

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Daniel Ernesto Otárola Tasaico

*Desenvolvimento de Processos Compactos para o
Tratamento das Águas Residuárias da Indústria
do Mármore e Granito*

VITÓRIA

2007

Daniel Ernesto Otárola Tasaico

*Desenvolvimento de Processos Compactos para o
Tratamento das Águas Residuárias da Indústria
do Mármore e Granito*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves.

VITÓRIA

2007

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

T197d Tasaico, Daniel Ernesto Otárola, 1965 -
Desenvolvimento de Processos Compactos para o Tratamento das
Águas Residuárias da Indústria do Mármore e Granito / Daniel Ernesto
Otárola Tasaico. – 2007.
97 f. : il.

Orientador: Ricardo Franci Gonçalves.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo,
Centro Tecnológico.

1. Mármore – Indústrias. 2. Granito – Indústrias. 3. Águas residuais –
Purificação – Filtração. I. Gonçalves, Ricardo Franci. II. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

Daniel Ernesto Otárola Tasaico

*Desenvolvimento de Processos Compactos para o
Tratamento das Águas Residuárias da Indústria
do Mármore e Granito*

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisição parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada em ___ de ___ de _____.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves
Orientador - UFES

Prof. Sérgio Túlio Cassini
Examinador Interno - UFES

Prof. Tsunao Matsumoto
Examinador Externo – UNESP

Aos meus pais, Moisés e Aída,
meu exemplo na vida. A minha
avó, Delia, que sempre confiou
em mim. A Martha, minha esposa
e Mauricio, meu filho, meus
grandes amores nesta vida.

Agradecimentos

Aos meus pais pelo apoio incondicional.

A minha esposa que sempre acredita em mim.

A minha família, que está aqui no meu coração.

A todas minhas amigas da UFES pela gentileza em me receber e acolher. Dentre elas em especial a Marjorye, por sua disposição em colaborar comigo e pela disciplina e entrega em todas as coisas que faz.

A Ricardo pelas orientações e conselhos sempre oportunos, e pela ajuda quando foi necessária.

A José Mauro e a Sanevix pela paciência e ajuda no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Banco do Nordeste pelo apoio financeiro.

A CIBA e a IWT, representante seu no Rio de Janeiro, pelo material de pesquisa enviado (obrigado Valéria, Gustavo e Rafael).

A Vitória Stone, Dacaza e Becamar pelas facilidades para realizar os testes.

A Allonda pelo apoio nas pesquisas.

À banca de defesa, professores Servio Túlio Alves Cassini e Tsunao Matsumoto, pela gentileza em julgar meu trabalho.

“O temor de Jeová é o princípio do conhecimento.
Sabedoria e disciplina são o que os meros tolos têm
desprezado.”

(Prov. 1: 7)

Resumo

A Indústria do Mármore e Granito (IMG), fonte de riqueza e trabalho para o Brasil enfrenta o problema da geração de grande quantidade de resíduos e de um inadequado gerenciamento da água. Os processos de tratamento dos efluentes deste setor enfrentam os elevados custos dos melhores equipamentos e da área requerida para sua implantação. Buscando dar uma solução alternativa que seja mais simples e barata, esta pesquisa analisou o desempenho da decantação lamelar de fluxo ascendente e a utilização das bolsas filtrantes. É um primeiro passo no intuito de tratar as águas residuárias da IMG com eficiência e simplicidade. Testou-se um decantador lamelar de fluxo ascendente de $0,25 \text{ m}^2$ de seção com efluente proveniente do polimento de chapas de granito para taxas de aplicação em torno de 80, 150 e $200 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, obtendo as melhores eficiências de remoção de sólidos sedimentáveis, perto de 90%, para a menor taxa. As bolsas filtrantes, fabricadas de polipropileno de alta resistência, foram testadas com efluentes do polimento e misturas de efluentes da serragem e polimento, em duas proporções. As eficiências de remoção de sólidos suspensos resultaram ao redor de 98%. A umidade dos sólidos capturados pela bolsa atingiu 34,1% no caso do polimento e 43,8% para a mistura (60% polimento – 40% serragem), em sete dias. Estes resultados mostram que os processos podem ser aplicados aos referidos efluentes obtendo água tratada apta para reuso nos mesmos processos produtivos da IMG e que os sólidos retidos dentro das bolsas filtrantes atingem rapidamente valores de umidade que possibilita seu descarte em aterros. Além disso, pode se pensar na mesma bolsa filtrante como destinação final dos sólidos. Ou mesmo, o lugar de estocagem temporário até o reaproveitamento do resíduo em outros processos produtivos.

Abstract

The Marble and Granite Industry, source of income and work for Brazil, faces the problem of the generation of a great amount of residues and of an inadequate water management. The treatment processes of the effluents face to the high costs of the use of best equipments and of the area requirement for its implantation. Searching for an alternative solution that is simplest and cheaper, this research analyzed the performance of the up flow high rate settler and the use of filter bags. It is a first step in the intention of treating the waste waters of the Marble and Granite Industry with efficiency and simplicity. It was tested an up flow high rate settler with 0,25 m² of the area section with effluent from the burnishing of granite plates to application rates around 80, 150 and 200 m³/m².day, obtaining the best efficiencies of settling solids, close to 90%, for the minor rate. The filter bags, made of high resistance polypropylene, were tested with effluent from burnishing and mixtures of effluents coming from cutting and burnishing, in two proportions. The efficiencies of suspended solids removal resulted around 98%. The humidity of captured solids by the bag reached 34,1% in the case of burnishing and 43,8% for the mixture of 60% burnishing – 40% cutting, in seven days. These results show that the processes can be applied to the mentioned effluents, getting treated water able to be reused in the same processes of the Marble and Granite Industry, and that the solids inside the filter bags reach quickly humidity values that makes possible its discarding in landfills. It can be thought of the bag as the final destiny of the solids, since at the finish of the filter process it does not exists danger of infiltration of the liquid in the land. Or it can be the place of temporary stocking until the reuse of these wastes in other productive processes.

Lista de figuras

Figura 3.1 – Consumo por setores de mármore e granitos no mundo.....	26
Figura 3.2 – Consumo por setores de mármore e granitos no Brasil.....	26
Figura 3.3 – Principais estados exportadores brasileiros em valor.....	27
Figura 3.4 – Principais estados exportadores brasileiros em volume.....	28
Figura 3.5 – Fases típicas do beneficiamento com a adição de insumos e pontos de emissão de poluentes.....	28
Figura 3.6 – Fórmula do monômero de acrilamida.....	43
Figura 3.7 – Polimento de chapas de granito.....	45
Figura 3.8 – Canaleta de saída do efluente das politrizes.....	45
Figura 3.9 – Sistema de adição do polímero ao efluente (balde e torneira).....	46
Figura 3.10 – Sistema típico de sucessivos tanques de decantação para sedimentação dos sólidos dos efluentes.....	46
Figuras 3.11 – Estação de tratamento.....	47
Figura 3.12.– Lay-Out do sistema italiano para tratamento dos efluentes da IMG....	48
Figura 3.13. – Decantadores verticais e tanques de água de reúso.....	49
Figura 3.14. – Efeito da introdução de lâminas intermediárias de sedimentação nos decantadores convencionais.....	51
Figura 3.15 – Modelo de sedimentação entre placas.....	52
Figuras 3.16 – Fluxograma típico de operação das bolsas filtrantes.....	55
Figura 3.17 – Seqüência de operação das bolsas filtrantes.....	55
Figura 3.18 – Bolsas filtrantes em operação.	55
Figura 3.19 – Formação da Torta Filtrante e variação da umidade dentro da bolsa.	56
Figura 3.20 – Primeira fase do processo: enchimento da bolsa filtrante com o efluente.....	57
Figura 3.21 – Segunda fase: Desaguamento ou desidratação.....	57
Figura 3.22 – Fase de consolidação: extração dos sólidos retidos e desidratados...58	
Figura 4.1 – Decantador utilizado e efluente coletado em tambor graduado	61
Figura 4.2 – Vista lateral e frontal do decantador utilizado.....	62
Figura 4.3 – Lamelas no interior do decantador.....	62
Figura 4.4 –Tambor graduado para medir a vazão no decantador pelo método volumétrico.....	63

