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde, uma concentração mínima de 0,2 mg/l (miligramas por litro) de cloro residual.

#### **Parâmetros de processo:**

Mistura rápida: Tempo de contato = 1 a 60 segundos  
Gradiente de velocidade = 1000 s<sup>-1</sup>  
Floculação: Tempo de retenção = 15 a 20 minutos  
Variação dos gradientes de velocidade = 80 a 20 s<sup>-1</sup>  
Decantação: Variação da taxa de aplicação = 150 a 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia  
Filtração: Taxa de filtração = 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia  
Taxa de retrolavagem = 960 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

## 5.2 Volume da Água Descartada na Retrolavagem

A retrolavagem dos filtros da ETA Karsten, ocorre atualmente com uma carreira de filtração em torno de 12 horas, com um tempo de lavagem de 10 a 15 minutos. Primeiramente o volume de água que está dentro do filtro é descartado para então começar o processo de retrolavagem. A água utilizada para a lavagem é a água tratada pela própria ETA, a vazão de tratada da estação deixa de ir para os reservatórios e é toda direcionada para o filtro que está sendo lavado. Uma vazão de aproximadamente 250m<sup>3</sup>/h é aplicada na camada filtrante, no fluxo contrário ao da filtração, a fim de retirar todas as impurezas retidas e acumuladas.

De acordo com as plantas do projeto arquitetônico utilizado na implantação da ETA, foi possível verificar o volume de água dos filtros descartado inicialmente, antes do processo de lavagem. Cada filtro possui em torno de 17,7 m<sup>3</sup> de água. Quando se inicia o processo de retrolavagem, essa água é toda descartada no rio do Testo.

Sendo uma vazão de 250m<sup>3</sup>/h aplicada em 15 minutos de lavagem, então:

$$V = Q.t \quad (1)$$

$$V = 250.15/60 = 62,5 \text{ m}^3 \quad (2)$$

São gastos 62,5m<sup>3</sup> de água para a lavagem de um filtro. Somando com a água inicialmente descartada, são 80,2 m<sup>3</sup> de água jogados fora para cada operação de lavagem, em apenas um filtro.

A ETA possui quatro filtros que são lavados geralmente duas vezes ao dia. Somando todos os volumes, chegou-se em,

aproximadamente, 641,6 m<sup>3</sup> de água, de qualidade superior a da água bruta, descartados por dia. A tabela 2 apresenta os volumes calculados.

**Tabela 2: Volume descartado nas operações de lavagem dos filtros.**

Volume descartado na operação de lavagem de 1 filtro	Volume descartado na operação de lavagem dos 4 filtros	Volume descartado em um dia (duas lavagens)	Volume descartado em um mês
80,2 m <sup>3</sup>	320,8 m <sup>3</sup>	641,6 m <sup>3</sup>	19.248 m <sup>3</sup>

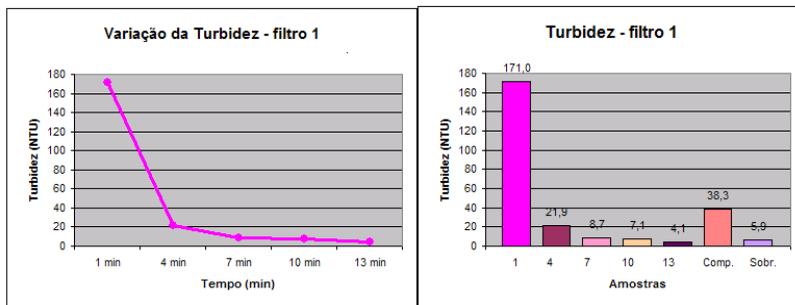
### 5.3 Análises da água de lavagem

#### Filtro 1:

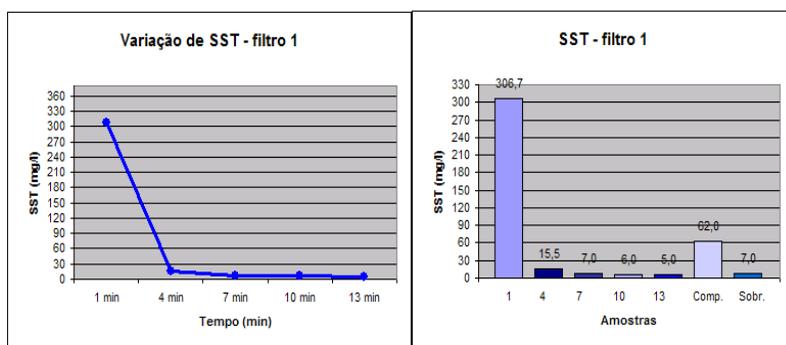
A coleta do primeiro filtro foi realizada no dia 15 de abril de 2010, às 8 horas e 5 minutos. O tempo estava bom, com sol e não havia chovido nas últimas 24 horas. O filtro estava há 24 horas sem lavar. Atualmente, o tempo normalmente utilizado entre as lavagens é de 12 horas, porém utilizou-se 24 horas para forçar uma situação mais crítica e para avaliar se é possível aumentar a carreira de filtração, a fim de reduzir o volume de água utilizado por dia. A tabela 3 e figuras 9 e 10 mostram a variação da turbidez e SST em função do tempo de lavagem para o filtro 1.

**Tabela 3: Valores de turbidez e SST para as amostras do filtro 1.**

Amostra	Turbidez	SST
	(NTU)	(mg/l)
1 min	171	306,66
4 min	21,9	15,5
7 min	8,74	7
10 min	7,1	6
13 min	4,12	5
Composta	38,3	62



**Figura 09: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.**



**Figura 10: Gráfico da variação de SST ao longo do tempo de lavagem.**

Como descrito na metodologia, uniu-se as amostras a fim de constituir a amostra composta. Os resultados das análises para o sobrenadante da amostra composta do primeiro filtro, após 60 minutos de sedimentação no cone Imhoff, estão na tabela 4.

**Tabela 4: Valores dos parâmetros analisados no sobrenadante do filtro 1.**

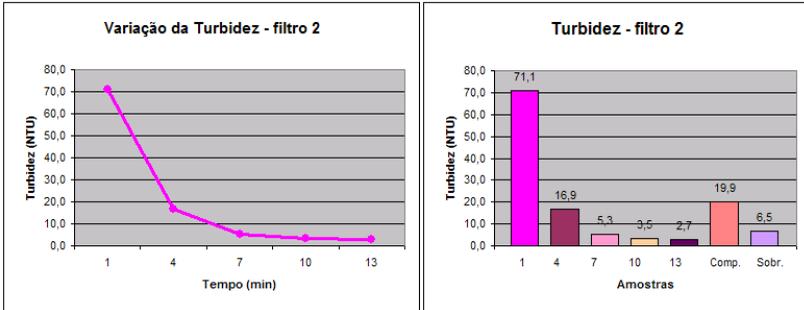
Amostra	Sobrenadante
Cor (Pt/Co)	43
Turbidez (NTU)	5,92
SST (mg/l)	7
pH	6,93
Coliformes	presente
DQO (mg/l)	0
Ferro (ppm)	0,523
Alcalinidade (mg/l)	50
Condutividade (uS.cm)	124,5
Dureza (mg/l)	26

### **Filtro 2:**

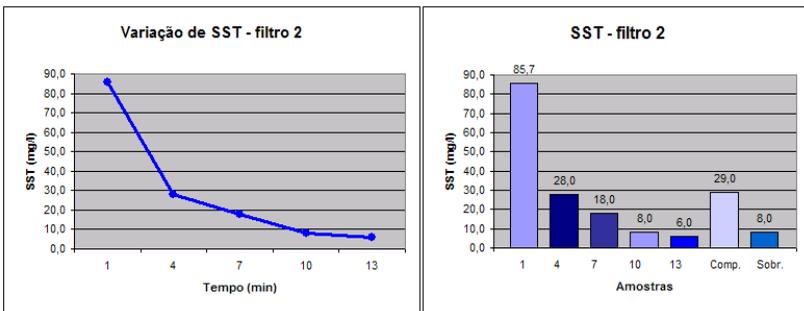
As coletas referentes ao segundo filtro foram realizadas no dia 13 de abril de 2010, às 8:15 horas. O tempo estava ensolarado não havia chovido nas últimas 24 horas. O filtro completava 12 horas sem lavar, carreira de filtração utilizada atualmente. A tabela 5 e figuras 11 e 12 mostram a variação da turbidez e SST em função do tempo de lavagem para o filtro 2.

**Tabela 5: Valores de turbidez e SST para as amostras do filtro 2.**

Amostra	Turbidez	SST
1	71,1	85,7
4	16,9	28,0
7	5,3	18,0
10	3,5	8,0
13	2,7	6,0
Composta	19,9	29,0



**Figura 11: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.**



**Figura 12: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.**

Os resultados das análises para o sobrenadante da amostra composta do segundo filtro, após 60 minutos de sedimentação no cone Imhoff, estão na tabela 6.

**Tabela 6: Valores dos parâmetros analisados no sobrenadante do filtro 2.**

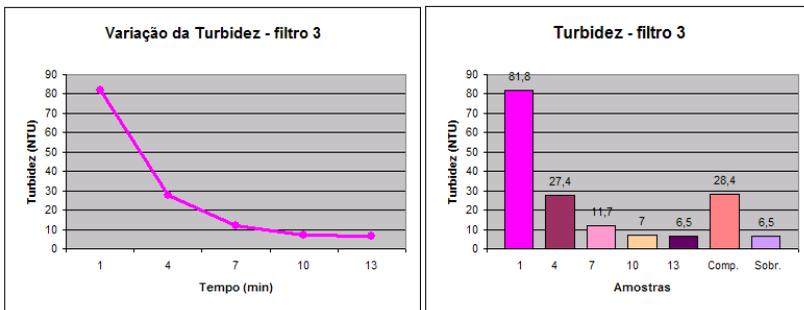
Amostra	Sobrenadante
Cor (Pt/Co)	51
Turbidez (NTU)	6,47
SST (mg/l)	8
pH	6,84
Coliformes	presente
DQO (mg/l)	0
Ferro (ppm)	0,311
Alcalinidade (mg/l)	40
Condutividade	125,5
Dureza (mg/l)	27

### **Filtro 3:**

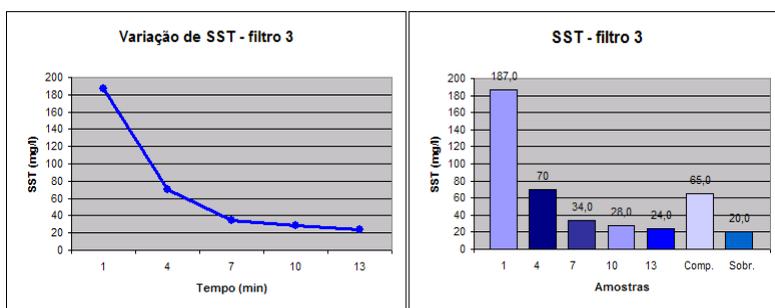
As coletas referentes ao terceiro filtro foram realizadas no dia 20 de abril de 2010, às 9:20 horas. O tempo estava ensolarado, sem chuvas há mais de 24 horas.. O filtro completava 24 horas sem lavar, carreira de filtração maior que a utilizada normalmente. A tabela 7 e figuras 13 e 14 mostram a variação da turbidez e SST em função do tempo de lavagem para o filtro

**Tabela 7: Valores de turbidez e SST das amostras do filtro 3.**

Amostra	Turbidez	SST
1	81,8	187
4	27,4	70
7	11,7	34
10	7	28
13	6,5	24
Composta	28,4	65



**Figura 13: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.**



**Figura 14: Gráfico da variação de SST ao longo do tempo de lavagem.**

Os resultados das análises para o sobrenadante da amostra composta do terceiro filtro, após 60 minutos de sedimentação no cone Imhoff, constam na tabela 8.

**Tabela 8: Valores dos parâmetros analisados no sobrenadante do filtro 3.**

Amostra	Sobrenadante
Cor (Pt/Co)	49
Turbidez (NTU)	6,48
SST (mg/l)	20
pH	6,8
Coliformes	presente
DQO (mg/l)	0
Ferro (ppm)	0,551
Alcalinidade (mg/l)	40
Condutividade	113,7
Dureza (mg/l)	36

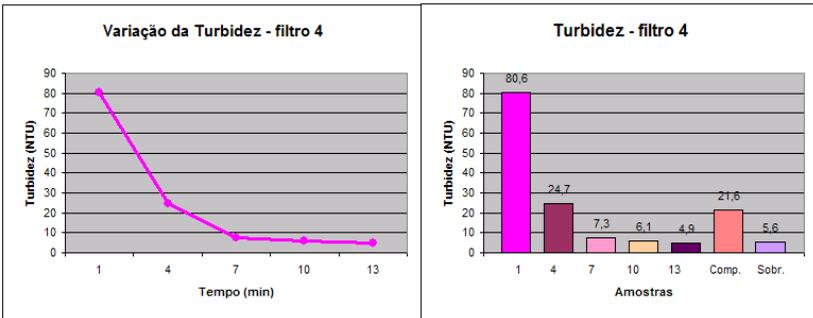
#### **Filtro 4:**

As coletas referentes ao quarto filtro foram realizadas no dia 22 de abril de 2010, às 8:15 horas. O tempo estava chuvoso. O filtro completava 24 horas sem lavar, carreira de filtração maior que q utilizada atualmente. A tabela 9 e figuras 15 e 16 mostram a variação da turbidez e SST em função do tempo de lavagem para o filtro

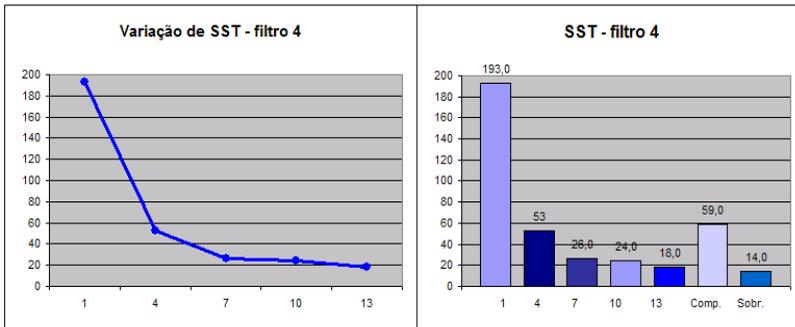
**Tabela 9: Valores de turbidez e SST das amostras do filtro**

Amostra	Turbidez	SST
1	80,6	193
4	24,7	53
7	7,3	26
10	6,1	24
13	4,9	18
Composta	21,6	59

4.



**Figura 15: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.**



**Figura 16: Gráfico da variação de turbidez ao longo do tempo de lavagem.**

Os resultados das análises para o sobrenadante da amostra composta do quarto filtro, após 60 minutos de sedimentação no cone Imhoff, constam na tabela 10.

**Tabela 10: Valores dos parâmetros analisados no sobrenadante do filtro 3.**

Amostra	Sobrenadante
Cor (Pt/Co)	47
Turbidez (NTU)	5,58
SST (mg/l)	14
pH	7,03
Coliformes	presente
DQO (mg/l)	0
Ferro (ppm)	0,374
Alcalinidade (mg/l)	40
Condutividade	125,7
Dureza (mg/l)	25,5

Observou-se, nos quatro filtros, que grande parte do material retido é eliminada nos quatro primeiros minutos. Geralmente entre 20 e 60 segundos, a turbidez e os SST atingem seus valores máximos. Até o término do quarto minuto, grande parte do material retido é eliminada. A turbidez segue diminuindo durante o terceiro e quarto minutos, após este tempo, tende a permanecer constante.

Fica clara a importância do monitoramento do tempo de lavagem dos filtros. Considerando que a turbidez está relacionada com a presença de sólidos, descargas ou lavagens muito longas geram grandes quantidades de volume com concentrações de sólidos relativamente baixas.

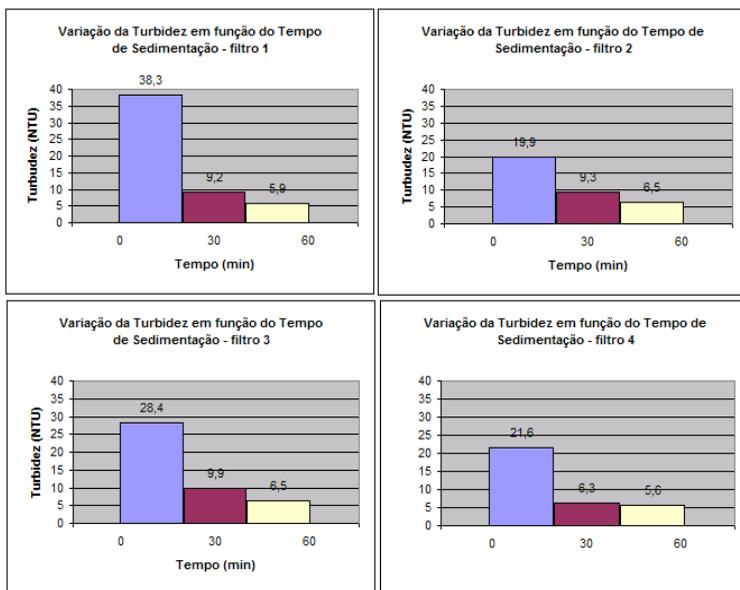
Quanto melhores forem as condições de pré-tratamento da água bruta, mais eficiente será o processo de filtração e mais longas serão as carreiras de filtração e, sendo estas mais longas, mais facilmente o sistema de recuperação de água de lavagem poderá ser otimizado visando à sua recuperação integral.