Figura 4.5 – Chapa resinada e saída do segundo polimento	64
Figura 4.6 – "Jar-Test" dos efluentes e preparação do polímero	65
Figura 4.7 – Floculação das amostras de lama de polimento com IFLOC 104 e 105.....	67
Figura 4.8 – Comparação da lama bruta do polimento com as amostras após adição dos polímeros.....	67
Figura 4.9 – Floculação e sedimentação das amostras do efluente do polimento com LT 30.....	68
Figura 4.10 – Floculação do efluente da serragem e sedimentação dos flocos.....	68
Figura 4.11 – Bolsa pendurada para teste.....	69
Figura 4.12 – Adição do polímero à lama e amostras do filtrado coletadas em diversos espaços de tempo	70
Figura 4.13 – Sólidos retidos da mistura 80% polimento – 20% serragem	71
Figura 5.1 – Turbidez antes e depois do decantador (taxa em torno de 80 m ³ /m ² .dia)	74
Figura 5.2 – SSed antes e depois do decantador (taxa em torno de 80 m ³ /m ² .dia..	74
Figura 5.3 – Turbidez antes e depois do decantador (taxa em torno de 150 m ³ /m ² .dia)	75
Figura 5.4 – SSed antes e depois do decantador (taxa em torno de 150 m ³ /m ² /dia).....	76
Figura 5.5 – Turbidez antes e depois do decantador (taxa em torno de 200 m ³ /m ² .dia)	77
Figura 5.6 – SSed antes e depois do decantador (taxa em torno de 200 m ³ /m ² .dia).....	77
Figura 5.7– Box Plot dos resultados de turbidez antes e depois do decantador	78
Figura 5.8 – Box Plot dos valores de SSed antes e depois do decantador.....	78
Figura 5.9 -- Turbidez remanescente segundo dosagem de diferentes polímeros....	80
Figura 5.10 -- Turbidez remanescente vs dosagem para os polieletrólitos IFLOC 104 BT e IFLOC 300.....	81
Figura 5.11 -- Turbidez remanescentes para diferentes dosagens de IFLOC 104 BT.....	82
Figura 5.12 – Mistura de 60% lama polimento e 40% lama serragem antes e depois da floculação com a adição de polímero	83
Figura 5.13 – Eficiência de remoção de SST pelo tempo de filtração	84

Figura 5.14 – Aspecto do líquido filtrado no início do teste da bolsa de pendurar	85
Figura 5.15 – Final do teste da bolsa de pendurar	85
Figura 5.16 – Início do teste com a mistura de efluentes	87
Figura 5.17 – Eficiência de remoção de SST pelo tempo transcorrido na mistura 80% polimento – 20% serragem.....	88
Figura 5.18 – Lay Out do Tratamento dos efluentes da IMG utilizando bolsas filtrantes	90
Figura 5.19 – Lay Out do tratamento dos efluentes do polimento na IMG	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Características de alguns polieletrólitos testados.....	65
Tabela 4.2 – Polieletrólitos e volumes adicionados às amostras de lamas para uma adequada floculação.....	66
Tabela 5.1 – Resultados para taxa em torno de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$	73
Tabela 5.2 – Resultados para taxa de aplicação em torno de $150 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$	75
Tabela 5.3 – Taxa de aplicação em torno de $200 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$	76
Tabela 5.4 – Eficiência de remoção SSed vs Taxa de Aplicação.....	79
Tabela 5.5 – Polieletrólitos utilizados no Jar-Test	80
Tabela 5.6 – Turbidez final segundo dosagem aplicada para dois polieletrólitos.....	81
Tabela 5.7 –Turbidez remanescente para diversas dosagens do polieletrólito IFLOC 104 BT.....	82
Tabela 5.8 – Dosagens de polímeros nos testes da bolsa de pendurar.....	83
Tabela 5.9 – Resultados de SST e Cloretos no filtrado da lama de Polimento	84
Tabela 5.10 – Valores de SST e Cloretos na mistura 60% polimento – 40% lama da serragem.....	86
Tabela 5.11 – Valores de SST e Cloretos na mistura 80% Polimento – 20% lama da serragem.....	87
Tabela 5.12 – Variação da umidade com o tempo transcorrido nos sólidos retidos da mistura e do polimento.....	89

Lista de siglas

ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
Cl ⁻	Cloro
ES	Espírito Santo
G	Gradiente de Velocidade
IMG	Indústria do Mármore e Granito
LABSAN	Laboratório de Saneamento da UFES
LT	Low Toxicity
NBR	Norma Brasileira Registrada
UT	Unidades de turbidez
PAC	Policloreto de Alumínio
pH	Potencial Hidrogeniônico
SSed	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos
ST	Sólidos Totais
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UNEP	United Nations Environmental Program
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization

Sumário

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 AS ROCHAS ORNAMENTAIS	21
3.1.1 Granitos	22
3.1.2 Mármore e Calcários	23
3.1.3 Quartzitos	23
3.1.4 Ardósias	23
3.2 O MERCADO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS.....	24
3.2.1 Cenário Mundial	24
3.2.2 Cenário Brasileiro	25
3.3 A INDÚSTRIA DO MÁRMORE E GRANITO	26
3.3.1 Cenário Brasileiro	26
3.3.2 O Panorama no Espírito Santo	27
3.4 PROCESSOS PRODUTIVOS NA IMG	28
3.4.1 Fases do Beneficiamento das Rochas Ornamentais	28
3.4.1.1 Serragem em Teares.....	30
3.4.1.2 Polimento	30
3.5 IMPACTOS AMBIENTAIS NA IMG	31
3.5.1 Resíduos Sólidos	31
3.5.1.1 Classificação de Resíduos Sólidos Industriais	32
3.5.1.2 Resíduos Sólidos na IMG.....	32
3.5.2 Resíduos Líquidos	33
3.5.2.1 Resíduos Líquidos na IMG	34
3.5.3 Emissões Atmosféricas	35
3.5.3.1 Classificação	35