Após uma sedimentação de 60 minutos e sem adição de qualquer polímero como condicionante consegue-se uma boa redução na turbidez (uma média de 76% de redução) da água resultante da lavagem dos filtros, como verificado na tabela 11 e figura 17. A sedimentação pode

ser ainda melhorada se considerado um tempo maior de detenção e/ou a adição de polímero.

**Tabela 11: Valores de sólidos sedimentáveis para cada filtro.**

Filtro	Sólidos sedimentáveis (ml/l)	
	30 min	60 min
1	5,5	7
2	0,5	2
3	3	4
4	3	4

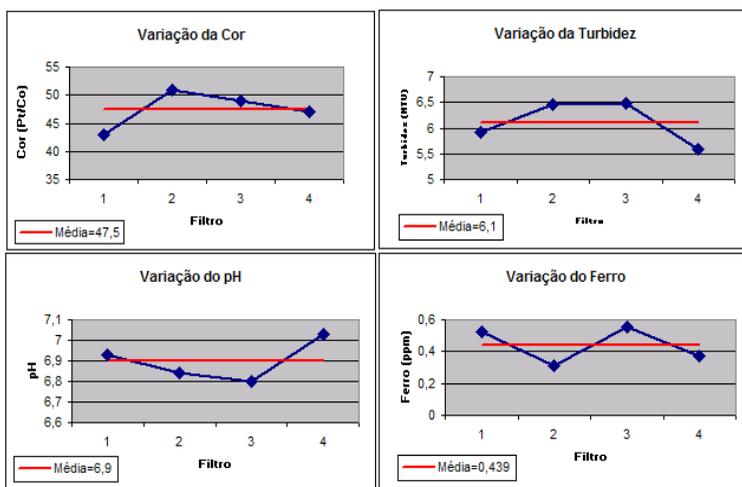


**Figura 17: Variação da turbidez ao longo da sedimentação.**

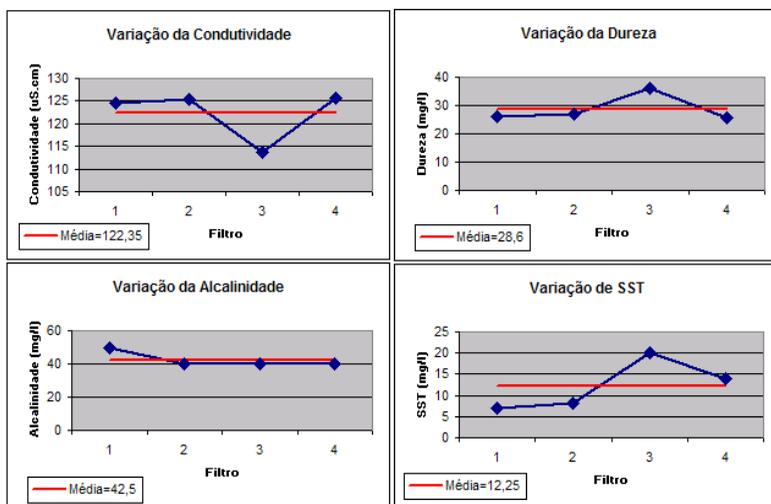
Como a concentração de SS na água de lavagem é extremamente variável com o tempo, é de fundamental importância que o polímero escolhido trabalhe adequadamente caso este seja superdosado na água de lavagem, não apresentando perda na eficiência de remoção de SS.

Além disso, pelo fato do sobrenadante da água de lavagem ser reciclada para o início do processo de tratamento e por, eventualmente, apresentar uma quantidade de polímero em excesso na fase líquida, é importante que o polímero utilizado para melhorar a sedimentabilidade dos flocos tenha o seu uso permitido pelos órgãos de controle sanitário para fins de utilização no processo de tratamento de água. De um modo geral, polímeros não iônicos e aniônicos de médio e alto peso molecular são os que apresentam os melhores resultados.

As figuras 18 e 19 apresentam os valores dos principais parâmetros analisados para cada filtro. Também mostra a média dos valores, considerando a junção da água de todos os filtros em um reservatório.



**Figura 18:** Valores dos principais parâmetros para cada filtro (após sedimentação).

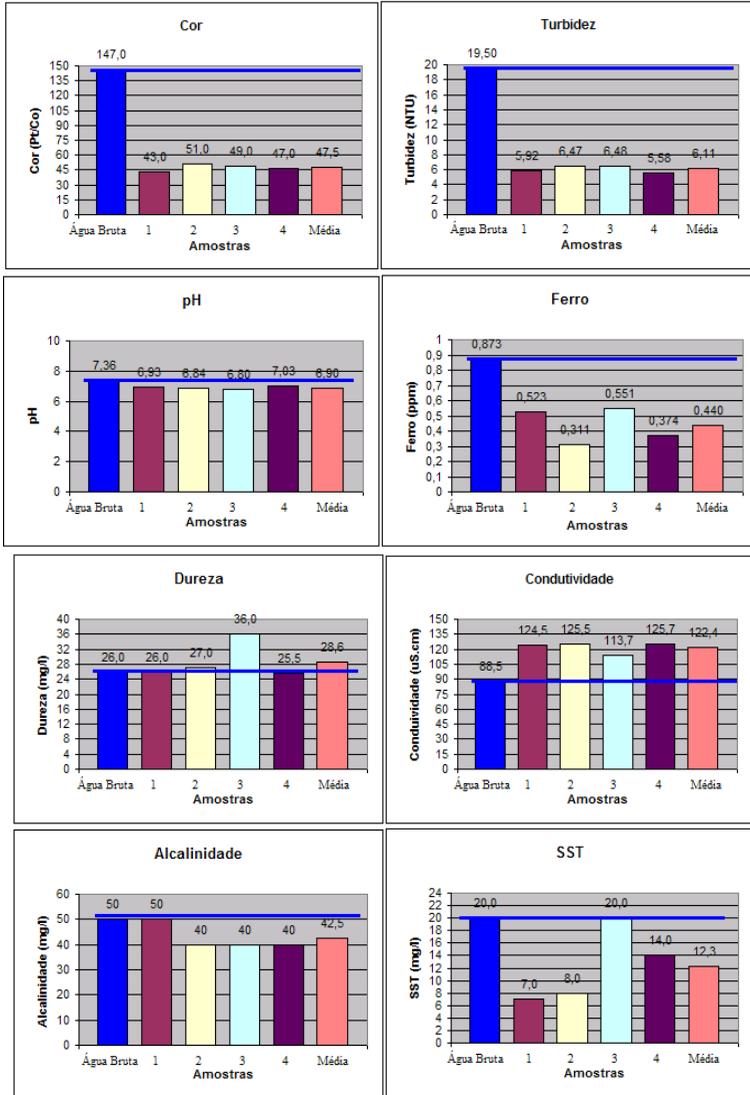


**Figura 19: Valores dos principais parâmetros para cada filtro (após sedimentação).**

Apesar do objetivo principal deste estudo ter sido a caracterização do efluente líquido descartável da ETA Karsten, com vistas de reciclo, a análise da qualidade da água bruta do rio do Testo foi feita tão somente para comparar suas características com àquelas do efluente considerado tendo-se, desta forma, uma idéia da viabilidade técnica do reúso do efluente em questão. A tabela 12 e figura 20 apresentam os parâmetros da água de lavagem em comparação com a água bruta.

**Tabela 12: Comparação dos parâmetros (após sedimentação) com a água bruta.**

Amostra	Cor Pt/Co	Turbidez NTU	SST mg/l	pH	Coliformes	DQO mg/l	Ferro ppm	Alcalinidade mg/l	Condutividade uS.cm	Dureza mg/l
Água Bruta	147	19,5	20	7,36	presente	0	0,873	50	88,5	26
filtro 1	43	5,92	7	6,93	presente	0	0,523	50	124,5	26
filtro 2	51	6,47	8	6,84	presente	0	0,311	40	125,5	27
filtro 3	49	6,48	20	6,8	presente	0	0,551	40	113,7	36
filtro 4	47	5,58	14	7,03	presente	0	0,374	40	125,7	25,5
Média	47,5	6,1125	12,25	6,9	presente	0	0,43975	42,5	122,35	28,625



**Figura 20: Valores dos principais parâmetros para cada filtro em comparação com a água bruta.**

De acordo com os resultados obtidos nas análises do sobrenadante da amostra composta, verificou-se que as características físico-químicas do referido efluente apresentaram, em geral, comportamento melhor que o da água bruta da ETA, captada no rio do Testo. Exceção ocorreu para os parâmetros condutividade e dureza, que no efluente foi um pouco mais elevado, porém esses parâmetros não impedem o reciclo da água.

A dureza resulta da presença, principalmente, de sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio), ou de outros metais bivalentes, em menor intensidade, em teores elevados; causa sabor desagradável e efeitos laxativos; reduz a formação da espuma do sabão, aumentando o seu consumo; provoca incrustações nas tubulações e caldeiras. Apesar de a dureza do efluente ter sido um pouco mais elevada que a da água bruta, ainda assim foi um valor considerado baixo, não podendo prejudicar o processo de recirculação da água.

A condutividade está relacionada com a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica na água. O parâmetro pode representar uma medida indireta da concentração de poluentes. A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. A condutividade encontrada no efluente foi maior que a da água bruta mas também não constitui um fator limitante para o projeto.

Um dos principais motivos para restrição ao reúso da água da limpeza e lavagem das ETAs é quando esta água apresenta uma qualidade microbiológica não satisfatória ou presença de ferro e manganês, o que se deve ao fato de que, sendo o processo de filtração uma operação de pré-concentração de sólidos e microrganismos, quando ocorre a reciclagem integral a água de lavagem pode prejudicar o processo de tratamento da fase líquida.

A prática de recirculação de água de lavagem dos filtros pode constituir introdução de perigos no processo de tratamento da água e

implicar risco à saúde da população consumidora, associado, principalmente, à presença de cistos e oocistos de protozoários. Isso porque, como a filtração representa a principal etapa do tratamento responsável pela remoção de protozoários, muitas vezes a ALF contém concentrações mais elevadas de cistos ou oocistos do que a própria água bruta. Adicionalmente, em decorrência das dimensões reduzidas e da forma encistada, os protozoários, principalmente os oocistos de *Cryptosporidium* spp., podem passar pelos filtros e são pouco suscetíveis às doses de cloro utilizadas nas estações de tratamento de água. O ferro, apesar de não se constituir um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento de água. Confere cor e sabor à água, provocando mancha em roupas e utensílios sanitários; também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferrobactérias, ocasionando a contaminação biológica da água, na própria rede de distribuição.

No trabalho em questão as concentrações de ferro encontradas no efluente líquido descartável da ETA não seriam um fator limitante ao reúso, pois, apesar o efluente apresentou uma quantidade de ferro menor que a água bruta e bem inferior ao limite de tratamento da ETA (10ppm). Porém é importante um monitoramento deste parâmetro a fim de evitar futuros problemas.

## **5.4 Opções para minimização de efluentes**

Com base em estudos já realizados, descreveu-se duas opções possíveis de serem implantadas a fim de minimizar o efluente gerado na ETA.

### **5.4.1 Aumento da carreira de filtração**

Normalmente, os filtros são lavados apenas uma vez ao dia, ao contrário dos filtros da estação que são lavados duas vezes diariamente. Os filtros em questão possuem uma carreira de filtração muito baixa, de apenas 12 horas, o que pode estar gerando um desperdício no processo de lavagem.

Os filtros precisam ser lavados quando a turbidez da água filtrada se encontra maior que 0,5 UNT e/ou quando há Igualdade entre a perda

de carga total do sistema e a carga hidráulica disponível (geralmente entre 2,0 e 3,0m). Os filtros da ETA Karsten estão sendo lavados sem que uma dessas duas condições aconteça.

Realizou-se análises de cor e turbidez na água de saída de cada unidade da ETA, a fim de ver se há algum problema no processo de tratamento que possa estar causando uma carreira de filtração tão curta (tabela 13). Percebe-se que o decantador possui uma eficiência de aproximadamente 75% na remoção de turbidez e 80% na remoção de cor. Um decantador em bom funcionamento deve apresentar uma eficiência mínima de 90% na remoção desses parâmetros. Portanto, deve se investigar o que está diminuindo a eficiência dos decantadores e procurar sanar o problema.

**Tabela 13: Turbidez e cor na saída de cada unidade da ETA**

	Água Bruta	Saída do Floculador	Saída do Decantador	Saída do Filtro
Turbidez (NTU)	19,5	32,1	4,5	0,1
Cor (Pt/Co)	147	456	28	2

Através dos dados obtidos na análise do efluente do processo de lavagem, que o filtro dois, que estava há apenas 12 horas sem lavar, não apresentou uma qualidade significativamente melhor na água de lavagem que os filtros que estavam há 24 horas sem lavar. Constatou-se também que é evidente a redução dos sólidos sedimentáveis, turbidez e cor após o tempo de 4 minutos, o que caracteriza que a lavagem do filtro torna-se dispendiosa após este período com pouca redução dos parâmetros acima citados. De acordo com amostras, o tempo de 10 minutos seria mais do que suficiente para limpar decantadores e filtros.

Portanto verifica-se a possibilidade de aumentar a carreira de filtração, diminuindo o trabalho dos operadores e gerando um volume de água consideravelmente menor. A carreira de filtração inicialmente poderia passar para 24 horas e, através de um monitoramento periódico, ser adequado com o tempo. O volume de efluentes gerados cairia pela metade, de 641,6 m<sup>3</sup>/dia para 320,8 m<sup>3</sup>/dia.

## 5.4.2 Lavagem com auxílio de ar comprimido

Segundo DI BERNARDO *et al* (2002), a operação de lavar um filtro apenas com água no sentido ascendente, concorre para a geração de um volume maior de água, quando comparada com uma outra forma de lavagem, como a que utiliza inicialmente a aplicação de fluxo de ar, com velocidades controladas, seguida da aplicação da fase líquida.

Com o objetivo de obter melhor desempenho da operação de lavagem do filtro (o que possibilita, também, economizar água de lavagem), podemos auxiliá-la, através de diversos meios. Uma das opções mais utilizadas é a lavagem com auxílio de ar comprimido.

Esse tipo de lavagem auxiliar é muito utilizado na Europa. Lá, filtros que empregam leitos filtrantes de areia com grande espessura utilizam-na simultaneamente com a lavagem ascensional com água. Enquanto que o ar revolve as partículas de areia provocando, com isto, a remoção da sujeira aí retidas a água lava os espaços entre as partículas, levando, consigo, a sujeira.

A lavagem auxiliar com ar vem se mostrando muito útil para a lavagem de leitos filtrantes múltiplos (por exemplo: em filtros de areia e antracito) e, atualmente vem sendo aceita pelos técnicos brasileiros que adotam a seguinte prática:

1. Inicia-se a preparação do filtro a lavar interrompendo o acesso de água decantada ao seu interior;
2. Deixa-se a filtração da água remanescente em seu interior, até que uma lâmina d'água de cerca de 20 centímetros persista sobre o leito filtrante.
3. Fecha-se a saída de água filtrada, para dar início à operação de lavagem; inicialmente, injeta-se apenas ar sob o leito filtrante, como velocidade ascensional de cerca de 0,9 metros por minutos, durante alguns minutos (cerca de 4 minutos);

4. Em seguida, corta-se o ar e introduz-se a água para lavagem sob o filtro, com velocidade ascensional adequada para a obtenção da expansão do leito (cerca de 0,9 metros por minutos), permanecendo assim durante alguns minutos (cerca de 4 minutos).

Cessada a lavagem realizada dessa forma, o filtro pode ser colocado novamente em operação. Para efetuar a lavagem auxiliar com ar, é necessário que a ETA conte com compressores de baixa pressão (normalmente da ordem de 0,5 kgf/cm<sup>2</sup>). Esses compressores especiais são denominados sopradores.

Considerando que este processo seria feito uma vez ao dia para cada filtro, o volume de efluente gerado diariamente seria em torno de 137,6 m<sup>3</sup>.

$$V = Q.t \quad (3)$$

$$V = 250.4/60 = 34,4 \text{ m}^3/\text{filtro} \quad (4)$$

$$\text{Para 4 filtros } V = 137,6 \text{ m}^3$$

Considerando que atualmente são gastos 641,6 m<sup>3</sup> de água por dia nos processos de lavagem, a quantidade de efluente reduziria em torno de 80% com o auxílio de ar comprimido.

Esta opção daria mais trabalho aos operadores, porém tem um custo relativamente baixo e um bom resultado.

## 5.5 Opções de Recirculação do Efluente

Nas estações de tratamento de água sistema convencional, a água de lavagem dos filtros pode ser recirculada, com ou sem clarificação, para a câmara de chegada da água bruta, onde será misturada com a mesma. O volume de água de lavagem é variável dependendo da qualidade da água bruta, do tipo e eficiência do tratamento e, para as ETAs de ciclo completo, da eficiência dos decantadores. Assim sendo, se faz necessária a presença de um reservatório ou um tanque, para recepção dos resíduos líquidos oriundos da lavagem, que permitirá equalizar e regularizar a vazão de recirculação

A recirculação é integral, quando a água de lavagem dos filtros não é clarificada. Quando houver a clarificação por sedimentação ou flotação, com ou sem adição de condicionante, a recirculação não é integral (DI BERNARDO et al, 2002).