3.5.3.2 Emissões Atmosféricas na IMG	35
3.6 PRÁTICAS PARA MITIGAÇÃO DE IMPACTOS	36
3.6.1 Produção mais Limpa	36
3.6.2 Gerenciamento de Resíduos Sólidos.....	38
3.6.3. Gerenciamento de Resíduos Líquidos	39
3.6.3.1 Monitoramento de Efluentes.....	40
3.6.3.2 Tratamento de Efluentes Industriais	41
3.6.4 Gerenciamento de Emissões Atmosféricas.....	41
3.7 POLÍELETRÓLITOS.....	42
3.7.1 Considerações Teóricas	42
3.8 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA IMG	44
3.8.1 Tecnologias para viabilizar reúso.....	44
3.8.1.2 Sistema de Bacias de Decantação.....	44
3.8.1.3 Sistema de Decantadores Verticais.....	47
3.9 NECESSIDADE DE NOVAS TECNOLOGÍAS	50
3.9.1 Tratamento.....	50
3.9.1.1 Sistemas Alternativos: Decantador Lamelar ou de Alta Taxa de Fluxo Ascendente e "Bolsa Filtrante"	50
3.9.1.1.1 <i>Decantador Lamelar ou de Alta Taxa de Fluxo Ascendente</i>	50
3.9.1.1.2 <i>Bolsas Filtrantes</i>	54
3.10 CENTRAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA IMG.....	58
 4. MATERIAL E MÉTODOS	 60
4.1 INFORMAÇÕES PRELIMINARES	60
4.2 ETAPA 1: DECANTADOR LAMELAR DE FLUXO ASCENDENTE.....	61
4.2.1 Protótipo Estudado	61
4.2.2 Processo de Polimento que gera o Efluente Testado	63
4.3 SEGUNDA ETAPA: ESCOLHA DO MELHOR POLÍMERO	64
4.3.1 Preparo dos Polímeros	64
4.3.2 Escolha do Melhor Polímero para o Efluente Estudado	64
4.4 ETAPA 3: TESTE DA BOLSA DE PENDURAR	68
4.5 QUARTA ETAPA: ANÁLISES DOS SÓLIDOS RETIDOS E DO FILTRADO DA BOLSA DE PENDURAR	70

4.5.1 Umidade dos Sólidos Retidos na Bolsa	70
4.5.2 Metodologia das Análises Laboratoriais	71
4.5.3 Monitoramento Físico - Químico	71
4.6 AMOSTRAGEM	72
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5.1 PRIMEIRA ETAPA: TESTES COM O SEDIMENTADOR LAMELAR DE FLUXO ASCENDENTE.....	73
5.2 ETAPA 2: TESTE DA BOLSA DE PENDURAR	80
5.2.1 Polímeros Utilizados para os Testes da Bolsa de Pendurar	80
5.3 TERCEIRA ETAPA: ANÁLISES DO FILTRADO E DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	84
5.3.1 Análises do Filtrado da Lama de Polimento no Teste da Bolsa de Pendurar	84
5.3.2 Análises das Misturas	86
5.3.2.1 Mistura 60% Polimento - 40% Serragem.....	86
5.3.2.2 Mistura 80% Polimento - 20% Serragem.....	87
5.3.3 Variação da Umidade dos Sólidos Retidos na Bolsa de Pendurar.....	89
6. CONCLUSÃO	92
7. RECOMENDAÇÕES	93
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

1. INTRODUÇÃO

A Indústria de Mármore e Granito (IMG) é uma importante fonte de recursos para o Brasil. Gera emprego, divisas para a economia brasileira e supre as necessidades da utilização de rochas ornamentais nos mercados interno e externo. Porém os métodos de extração, desdobramento e acabamento do material geram sérios impactos ambientais. A lama produzida nos processos produtivos é altamente poluente. Além disso, a tendência ambientalmente correta em qualquer atividade produtiva compreende no correto gerenciamento dos recursos hídricos, poupando sua utilização e propiciando o reuso, recurso que a IMG utiliza em grande quantidade.

O presente trabalho estuda a possibilidade de utilização de dois sistemas de separação dos sólidos presentes nas lamas da IMG: as bolsas filtrantes e os decantadores lamelares de fluxo ascendente visando desenvolver sistemas compactos para o tratamento dos efluentes gerados na produção de rochas ornamentais. Um sistema com estas características significa que ocupará uma área relativamente pequena e será mais simples de operar e manter, conduzindo a uma redução nos custos de instalação e operação.

Atualmente existem muitas pesquisas para a utilização do resíduo sólido das lamas da IMG. Porém muitas vezes é exigido um teor de umidade específico para sua utilização. Na realidade, muitas empresas ainda não estão cientes da importância de uma destinação final de tais resíduos em consonância com a responsabilidade ambiental. Além do mais foi analisada uma opção para o confinamento temporário ou final dos resíduos sólidos extraídos.

Finalmente a grande maioria das empresas da IMG é de pequeno e médio porte para as quais os investimentos em equipamentos de tratamento representam significativamente nas suas receitas, implicando na sobrevivência no mercado. Isto não exime nenhuma empresa da responsabilidade com o meio ambiente, mas apresenta um desafio para os pesquisadores em

desenvolver alternativas econômicas e em consonância com o desenvolvimento sustentável.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo geral desenvolver sistemas compactos para tratamento das águas residuárias da Indústria de Mármore e Granito (IMG), promovendo a reutilização da água e a destinação final dos resíduos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são

- Estudar o comportamento da decantação lamelar de fluxo ascendente com as águas residuárias da IMG obtendo valores de eficiências de remoção de sólidos.
- Estudar a separação sólido-líquido das águas residuárias da IMG em as bolsas filtrantes.
- Comparar as eficiências de remoção dos sólidos utilizando o decantador lamelar de fluxo ascendente e as bolsas filtrantes.
- Estabelecer a melhor dosagem de polímeros para ser utilizados na bolsa filtrante.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. AS ROCHAS ORNAMENTAIS

O termo “rochas ornamentais” refere-se “[...] as rochas que podem ser extraídas em blocos ou placas, cortadas em formas variadas e que têm suas faces beneficiadas por meio de esquadreamento, polimento, lustro, apicoamento e flameamento” (DESCHAMPS *et al.*, 2002). São considerados dentro deste grupo os mármore, travertinos, granitos, ardósias, quartzitos, serpentinitos, basaltos, pedra-sabão e outros (DA SILVA; AMARANTE; SEIXAS. 2003).

Comercialmente, as rochas ornamentais dividem-se em mármore e granito. Os mármore compreendem as rochas carbonáticas, que “[...] é um calcário metamórfico cristalino, basicamente constituído por calcita (CaCO_3)” e os granitos são rochas silicáticas “[...] constituída principalmente por feldspatos, quartzo e micas” (SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS, SBRT, 2006).

Para fins de revestimento são mais utilizadas as rochas isótropas, sem orientação preferencial dos constituintes mineralógicos, chamadas de homogêneas. As anisótropas, com desenhos e orientação mineralógica (designadas como “movimentadas”) são preferidas para peças isoladas (ABIROCHAS, 2004).

O padrão cromático influi muito na valorização da rocha. A partir deste ponto de vista os materiais se classificam em:

- **Clássicos:** que não sofrem influência de modismos e incluem mármore vermelho, branco, amarelo e negro além de granito negro e vermelho.
 - **Comuns:** Preferidos em obras de revestimento, abrangem mármore bege e acinzentado, granito acinzentado, rosado e amarronzado.
 - **Excepcionais:** Normalmente utilizados para peças isoladas e pequenos revestimentos, incluindo mármore azul, violeta e verde, granito azul, amarelo, multicores e branco.
-

São conhecidas como “rochas processadas especiais” aquelas que recebem algum tipo de tratamento de superfície (polimento e lustro, por exemplo) e são calibradas. Estão inclusos aqui os mármore, granitos, quartzitos maciços e serpentinitos. (ABIROCHAS, 2004).