Segundo FERREIRA FILHO & ALÉM SOBRINHO (s.d.), na prática, duas diferentes situações são comumente encontradas. A primeira delas é quando o sistema de tratamento dos despejos é dimensionado conjuntamente com o tratamento da água. Neste caso, a principal vantagem é a compatibilização dos tratamentos da fase líquida e da fase sólida. No entanto, como desvantagem, uma vez que a ETA está em fase de projeto, a produção de sólidos e suas características não são conhecidas a priori, o que impõe dificuldades na obtenção dos parâmetros de projeto das unidades para o tratamento da fase sólida.

A segunda situação é para ETA's já existentes, onde o projeto e construção do tratamento da fase sólida são efetuados a posteriori. Ao contrário do primeiro caso, o fato da ETA já estar em funcionamento possibilita a utilização da fase sólida gerada durante o processo de tratamento para fins de ensaios piloto visando a determinação da sua concepção mais adequada, bem como dos seus parâmetros de projeto. Por outro lado, pelo fato da ETA já estar fisicamente construída, pode haver uma limitação do ponto de vista construtivo na adequação do sistema de tratamento da fase líquida visando um projeto econômico do tratamento da fase sólida.

Baseado na literatura, através de pesquisa em estações de tratamento de água que já utilizam algum sistema para recircular o efluente e pelo resultado das análises da água, constatou-se duas opções para recircular o efluente. Os dois sistemas foram dimensionados considerando a implantação de pelo menos uma das medidas de minimização de efluentes.

### **5.5.1 Primeira opção**

No tratamento e recuperação da água de lavagem dos filtros, uma vez que seja necessária a separação de parte dos sólidos presentes na água de lavagem, antes do seu retorno, devido à fragilidade de floco formado pelos hidróxidos de alumínio, ou férricos, a operação do sistema de recuperação de água de lavagem deverá ser feita,

preferencialmente, em batelada, pois a ocorrência de correntes de velocidade no interior do tanque de separação, pode fazer com que haja a ressuspensão dos flocos sedimentados, retornando-os para a fase líquida (FERREIRA FILHO & ALÉM SOBRINHO, 1998).

A primeira opção seria encaminhar a água de lavagem para um reservatório a fim de realizar sua pré-sedimentação. A recirculação da água de lavagem seria realizada em batelada, ou seja, lavando-se um filtro, a água é encaminhada ao reservatório, sedimenta por uma hora e então é direcionada para o início da ETA. A bomba de captação do rio seria ajustada para diminuir sua vazão para juntamente com a vazão de reciclo formar os 250m<sup>3</sup>/h na vazão de entrada da ETA. Ao terminar o reciclo, volta-se a ajustar a bomba de captação do rio para os 250m<sup>3</sup>/h e o reservatório de armazenamento da água de reciclo fica vazio, esperando a lavagem do próximo filtro.

De acordo com as análises realizadas com a água de lavagem, a princípio seria feita uma sedimentação simples de aproximadamente 60 minutos, sem a adição de qualquer polímero. Assim, a água já atinge uma qualidade superior a da água bruta. A água, porém, deverá ser monitorada e, precisando melhorar o processo de sedimentação, serão realizados testes a fim de providenciar o polímero mais eficiente e a melhor dosagem.

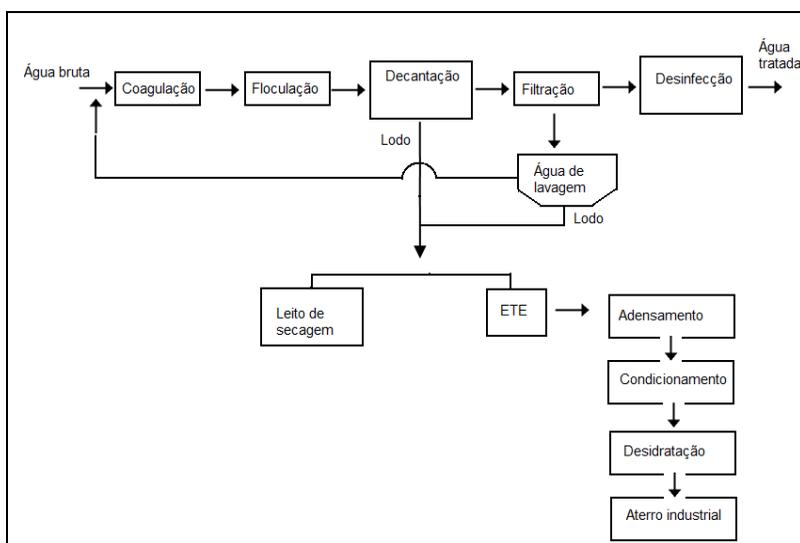
O reservatório teria, no mínimo, o volume gasto no processo de lavagem para um filtro mais uma margem para garantia, o que daria em torno de 85 m<sup>3</sup>. O reservatório teria a função de um decantador convencional, podendo ser retangular com fundo cônico e com descarga de fundo para o lodo.

Com este sistema é possível recircular toda a água utilizada no processo da retrolavagem. Contudo, o trabalho dos operadores aumentaria devido ao ajuste necessário nas bombas toda vez que for recircular a água, além de que seria necessário efetuar um monitoramento, pois a dosagem dos produtos químicos provavelmente mudará toda vez que a água de lavagem for recirculada.

Como a água de lavagem já possui uma dosagem de coagulantes, provavelmente a dosagem no início da ETA diminuirá, o que é bom, porém como a ETA não é automatizada o trabalho será dos operadores de monitorar e ajustar essa dosagem. Esta opção só se torna atrativa se for possível providenciar a automatização da estação.

O reservatório também precisará de limpeza periodicamente devido ao lodo sedimentado. A descarga do lodo poderia ser feita manualmente, pois não seria uma grande quantidade. Entretanto, deverá ser realizado um estudo a fim de calcular a formação de sólidos e montar um cronograma de limpeza

Os equipamentos necessários para este projeto seriam, tubulação que leva a água de lavagem do reservatório à entrada da ETA, um decantador convencional (reservatório de concreto) de 4 metros de altura e área de base de 21,25m<sup>2</sup>, com fundo falso para retirada do lodo, conjunto motor-bomba para o recalque do efluente até o início da ETA e, seria interessante, a automatização da ETA.



**Figura 21: esquema de reciclo da água de lavagem – opção 1.**

### 5.5.2 Segunda opção

De acordo com os resultados obtidos nas análises do efluente e como se trata de uma ETA de ciclo completo, não seria necessária uma pré sedimentação dependendo da vazão a ser recirculada.

A FBRR recomenda, quando se trata de reciclo integral, que a água seja recirculada a taxas inferiores a 10% da vazão da ETA, preferencialmente de forma contínua, fazendo com que as dosagens de

coagulantes não precisem ser alteradas. Para isso há necessidade da implantação de tanques de equalização para melhor controle do processo de recirculação.

A segunda opção seria a recirculação da água de lavagem a uma taxa inferior a 10% da vazão da ETA, de forma contínua. Esta forma é segura, praticamente não interferindo no processo de tratamento já utilizado na ETA, conseqüentemente não alterando a qualidade da água tratada.

Como a vazão recirculada é muito pequena em relação à da entrada da ETA e o processo de tratamento é de ciclo completo, não se faz necessária a pré sedimentação. Portanto se torna interessante manter o efluente em movimento no reservatório, a fim de não deixar os sólidos sedimentarem, originando-se assim um único ponto gerador de resíduos sólidos (lodo) – os decantadores.

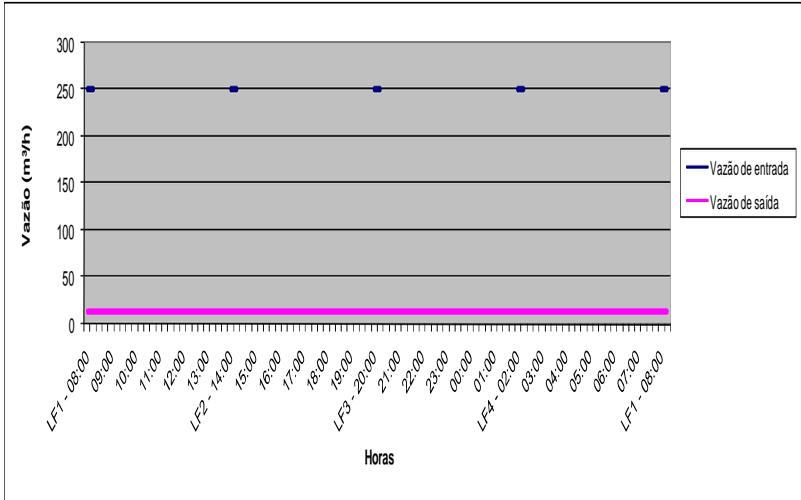
A água poderia ser reintroduzida na estação antes ou após a coagulação. Como a vazão é de apenas 5% a vazão da entrada, não fará diferença na dosagem dos químicos. Portanto a água será introduzida antes da coagulação devido a uma maior facilidade operacional.

A vazão será de 13,5m<sup>3</sup>/h podendo diminuir a vazão de captação do rio para 240m<sup>3</sup>/h.