As “rochas processadas simples” são aquelas utilizadas com superfícies naturais em peças não calibradas e que foram extraídas sem dar tratamento a sua superfície. Este é o caso dos quartzitos foliados (pedra São Tomé, pedra mineira, pedra goiana, etc.), da pedra Cariri, dos basaltos gaúchos, da pedra Miracema, da pedra Macapá, da pedra Morisca, etc. (ABIROCHAS, 2004).

3.1.1. Granitos

Este termo abrange uma gama de rochas silicáticas (monzonitos, granodioritos, charnockitos, sienitos, dioritos, diabásios/basaltos e os próprios granitos). Os minerais predominantes são os quartzos, feldspatos, micas e anfibólios (ABIROCHAS, 2004).

O quartzo é um mineral incolor ou fume, geralmente translúcido, podendo-se achar na cor azulada. Os feldspatos (microclínio, ortoclásio e plagioclásios) são os principais responsáveis das cores avermelhada, rosada e creme-acinzentada nos granitos homogêneos (isótopos) e heterogêneos (anisótopos). É o mineral predominante no granito, pode ser branco, leitoso, róseo, amarelado ou cinzento. (GONÇALVES, 2000). Os minerais máficos (silicatos ferro-magnesianos), sobretudo anfibólio (hornblenda) e mica (biotita) conferem a cor negra das rochas silicáticas. Os granitos claros (leucocráticos) tem menor quantidade de minerais ferro-magnesianos e entre 85% - 95% de quartzo e feldspato na sua composição. A textura é dada pela granulometria e estrutura dos cristais, sua estrutura é definida pela distribuição desses cristais (ABIROCHAS, 2004).

3.1.2. Mármore e Calcários

As rochas carbonáticas abrangem principalmente calcários (rochas sedimentares compostas principalmente de calcita – CaCO_3) e dolomitos (rochas sedimentares compostas principalmente por dolomita – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). O termo mármore “[...] é utilizado para designar todas as rochas carbonáticas, metamórficas ou não, capazes de receber polimento e lustro” (ABIROCHAS, 2004).

3.1.3. Quartzitos

São “[...] rochas metamórficas com textura sacaróide, derivadas de sedimentos arenosos, formadas por grãos de quartzo recristalizados e envolvidos ou não por cimento silicoso” (ABIROCHAS, 2004). Os minerais que se apresentam com eles normalmente são as micas (filossilicatos), zircão, magnetita/ilmenita e hidróxidos de ferro e de manganês, outorgando aos quartzitos características diferentes segundo a presença destes minerais acessórios (padrão cromático e textura).

3.1.4. Ardósias

São tipos de rochas metassedimentares, de baixo grau metamórfico, formadas por seqüências argilosas e síltico-argilosas. O termo designa aquelas que têm planos preferenciais de partição paralelos. São constituídas por mica branca fina (sericita), quartzo, clorita e grafita. Noventa por cento da produção brasileira vem de Minas Gerais, sendo o principal produto as lajotas para revestimento de pisos (70% dos 15 milhões de m^2 de chapas elaboradas anualmente) (ABIROCHAS, 2004).

3.2. O MERCADO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

3.2.1. Cenário Mundial

Estima-se que a produção mundial de rochas ornamentais seja de 69 milhões de ton/ano. Em 2001 ocorreu um crescimento de 7,6 % em relação a 2000, “[...] enquanto o comércio de rochas ornamentais expandiu-se 5,9%, alcançando 24,1 milhões de toneladas, equivalentes a 260 milhões de m² de material processado e acabado” (DA SILVA; AMARANTE; SEIXAS, 2003).

Liderando este cenário tem-se, em primeiro lugar a China, seguida da Itália e Índia, que em conjunto representam 37,3 milhões de toneladas da produção mundial. China, Itália, Índia e Espanha abrangem 54% da exportação mundial de rochas ornamentais, ocupando o Brasil o sétimo lugar com 4,4% do total mundial (DA SILVA; AMARANTE; SEIXAS, 2003). Segundo estimativas, o setor movimenta US\$ 40 bilhões/ano, incluindo as transações dos mercados internacionais, mercado interno, comercialização de máquinas, equipamentos, insumos e serviços, e se prevê, para o ano 2025, uma produção mundial de 320 milhões de ton/ano (FEIRA DO MARMORE, 2005). Esta quantidade pode se subdividir em US\$ 18 bilhões/ano nos mercados internos dos países produtores, US\$ 12 bilhões/ano com a comercialização de materiais brutos e beneficiados no mercado internacional e US\$ 10 bilhões/ano em negócios de máquinas, equipamentos, insumos, materiais de consumo e prestação de serviços (ABIROCHAS, 2006).

Do mercado mundial de rochas ornamentais e de revestimento os mármore e granitos abrangem 90% da produção mundial, sendo os 10% restantes a parcela correspondente a ardósias, quartzitos, pedra-sabão e outros (DA SILVA; AMARANTE; SEIXAS, 2003).

3.2.2 Cenário Brasileiro

A produção brasileira de rochas ornamentais pode ser estimada em 6 milhões ton/ano, incluídas 600 variedades comerciais, tendo 1500 frentes ativas de lavra (FEIRA DO MÁRMORE, 2005). O Brasil divide sua produção em granitos (57%), mármore e travertinos (17%), ardósias (8%) e aproximadamente 5% de rochas quartzíticas em geral. Existem mais de 11 000 empresas relacionadas ao mármore e granito no Brasil, gerando 114 000 empregos diretos, e originando um movimento de mais de US\$ 2 bilhões em transações comerciais nos mercados interno (85%) e externo (13%), incluindo negócios com máquinas e insumos (FEIRA DO MÁRMORE, 2005).

As exportações de rochas processadas representaram, em 2001, cerca de 30% do volume físico das exportações brasileiras, sendo seus principais clientes os Estados Unidos, Itália e Espanha, abrangendo cerca de 72% das exportações. Somente os Estados Unidos significaram, em 2001, 44% das exportações de rochas processadas (DA SILVA; AMARANTE; SEIXAS, 2003). O Brasil é o 5º maior exportador de rochas em volume físico, o 4º maior exportador de granitos brutos, o 8º maior exportador de rochas processadas especiais e o 2º maior exportador de ardósias, consumindo 49,1 milhões m²/ano (25kg per capita) de rochas ornamentais.

O faturamento das exportações brasileiras no setor de rochas ornamentais foi de US\$ 789,97 milhões no ano 2005, referentes à comercialização de 2.157.455,36 toneladas de rochas brutas e processadas, superando em 31,45% o faturamento de 2004 e em 17,23% o volume do material exportado no mesmo ano (ABIROCHAS, 2006, p. 2). Até Novembro de 2006 o Brasil tinha faturado US\$ 959,47 milhões pela comercialização de 2.368.429,68 toneladas de rochas ornamentais, superando em US\$ 169,5 milhões o total exportado em 2005 (ABIROCHAS, 2006).

3.3. A INDÚSTRIA DO MÁRMORE E GRANITO

3.3.1. Cenário Brasileiro

Aproximadamente 70% da produção mundial de mármore e granito é transformada em chapas para revestimento em edificações e produtos como ladrilhos. Destes, 15% são utilizados em arte funerária e 10% em estruturas e peças especiais, dependendo de diversas características como cor, homogeneidade, movimentação e beleza da destinação delas (DA SILVA; AMARANTE; SEIXAS, 2003). Nas figuras 3.1. e 3.2. podem-se verificar os consumos por setor dos mármore e granitos no mundo e no Brasil.

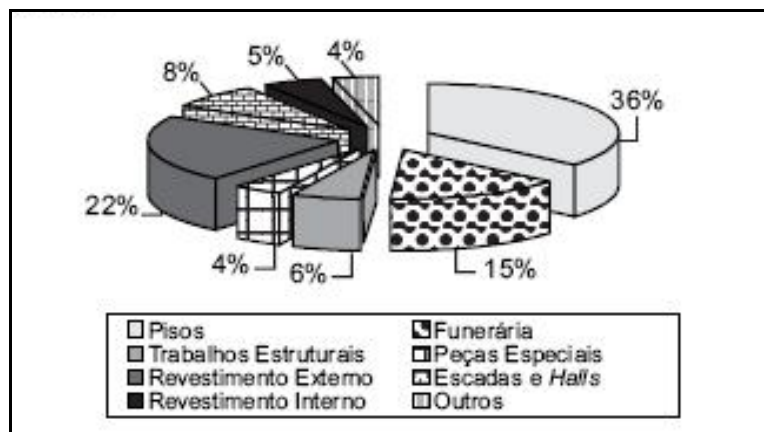


Fig. 3.1. Consumo por setores de Mármore e Granitos no mundo
Fonte: BNDES, Rochas Ornamentais: Exportações Promissórias

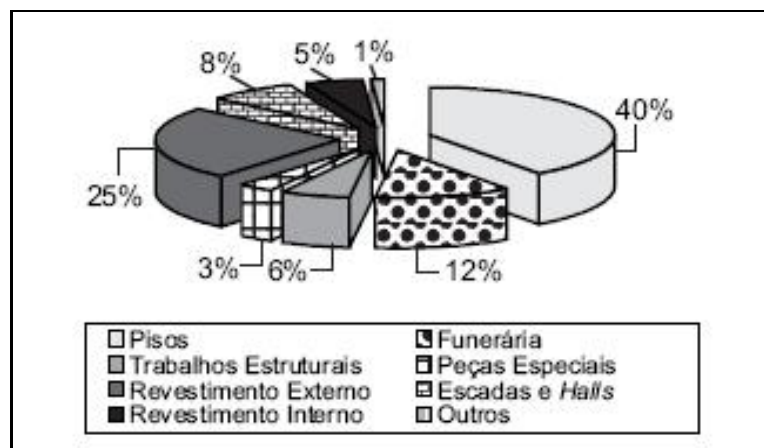


Fig. 3.2. Consumo por setores de Mármore e Granitos no Brasil.
Fonte: BNDES, Rochas Ornamentais: Exportações Promissórias

O país produz muitos tipos de granitos e mármore, de cores e qualidades diferentes. O mármore produzido não apresenta uma qualidade que confere competitividade internacional. Caso contrário acontece com os granitos, pois o Brasil produz pedras de maior qualidade e competitividade. Os estados com as maiores reservas de mármore no Brasil são: Espírito Santo, Bahia, Rio de Janeiro, Piauí e Paraná. As reservas de granitos são lideradas pelo Espírito Santo, seguido por Bahia, Minas Gerais, Ceará, Alagoas e Rio de Janeiro.

3.3.2. O Panorama no Espírito Santo

O estado do Espírito Santo é o principal produtor e exportador, no setor de rochas ornamentais do Brasil, representa 44% em valor e 47% em volume, seguido de Minas Gerais com 28% e 34%, respectivamente. O Espírito Santo é responsável por 56% da extração de granitos e 75% dos mármore do país (DA SILVA; AMARANTE; SEIXAS, 2003).

Pode-se observar a distribuição da produção dos estados brasileiros em valor e volume nas figuras 3.3.e 3.4

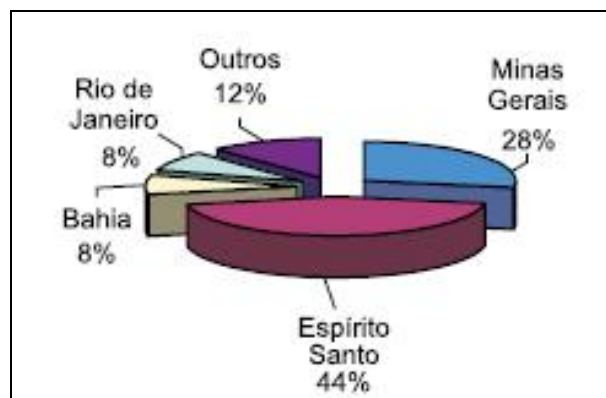


Fig. 3.3. Principais estados exportadores brasileiros em valor.
Fonte: BNDES, Rochas Ornamentais: Exportações Promissórias.

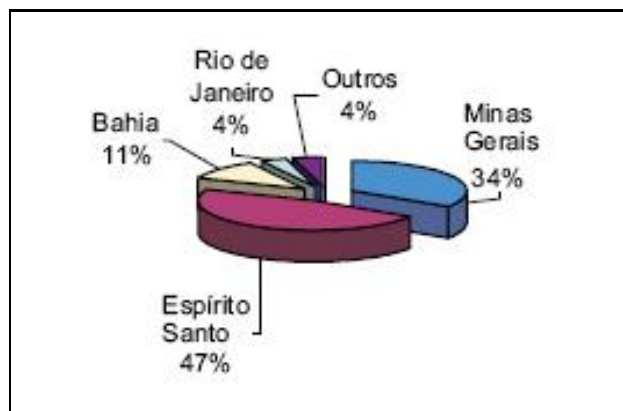


Fig. 3.4. Principais estados exportadores brasileiros em volume.
Fonte: BNDES, Rochas Ornamentais: Exportações Promissórias.

3.4. PROCESSOS PRODUTIVOS NA IMG

3.4.1. Fases do Beneficiamento das Rochas Ornamentais

A indústria de rochas ornamentais apresenta as seguintes fases de processamentos (Fig. 3.5.):

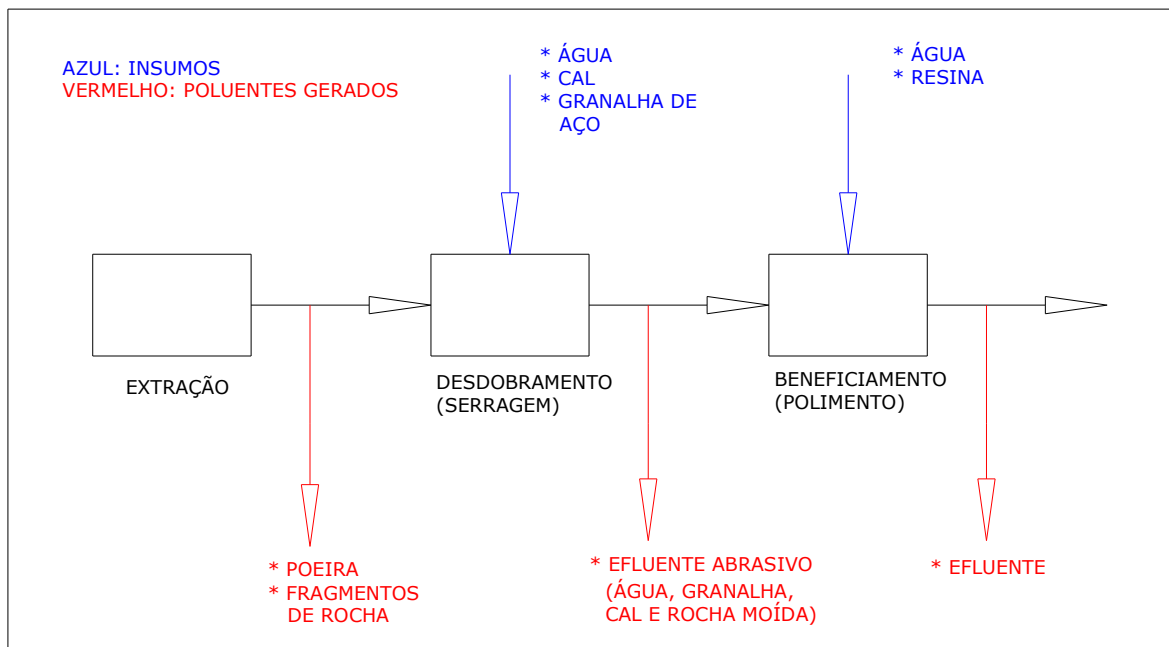


Fig. 3.5. Fases típicas do beneficiamento com a adição de insumos e pontos de emissão de poluentes.