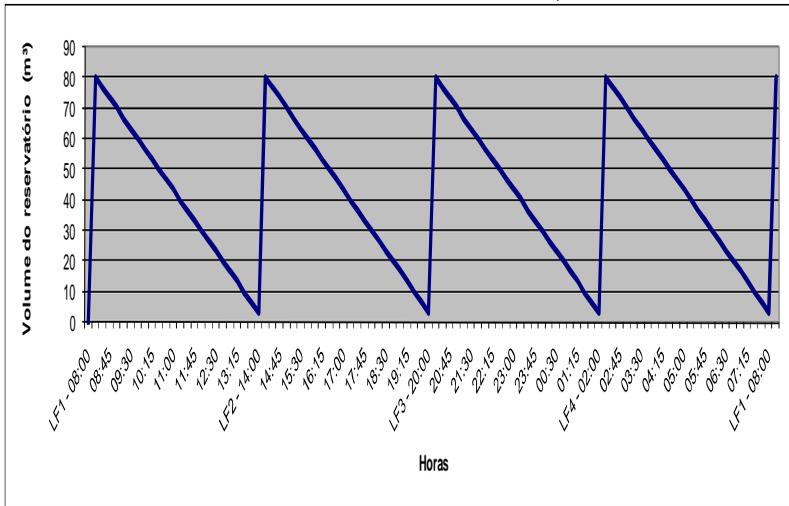
### **Dimensionamento do reservatório:**

Estabeleceu-se uma vazão de reciclo de 13,5 m<sup>3</sup>/h.

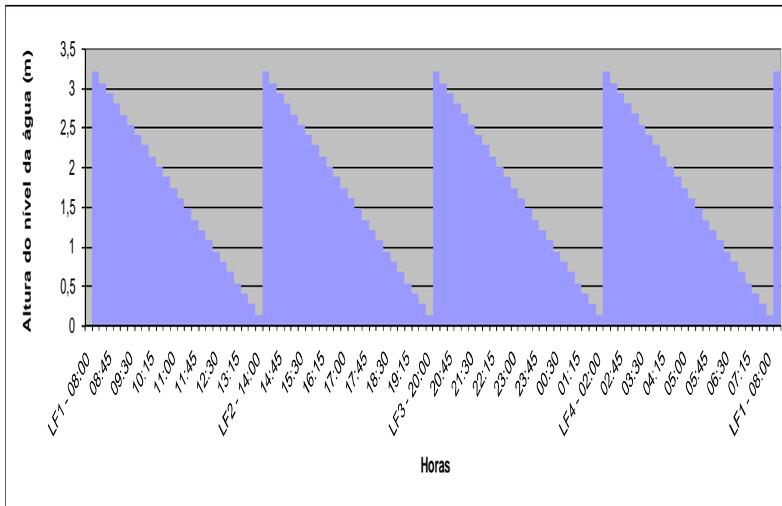
O dimensionamento do tanque de equalização foi realizado através do método gráfico de volumes acumulados como mostra as figuras 22, 23 e 24.



**Figura 22: Gráfico para dimensionamento do tanque de equalização (vazão de entrada e vazão de saída)**



**Figura 23: Gráfico para dimensionamento do tanque de equalização (volume de entrada e volume de saída)**



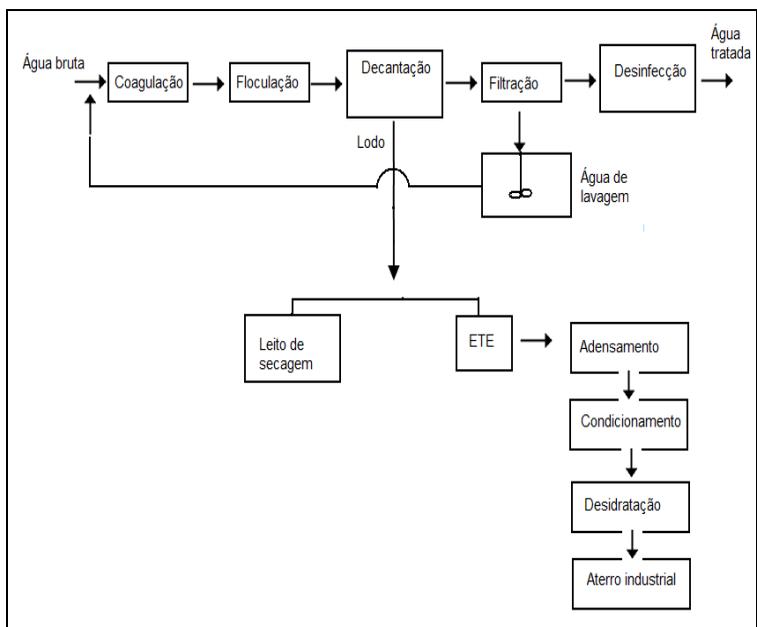
**Figura 24: Gráfico para dimensionamento do tanque de equalização (Altura da lâmina d'água do reservatório ao longo do tempo)**

Altura do nível da água, considerando uma base do reservatório de 25m<sup>2</sup>

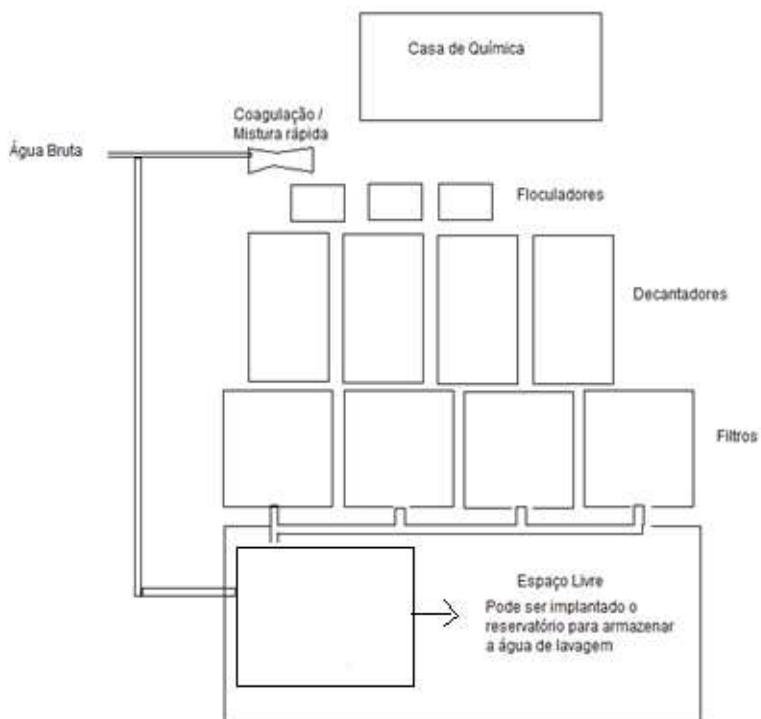
Se os filtros forem lavados exatamente no horário estabelecido, durante 15 minutos cada lavagem, o reservatório poderá ter um volume de aproximadamente 80m<sup>3</sup>, adicionando-se ainda o volume mínimo necessário para o funcionamento da bomba. Na figura 23 observa-se o volume do reservatório em função do tempo.

Como não necessita alterar a dosagem dos químicos e as bombas ficam ligadas continuamente numa mesma vazão, o trabalho dos operadores continua o mesmo, não se fazendo necessária a automatização da estação.

Seria necessário a construção do reservatório, uma bomba de nível, um agitador mecânico e a tubulação.



**Figura 25: esquema de reciclo da água de lavagem – opção 2.**



**Figura 26: Layout da estação (sem escala).**

## 5.6 Orçamento

<b>Serviço</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Construção do reservatório de 100m <sup>3</sup>	1	55000
Bomba de nível (para vazão de 13,5 m <sup>3</sup> /h) + bóia automática	1	2000
Automação da ETA	1	60000
Execução do projeto, instalações hidráulicas e elétrica	1	20000
<b>TOTAL</b>		<b>137000</b>

<b>Serviço</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Construção do reservatório de 100m <sup>3</sup>	1	55000
Bomba de nível (para vazão de 13,5 m <sup>3</sup> /h) + bóia automática	1	2000
Misturador lento com hélice em inox	2	8000
Execução do projeto, instalações hidráulicas e elétrica	1	20000
<b>TOTAL</b>		<b>85000</b>

## 5.7 Escolha da Alternativa mais Atrativa

A alternativa mais atrativa foi determinada com base nos custos de implantação do sistema e, além disso, foram levadas em consideração as vantagens e desvantagens de cada alternativa.