a) Extração: Obtenção do material nas pedreiras. Algumas técnicas mais utilizadas nesta fase são:

- Corte com fio helicoidal: arames trançados fazendo cortes em diversas posições.
- Corte a fio diamantado: Utilizam um cabo de aço com pérolas adiamantadas, anéis, molas, separadores e uniões.
- Corte contínuo: Equipamento hidráulico ou pneumático sobre macacos hidráulicos e trilhos reguláveis ou sobre plataforma móvel.
- “Jet Flame”: Aquecimento e rápido resfriamento da zona de corte. Uso de explosivos em grandes volumes.

(GONÇALVES, 2000).

Os blocos que passam à seguinte fase têm tamanhos padronizados (3 m x 2m x 1,5 m). Na obtenção dos blocos com estas medidas gera-se um outro resíduo chamado “costaneira”, o pedaço serrado do bloco para que este adote a medida desejada (GONÇALVES, 2000)

b) Desdobramento: Subdividida em:

- **Corte/Serragem:** Os blocos obtidos na extração são beneficiados por meio da serragem em chapas por teares (para blocos maiores, produzindo chapas com 2 e 3 cm de espessura) ou talha blocos (para blocos menores ou informes). Os teares são equipamentos dotados de lâminas de corte que mediante um movimento alternado provocam o atrito necessário entre as lâminas, o produto abrasivo e o bloco. (STELLIN Jr., 1998, apud GONÇALVES, 2000). Nos teares o corte é feito por lâminas e nos talha-blocos por discos diamantados.
- **Inspeção:** Onde se observam parâmetros como espessura das chapas, área líquida serrada, planicidade, rugosidade, trincas, impurezas e defeitos do material.

c) Beneficiamento: Fase onde as chapas são polidas mediante equipamentos especiais denominados politrizes.

d) Embalagem e transporte: Dependendo das necessidades específicas pode realizar-se o transporte:

- Por caminhão, devendo se ter cuidado com as vibrações produto das condições da estrada. O peso da carga do caminhão influi neste aspecto.
- Por trem, onde o momento crítico é no engate dos vagões.
- Por barco, encontrando-se os maiores problemas no balanço do navio.

(MARBLE – ROCHAS ORNAMENTAIS; ABIROCHAS, 2004).

3.4.1.1. Serragem em Teares

As lâminas de corte são auxiliadas por uma lama abrasiva composta de granalha de ferro, cal e água. Esta mistura ajuda também a resfriar os elementos de corte e é jogada sobre o material mediante uma bomba. Os blocos para beneficiamento podem ter até 2 m de altura e até 4 m de comprimento. Para aperfeiçoar o processo, os blocos podem ser previamente esquadrejados com equipamentos mono-lâmina ou com fios. A correta tensão das lâminas de corte incide diretamente na boa qualidade da chapa (ABIROCHAS, 2004). O controle da mistura abrasiva é muito importante para a capacidade de serragem dos equipamentos, permitindo aumentar a velocidade de corte e obter um produto serrado de melhor qualidade (INETI, 2001).

3.4.1.2. Polimento

É a etapa seguinte à serragem e compreende o levigamento, polimento e lustro, ou apicoamento e flameamento (ABIROCHAS, 2004). O levigamento é o primeiro processo para criar superfícies planas e paralelas, retirando as irregularidades mais grosseiras. O polimento realiza um desbaste mais fino “[...] criando uma superfície lisa, opaca e mais impermeável que a de uma face natural da mesma rocha” (ABIROCHAS, 2004). O lustro outorga brilho à chapa produzida. Para realizar estes processos são utilizados equipamentos premunidos de pastilhas abrasivas à base de carbureto de silício e diamante, de granulometria mais grossa para o primeiro processo (levigamento) e cada vez mais fina nos seguintes processos (polimento e lustro). As pastilhas são colocadas em cabeçotes rotativos que se movimentam em

toda a superfície da chapa com adição de água para eliminar os resíduos do processo e com propósito de refrigeração da chapa. (ABIROCHAS, 2004). O tipo de material a ser polido e as características da superfície determinam o tamanho do grão com que começa o processo de polimento. Os abrasivos são constituídos por uma resina de poliéster insaturada, partículas de carbonato de silicone, carbonato de cálcio, cloreto de sódio e óxidos corantes (INETI, 2001).

As politrizes mais utilizadas são as manuais (1 cabeçote), politrizes de ponte (1 a 2 cabeçotes) e politrizes multicabeçotes (5 a 20) (ABIROCHAS, 2004).

3.5. IMPACTOS AMBIENTAIS NA IMG

A IMG é especialmente agressiva para o meio ambiente em cada uma das etapas do seu processo produtivo. Ruído, poeira, lama abrasiva, cascalhos de pedras, desmatamento, impacto visual negativo provocado pela extração, todos estes são problemas ambientais produzidos pela IMG.

3.5.1. Resíduos Sólidos

Segundo a definição das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os Resíduos Sólidos Industriais:

São todos os resíduos no estado sólido ou semi-sólido, resultantes das atividades industriais, ficando incluídos nesta definição os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle da poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam, para isso soluções técnicas e economicamente viáveis, em face da melhor tecnologia disponível.

A atenção com a geração e disposição de resíduos sólidos é recente. Têm-se muitos casos documentados de prejuízos causados ao longo do tempo por resíduos tóxicos mal armazenados e que anos depois afetaram populações vizinhas.

As normas brasileiras que classificam os resíduos sólidos são:

- Norma ABNT NBR 10.004: 2004, “Resíduos Sólidos”.
-

- Norma ABNT NBR 10.005: 2004, “Lixiviação de Resíduos”.
- Norma ABNT NBR 10.006: 2004, “Solubilização de Resíduos”.
- Norma ABNT NBR 10.007: 2004, “Amostragem de Resíduos”.

3.5.1.1. Classificação de Resíduos Sólidos Industriais

A NBR 10.004 (1987) classifica os resíduos como:

- **Classe I – Perigosos:** aqueles que sós ou em mistura, dependendo de características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade “[...] podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para aumento da mortalidade ou incidência de doenças, e que apresentam riscos ao meio ambiente...” quando seu manejo ou disposição não é a adequada. (SILVA, 2002).
- **Classe II – Não Inertes:** sós ou misturados que não se enquadram na Classe I ou na Classe III. São combustíveis, biodegradáveis e solúveis em água.
- **Classe III – Inertes:** aqueles que sós ou em mistura e submetidos ao ensaio de solubilização NBR 10.006 “[...] não apresentarem quaisquer de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, conforme a listagem nº 8 da NBR 10.004”, exceto em aspecto, cor, turbidez e sabor.