**Tabela 17: Vantagens e desvantagens de cada opção de reciclo.**

<b>Opção</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>1 (Em batelada com pré-sedimentação e vazão de reciclo de 40m<sup>3</sup>/h)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Os filtros podem ser lavados a qualquer horário (uma vez ao dia);</li> <li>-Caso haja automação da ETA o trabalho dos operadores será menor.</li> <li>-Provavelmente diminuirá a dosagem dos químicos, proporcionando uma economia dos mesmos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Devido à maior vazão recirculada, a dosagem dos produtos químicos deve mudar com o tempo, sendo necessária a automação da ETA;</li> <li>-Considerando a automação, a opção tem um custo maior;</li> <li>-Enquanto estiver ocorrendo o reciclo de água, a vazão de captação do rio deverá ser ajustada.</li> <li>-Devido a automação da ETA ser necessária, o custo fica muito elevado.</li> </ul>
<b>2 (Vazão contínua – 5% da vazão de entrada da ETA – e sem pré-sedimentação)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Como a vazão recirculada é muito pequena em comparação a vazão de entrada da ETA, não influenciará na dosagem dos produtos químicos ou na qualidade da água tratada;</li> <li>-Não exige automação da ETA proporcionando um menor custo de implantação;</li> <li>-O reciclo é feito de forma contínua com uma pequena vazão, não sendo preciso alterar a vazão de captação do rio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Os processos de lavagem devem ocorrer exatamente nos horários estabelecidos, para o reservatório não transbordar ou ficar abaixo do nível exigido pela bomba. Exigindo um grande comprometimento dos operadores.</li> </ul>

Para o reciclo da água de lavagem optou-se pela segunda opção, devido ao menor custo e seu maior número de vantagens.

## **5.8 Tempo de retorno do investimento**

### **Tempo de retorno se o projeto for implantado atualmente:**

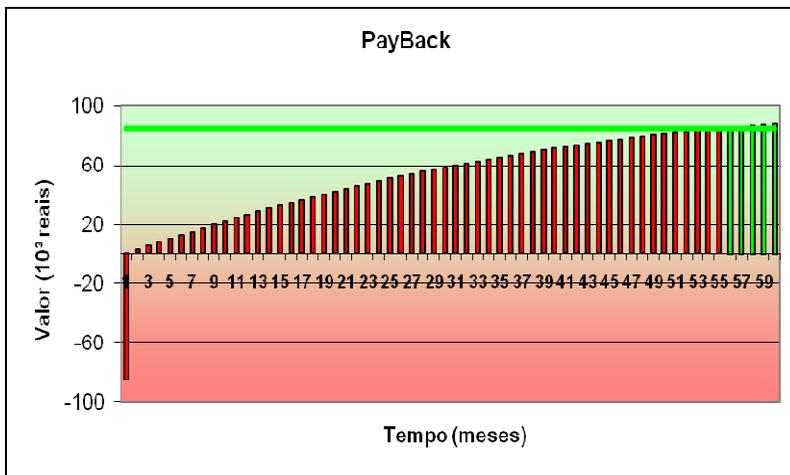
A ETA produz em torno de 140000 m<sup>3</sup> de água tratada por mês pelo preço de R\$ 39200,00. Considerando que com o aumento da carreira de filtração será usada a metade do volume de água nas operações de lavagem, a outra metade será água tratada pronta para ser utilizada. Então a ETA passaria a produzir 149600 (140000 + 320 x 30 dias) m<sup>3</sup>/mês pelo mesmo preço de R\$ 39200,00.

Com isso, a empresa ganharia um desconto de R\$ 0,018 por metro cúbico de água. Sendo assim, ganharia em torno de R\$ 2688 por mês.

Através desses dados foi possível calcular o tempo de retorno do investimento através do método do payback descontado. Através da fórmula  $VF = VP \times (1+i)^n$  passou-se todos os valores para o presente, considerando uma taxa de 1% ao mês.

**Tabela 18: Valores do fluxo de caixa.**

Meses	Fluxo de caixa	Fluxo descontado	Saldo do projeto	Meses	Fluxo de caixa	Fluxo descontado	Saldo do projeto
1	-85000	-85000	-85000	31	80640	59828,66409	-25171,3
2	2688	2661,38614	-82338,6	32	83328	61210,84445	-23789,2
3	5376	5270,07156	-79729,9	33	86016	62559,78992	-22440,2
4	8064	7826,83895	-77173,2	34	88704	63876,02312	-21124
5	10752	10332,4607	-74667,5	35	91392	65160,05959	-19839,9
6	13440	12787,6988	-72212,3	36	94080	66412,40785	-18587,6
7	16128	15193,3056	-69806,7	37	96768	67633,56953	-17366,4
8	18816	17550,0229	-67450	38	99456	68824,0394	-16176
9	21504	19858,5832	-65141,4	39	102144	69984,30551	-15015,7
10	24192	22119,709	-62880,3	40	104832	71114,84927	-13885,2
11	26880	24334,1133	-60665,9	41	107520	72216,14549	-12783,9
12	29568	26502,4997	-58497,5	42	110208	73288,6625	-11711,3
13	32256	28625,5622	-56374,4	43	112896	74332,86223	-10667,1
14	34944	30703,9859	-54296	44	115584	75349,20028	-9650,8
15	37632	32738,4465	-52261,6	45	118272	76338,12601	-8661,87
16	40320	34729,6108	-50270,4	46	120960	77300,08259	-7699,92
17	43008	36678,1368	-48321,9	47	123648	78235,50713	-6764,49
18	45696	38584,6737	-46415,3	48	126336	79144,83072	-5855,17
19	48384	40449,8617	-44550,1	49	129024	80028,4785	-4971,52
20	51072	42274,3329	-42725,7	50	131712	80886,86977	-4113,13
21	53760	44058,7107	-40941,3	51	134400	81720,41804	-3279,58
22	56448	45803,6102	-39196,4	52	137088	82529,53109	-2470,47
23	59136	47509,6381	-37490,4	53	139776	83314,61108	-1685,39
24	61824	49177,3931	-35822,6	54	142464	84076,05459	-923,945
25	64512	50807,466	-34192,5	55	145152	84814,25272	-185,747
26	67200	52400,4394	-32599,6	56	147840	85529,59111	529,5911
27	69888	53956,8881	-31043,1	57	150528	86222,45009	1222,45
28	72576	55477,3792	-29522,6	58	153216	86893,20465	1893,205
29	75264	56962,4722	-28037,5	59	155904	87542,22459	2542,225
30	77952	58412,719	-26587,3	60	158592	88169,87455	3169,875



**Figura 27: Payback do investimento.**

Através da figura 27 é possível verificar que o período de retorno do investimento seria de 56 meses, ou 4 anos e 8 meses.

**Tempo de retorno se o projeto for implantado quando a cobrança pela captação de água começar:**

Estimou-se o preço a ser pago pela indústria pela captação de água e lançamento de seus efluentes.

$$\text{Valor (R\$)} = [P_{\text{cap}} \cdot Q_{\text{cap}} \cdot K_{\text{enq}} + P_{\text{con}} \cdot Q_{\text{con}} + (P_{\text{DBO}} \cdot \text{DBO} + P_{\text{MS}} \cdot \text{MS} + P_{\text{X}} \cdot \text{X}) K_{\text{enq}}] K_{\text{S}} - V_{\text{produtor de água}}$$

(5)

Os valores atuais para Q<sub>cap</sub>, Q<sub>lan</sub>, Q<sub>con</sub>, DBO e MS estão na tabela 17.

**Tabela 19: valores atuais para vazões, DBO e MS.**

Qcap (m <sup>3</sup> /ano)	2160000
Qlan (m <sup>3</sup> /ano)	1368000
Qcon (m <sup>3</sup> /ano)	792000
DBO (mg/l)	15
MS (ml/l)	0

Sendo o valor calculado de R\$ 122.796,00 por ano.

Com o projeto de minimização e recirculação do efluente, os valores passam a ser os apresentados na tabela 18.

**Tabela 20: valores para vazões, DBO e MS com o sistema de reciclo.**

Qcap (m <sup>3</sup> /ano)	2044800
Qlan (m <sup>3</sup> /ano)	1137600
Qcon (m <sup>3</sup> /ano)	907200
DBO (mg/l)	15
MS (ml/l)	0

Sendo um valor a ser pago de R\$ 115.538,00 por ano. Portanto com o sistema implantado, a Indústria teria um lucro de R\$ 7.257,00 por ano.

Baseado nesses valores, montou-se um fluxo de caixa, onde é possível perceber que o tempo de retorno do investimento seria de 33 meses, ou 2 anos e 9 meses.

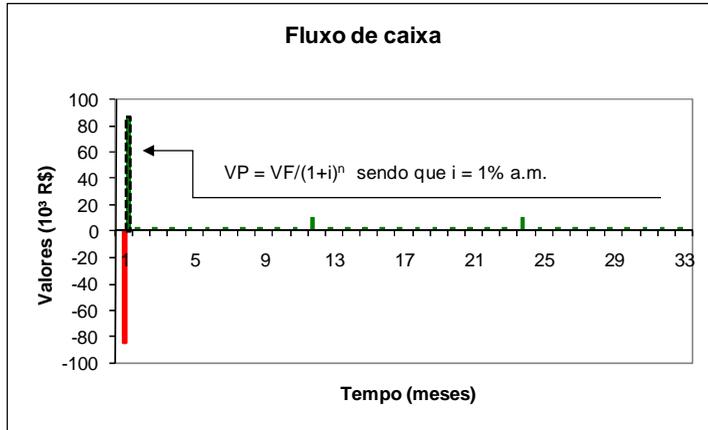


Figura 28: Fluxo de caixa, mostrando o tempo de retorno do investimento.