Os resíduos sólidos tornam-se perigosos, segundo a NBR 10.004, pela sua:

- Inflamabilidade.
- Corrosividade.
- Reatividade.
- Toxicidade.
- Patogenicidade.

3.5.1.2 Resíduos Sólidos na IMG

Estima-se que a produção de resíduos da IMG em todo Brasil seja de 240 000 ton/ano. O Estado de Espírito Santo produz cerca de 50 000 ton/ano de pó de granito (PREZOTTI apud SILVA apud GONÇÂLVES, 2000). A quantidade do

resíduo gerado depende da serrabilidade do material, ou seja, a facilidade para ser serrado. Um material com alta serrabilidade gerará menos quantidade de resíduos. No caso dos granitos esta característica depende da compacidade dos seus materiais, sendo os materiais porosos os mais fáceis de serrar (GONÇALVES, 2000).

Além disto, o resíduo incorpora os restos das lâminas de corte. Tem-se estimado que, junto com os efluentes, no estado de Espírito Santo são descartados em torno de 186.000 quilos/dia de resíduos ferrosos (PREZOTTI, 2004).

Chapas com defeito ou quebradas no processo são outra fonte de resíduos sólidos. Se a empresa dedica-se somente à serragem de blocos estes resíduos são vendidos ou descartados. Se a empresa começa sua produção com a serragem, as chapas são encaminhadas para corte ou armazenadas para tentar reaproveitá-las (INETI, 2001).

Atualmente existem numerosas pesquisas visando o reaproveitamento dos resíduos sólidos das lamas da IMG: incorporação em cerâmica, elaboração de tintas, utilização em concretos, fabricação de tijolos e lajotas, etc.

3.5.2. Resíduos Líquidos

Os processos industriais geram diferentes quantidades de efluentes líquidos, dependendo das suas características. O “registro de efluentes”, ou quantidade e composição destes efluentes, permite conhecer as possibilidades de reuso da água. (SILVA, 2002).

Normalmente a diferenciação preliminar destes efluentes se realiza em três linhas principais:

- Esgotos sanitários.
 - Despejos ou efluentes industriais.
 - Águas pluviais.
-

3.5.2.1. Resíduos Líquidos na IMG

Na serragem dos blocos gera-se uma grande quantidade de rejeitos na forma de lama abrasiva. Esta normalmente é constituída por água, granalha, cal e rocha moída. Esta mistura é jogada continuamente sobre o bloco para ajudar no corte e na refrigeração das lâminas (ABIROCHAS, 2004). Na serragem perde-se em média de 20 a 25% do bloco, transformando-se em pó, originando um grande volume de rejeito (MOREIRA; FREIRE; HOLANDA, 2003). Segundo Rochas Ornamentais- Informações Estatísticas 1986 – 1985 (1995), citado por GONÇALVES (2000), a perda é de 30%. Na fase de polimento (beneficiamento secundário) as perdas podem atingir 10% da produção total. Esta rocha sai misturada com água, resina (se foi colocada sobre a chapa) e restos do material abrasivo. No total estima-se, em média, que a perda da pedra, da extração até o consumidor final, é de aproximadamente 60% (VILASCHI; DE SOUZA, 2000).

Na fase de serragem a lama abrasiva aumenta sua viscosidade pela adição de rocha moída, depois de um tempo de operação, dificultando o processo de corte. Isto faz que água seja adicionada para controlar a viscosidade e a parcela mais fina da lama é descartada (CALMON, 1998). PREZOTTI (2004) estimou que no Espírito Santo são despejados ao meio ambiente 1.500 m³/dia ou 3.000.000 quilos/dia de efluentes líquidos. SOUTO et al., 2001 apud FONTES; PEÇANHA; NEVES (2003) citam que somente Cachoeiro de Itapemirim produz mensalmente 400 toneladas de lama. Que fazer com esses resíduos? Não se conhece plenamente o mecanismo de infiltração dessas lamas no terreno, mas sabe-se que provocam uma porosidade e absorção mais reduzidas e menor capacidade de percolação afetando a vida vegetal, pelo que a disposição em bacias não é uma solução ambientalmente correta (INSTITUTO GEOLÓGICO MINEIRO, 1999, apud MARQUES DE ALMEIDA, 2005) Se os resíduos líquidos arrastam partículas prejudiciais, pode ocorrer a contaminação dos aquíferos (SOARES, 1997, apud MARQUES DE ALMEIDA, 2005).

Ainda mais, o elevado pH das lamas da serragem certamente altera as condições do lugar de armazenamento.

Segundo o INETI (2001), estimasse que em Portugal gera-se aproximadamente 0,1 m³ (0,27 toneladas) de lama por tonelada de rocha transformada: 0,08 m³ na operação de serragem e 0,02 m³ nas operações de polimento e corte.

3.5.3. Emissões Atmosféricas

3.5.3.1. Classificação

Os poluentes atmosféricos podem se classificar segundo SILVA (2002), em:

- **Primários:** são os gases provenientes de processos industriais, gases de exaustão de motores, etc., que são lançados diretamente na atmosfera.
- **Secundários:** resultado dos anteriores ao ocorrer reações fotoquímicas na atmosfera entre os poluentes primários.

3.5.3.2. Emissões Atmosféricas na IMG

No caso específico da IMG é de interesse a consideração do material particulado. As partículas mais perigosas para a saúde humana, aquelas menores que 10 µm, depositam-se na região traqueo-bronquial e pulmonar. Segundo SILVA (2002) estas concentrações provocam:

- Aumento da incidência de doenças respiratórias.
- Bronquite crônica.
- Constrição dos brônquios.
- Diminuição da função pulmonar.
- Aumento da mortalidade.

Diversos estudos tentam mostrar a relação do material particulado com a quantidade de mortes prematuras. O Banco Mundial estima que entre 300.000 e 700.000 mortes prematuras possam ser evitadas por ano caso sejam respeitados os níveis de concentração de particulados recomendados pela Organização Mundial da

Saúde (OMS). A Escola de Saúde Pública da Universidade de São Paulo mostra que valores que passam de 70 µg/Nm³ (valor médio) de particulados no ar para 170 µg/Nm³, “[...] as internações nos hospitais por problemas respiratórios aumentam em 20 a 25% e as mortes por insuficiência respiratória aumentam em 10 a 11%” (SILVA, 2002).

A lama da IMG mencionada anteriormente, quando seca, desprende poeira que afeta os equipamentos, as pessoas e a flora ao redor. Os valores típicos dos diâmetros esféricos equivalentes das partículas das lamas são entre 1µm e 100 µm, caindo na faixa que pode se alojar dentro dos pulmões. As partículas provenientes de rochas silicatadas podem provocar silicose (SOARES, 1997, apud MARQUES DE ALMEIDA, 2005). Esta doença é potencialmente fatal porque causa uma fibrose intersticial no pulmão (GONÇALVES, 2000).

A flora pode ser coberta por poeira fina, sendo destruída. Tem-se sugerido a implantação de cortinas arbóreas em volta das instalações para conter este tipo de poluição, mas apresenta-se o problema de conseguir o crescimento das árvores para estabelecê-la (MARQUES DE ALMEIDA, 2005).

A formação de poeira acontece também no tratamento superficial da fase de polimento e nos acabamentos e trabalhos especiais.