## 6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho analisou o efluente gerado no processo de lavagem dos filtros da ETA Karsten S.A e concluiu que existe viabilidade técnica e econômica para reduzir a quantidade de efluente gerada bem como recircular a água de lavagem para o início da ETA.

Constatou-se que a carreira de filtração utilizada atualmente é muito baixa, gerando desperdício de água de 320 m<sup>3</sup>/dia.. Uma das mais urgentes mudanças a serem feitas é o aumento dessa carreira de filtração, com devido monitoramento da eficiência dos filtros.

A opção de alimentar continuamente a ETA com a água de lavagem dos filtros foi considerada mais adequada para o reciclo do efluente, Este sistema gera menos trabalho aos operadores e como a vazão recirculada é menor que 10% da vazão de entrada da ETA, não há mudança na dosagem dos produtos químicos e dificilmente haverá alteração na qualidade da água tratada.

A implantação do sistema tem um enorme ganho ambiental Quanto à questão econômica, a ação de minimização evitaria o desperdício de água tratada, fazendo com que se produza mais água pelo mesmo custo, sendo economicamente muito vantajoso. Já para o sistema de reciclo, talvez num primeiro momento não compensasse o gasto da implantação

do projeto. Porém a cobrança pelo uso da água faz parte da construção do plano de recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, segundo a Resolução 17/2001 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Por isso, a equipe do Projeto Piava, responsável pela elaboração do plano de recursos hídricos da bacia do Itajaí, está também desenvolvendo os estudos necessários para a implantação dos demais instrumentos da política nacional de recursos hídricos, entre eles a cobrança pelo uso da água. Assim sendo, a partir do momento que a captação da água passar a ser cobrada, valerá à pena, não só ambiental, mas também economicamente, todo projeto de reúso e economia de água.

Um aspecto de grande importância no sucesso de um sistema de recuperação da água de lavagem é a conscientização da equipe de operação da ETA e de todos os colaboradores e diretoria da empresa.

Recomenda-se a continuação dos estudos quanto a:

- destinação do lodo retirado dos decantadores. Este lodo deve ser tratado na estação de tratamento de esgoto. A caracterização e quantificação do lodo gerado na ETA são importantes para a operação do sistema de tratamento.
- qualidade da água de lavagem recirculada. Durante a recirculação da água de lavagem dos filtros, deve-se monitorar a sua qualidade, pois constituintes indesejáveis tais como cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*, manganês e sólidos podem interferir negativamente na mesma.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Sistemas de Gestão Ambiental. **Especificações e diretrizes para uso - NBR 14001**. Rio de Janeiro, 1996.
- ABNT NBR 12 216. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ARAÚJO, A. F. **A aplicação da metodologia de produção mais limpa**: estudo em uma empresa do setor de construção civil. Dissertação de Mestrado, Florianópolis, 2002.
- ARAÚJO, Maria Cristina Cabral da Costa. **Mapeamento da Qualidade Ambiental das Organizações Privadas de Santa Catarina – ISO 14000 e Produção mais Limpa**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)
- BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da agenda 21**. Rio de Janeiro: Vozes, 1998.
- BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Carlos: RIMA Editora, 2005. v. 02.
- BRAUN, R. **Desenvolvimento ao ponto sustentável**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.
- CARDOSO, Antonio Pedro Gomes. **Análise da Produção mais Limpa na Região Sul do Brasil a partir do Prêmio Expressão da Ecologia**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Disponível em: [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br). Acesso em: 15 set. 2009.
- CMMAD – Comissão Mundial sobre o meio ambiente e desenvolvimento, **Nosso Futuro Comum**, 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1991.
- CNTL (Centro Nacional de Tecnologias Limpas). **Como Implementar Produção Mais Limpa**. Disponível em: [www.rs.senai.br/cntl](http://www.rs.senai.br/cntl)> Acesso em: 15 set. 2009.

- CONAMA, 1986. **Resolução CONAMA No 20**, de 18 de junho de 1986. Brasília-DF. (Brasil), Conselho Nacional de Meio Ambiente
- CORNWELL, D.A., LEE, R.G. **Waste stream recycling: it's effect on water quality**. Journal American Water Works Association, p. 50-63, November. 1994.
- CORRÊA JR. B.; FURLAN, L. T., **Redução do Consumo de Água e da Vazão de Efluentes Através do Gerenciamento das Fontes e Reutilização de Águas – a Experiência de Paulínia**. Petro & Química, nº251, agosto de 2003.
- DI BERNARDO, L.; Di BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos,SP, 2002.
- DI BERNARDO. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. PROSAB 3. Rio de Janeiro, ABES, Rima, 2003.
- FERREIRA FILHO, S. S. e SOBRINHO, P. A.. **Considerações Sobre o Tratamento de Despejos Líquidos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. S. d.
- FERREIRA FILHO, S. S. e SOBRINHO, P. A., **Considerações sobre o tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. Revista Engenharia Sanitária e ambiental, Vol 3, nº 3 e 4 , 1998.
- FIESC (Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina). **Santa Catarina em Dados**. V.19, p.1 – 136. 2009.
- GIL, A. C. Como **elaborar um projeto de pesquisa científica**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer uma pesquisa qualitativa em ciências sociais**. Rio de Janeiro: Record, 2007.

- KAWAMURA, S., **Integrat design of water treatment facilities**, New York, John Wiley & Sons, Inc, 1991.
- KNUTH, Katia Regina. **Gestão Ambiental: Um Estudo de Caso para o Setor Têxtil – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- Lei Federal nº 9.433 – **Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília, 1997.
- LEINZ, Viktor; AMARAL, Sérgio Estanislau do. **Geologia Geral**. 10ª ed. Revisada. São Paulo: Ed.Nacional, 1987
- MARTINS, M. V. L.; ASTORGA, O. A. M.; SILVEIRA, J. L.. **Conservação de Água na Indústria**. Rev. ciênc. exatas, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 107-113, 2006.
- MENEZES, A. C. L. S. M.; GADELHA, C. L. M.; SILVA JUNIOR, W. R.; MACHADO, T. T. V.; ALMEIDA, T. M. V.. **Caracterização da água de lavagem de uma estação de tratamento de água, com vistas ao reúso**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, (Suplemento), p.191-196, 2005.
- MONTIBELLER-FILHO, Gilberto. **O Mito do Desenvolvimento Sustentável: Meio Ambiente e Custos Sociais no Moderno Sistema Produtor de Mercadorias**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.
- MORAN, C.; HALL, M.E.; HOWELL, R.; **Effects of sewage treatment on textile effluent**. Journal of the Society of Dyers and Colourists, n. 113, p. 272-274, 1997.
- SENAI/RS (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/Departamento Regional do Rio Grande do Sul). **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre: CNTL/SENAI-RS/UNIDO/UNEP, 2003.
- SILVA, Áurea da. **Gestão da Produção Mais Limpa: O Caso Weg**. 2004. 183 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SOUZA, F. G. C; CORDEIRO, J. S. **Resíduos Gerados em Estação de Tratamento de Água com Descargas Diárias**. Universidade de São

Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento. S.d.

SOUZA FILHO, A. G.; DI BERNARDO, L.. **Caracterização e Clarificação da Água de Lavagem dos Filtros de uma ETA que Utiliza Cloreto Férrico** como Coagulante Primário. 20o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. S.d.

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO; José M. de. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1991.

SENAI/RS (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/Departamento Regional do Rio Grande do Sul). **Produção mais Limpa em Confecções**. Porto Alegre: CNTL/SENAI-RS/UNIDO/UNEP, 2007.

SOUZA, J.L., LIMA, J.M.A. **Uso do quiabo como auxiliar de floculação**. In: XXV CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, Cidade do México, 03/11/1996 a 07/11/1996.

TALARPOSHTI, A. M.; DONNELLY, T.; ANDERSON, G. K., **Colour Removal From a Simulated Dye Wastewater Using a Twophase Anaerobic Packed Bed Reactor**. Water Research, 35, p. 425-432, 2001.

TWARDOKUS, R. G. **Reúso de água no processo de tingimento da indústria têxtil**. Florianópolis – SC, UFSC, 2004.

UNESCO. **A Ética do Uso da Água Doce: um Levantamento**. Cadernos UNESCO Brasil – Série Meio Ambiente, Vol. 3. 2001.

USEPA, **Filter Backwash Recycling Rule**. 2002.