3.6. PRÁTICAS PARA MITIGAÇÃO DE IMPACTOS

3.6.1. Produção mais Limpa

Um mundo com economia globalizada não pode esquecer da sua responsabilidade ambiental, tem de ser consonante. Fruto dos debates na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, criado pela ONU em 1983, originou-se o termo “Desenvolvimento Sustentável”, que busca associar o crescimento econômico com a proteção ambiental (PALOMARES; PIRES; 2005). Ou seja, “[...] o desenvolvimento sustentável procura encontrar o equilíbrio entre o crescimento econômico e a proteção ambiental” (KHOO et al, 2001; KAZMIERCZYK, 2002 apud PALOMARES e

PIRES, 2005) de forma que a utilização dos recursos naturais disponíveis não comprometa as necessidades das populações futuras.

O termo “Produção mais Limpa” (*Cleaner Production*) está estreitamente associado ao conceito anterior. Desenvolvido em 1989 pelo “Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente” (*United Nation Environmental Program -UNEP*), trabalhou-se desde essa data para difundir o conceito e sua filosofia mediante intercambio de informações, capacitação e assistência às organizações (PALOMARES; PIRES, 2005). Refere-se à melhoria de desempenho econômico das empresas enquanto se cuida o impacto no meio ambiente, é “[...] a aplicação contínua de uma estratégia de prevenção ambiental aplicada aos processos, produtos e serviços de modo a permitir o crescimento econômico sem prejuízo ao meio ambiente.” (PALOMARES; PIRES, 2005).

Segundo Palomares e Pires (2005) a United Nations Industrial Development Organization (UNIDO, 2004 – Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial) define a Produção mais Limpa como uma “[...] estratégia preventiva” econômica, ambiental e tecnológica

- [...] integrada que é utilizada em todas as fases do processo produtivo para:
- .Aumentar a produtividade através do uso mais eficiente dos materiais, energia e água;
 - Promover a melhora da performance ambiental através da redução de resíduos e emissões;
 - Reduzir o impacto ambiental dos produtos em todo seu ciclo de vida através de um projeto ecológico e economicamente eficiente.

As vantagens da sua aplicação são:

- Redução da quantidade de materiais e energia utilizados, tornando assim os processos mais econômicos de maneira sustentável;
 - Prevenção da poluição, gerando menos resíduos, efluentes e emissões;
 - A busca pela redução dos poluentes leva a criação de uma cultura que busca inovação dos processos continuamente, aumentada conseqüentemente, a produtividade das empresas;
 - Maior grau de comunicação e participação das empresas com os organismos locais (governamentais ou não governamentais), com as universidades e a comunidade.
-

Esta abordagem, então, envolve os materiais e os aspectos técnicos e gerenciais ao longo da cadeia produtiva, objetivando eliminar os poluentes e desperdícios na origem, onde eles são gerados. As matérias primas, água e energia são utilizadas racionalmente, cuidando a utilização de materiais perigosos e tóxicos e inibindo a toxidade de todas as emissões e resíduos. Esta filosofia de trabalho vai requerer a mudança de conceitos na empresa e aplicação de diversas técnicas associadas para eliminar resíduo (produtos com valor econômico negativo) e trazendo benefícios econômicos à empresa.

3.6.2. Gerenciamento de Resíduos Sólidos

O gerenciamento de resíduos sólidos refere-se a um conjunto de ações em diversas partes do processo produtivo e em atividades relacionadas com ele visando a proteção e melhora da qualidade do meio ambiente, da saúde humana e uma utilização racional dos recursos naturais. (SILVA, 2002).

Em geral as políticas que deveriam direcionar o gerenciamento de resíduos sólidos são a política ambiental, de respeito e cuidado com o entorno, e a política de escolha de estratégias que vão dirigir a consecução desses objetivos de preservação do meio ambiente (LEACH et al., GRÜBL e RÜHL apud JOHN, 2000, apud GONÇALVES, 2000).

Os objetivos a atingir, respeitando o princípio anterior, estariam hierarquizados assim:

- Reduzir a geração de resíduos na fonte.
- Reutilizar o resíduo.
- Reciclar
- Incinerar recuperando a energia.
- Depositar em aterros sanitários.

(LEACH et al., GRÜBL e RÜHL apud JOHN, 2000, apud GONÇALVES, 2000).

Segundo SILVA (2002), seguindo este princípio devem-se respeitar os seguintes pontos:

- **PREVENÇÃO**

- **Prevenção por tecnologias – tecnologias limpas:** Os resíduos são minimizados no processo produtivo, modificando-o ou mudando a forma do processo. Deve-se enfatizar o desenvolvimento de tecnologias que promovam “poluição zero” em detrimento das que somente trasladam a fonte poluidora para outro ponto do processo.
- **Prevenção por produtos – produtos limpos:** São produtos de impacto mínimo com o meio ambiente na fabricação, utilização e disposição final.

- **RECICLAGEM**

- O resíduo gerado é reaproveitado tal como foi gerado (reciclagem direta), depois de ser submetido a processos de transformação (reciclagem indireta) ou recuperando as matérias primas ou energia. Esta política envolve tanto as tecnologias necessárias para atingir os objetivos como o desenvolvimento de mercados para os produtos da reciclagem.

- **OTIMIZAÇÃO DA DISPOSIÇÃO FINAL**

- Quando não é possível a reciclagem dos resíduos estes devem-se submeter a processos que minimizem o impacto ambiental na sua disposição final.

- **AÇÕES CORRETIVAS**

- Caso seja necessário despoluir locais pelo mau gerenciamento dos resíduos.

3.6.3. Gerenciamento de Resíduos Líquidos

Para projetar um gerenciamento eficiente dos resíduos líquidos é necessário caracterizá-los segundo suas características físicas, químicas e biológicas.

Dentro das características físicas, a mais importante é o teor de sólidos, que pode se subdividir em:

- Sólidos Totais: Que é o sólido remanescente depois de evaporar o líquido a 103 – 105 °C. Estes, a sua vez, subdividem-se em filtráveis (coloidais e dissolvidos) e não filtráveis (ou sólidos em suspensão), segundo fiquem retidos ou não num filtro de fibra de vidro com poros de 1,2 µm.
- Sólidos sedimentáveis: A quantidade de sólidos que sedimentam num cone Imhoff em uma hora, sendo expressado em ml/L.

Outras características físicas importantes são: Odor, Temperatura, Densidade, Cor e Turbidez (SILVA, 2002).

Dentre as características químicas dos efluentes líquidos de interesse (SILVA, 2002) são:

- Conteúdo de matéria orgânica.
- Teor de matéria inorgânica.
- Teor de gases.

3.6.3.1. Monitoramento de Efluentes

É o estudo da quantidade e qualidade dos efluentes gerados nos diferentes processos de uma indústria que inclui como variam com o tempo. Abrange também uma análise da conservação e reutilização da água (SILVA, 2002).

Segundo ECKENFELDER apud SILVA (1989) este registro de efluentes deve compreender:

- Desenvolver um fluxograma de efluentes;
 - Estabelecer uma seqüência de tomada de amostras e análise;
 - Desenvolver o diagrama de fluxos e matéria, que deve considerar todas as fontes significativas de efluentes;
 - Estabelecer a variação estatística das características significativas do efluente mediante um gráfico de probabilidades, que mostra a freqüência da ocorrência.
-

3.6.3.2. Tratamento de Efluentes Industriais

A escolha dos processos utilizados para tratar os efluentes industriais depende, segundo SILVA (2002):

- Das características do efluente: forma predominante do poluente (em suspensão, coloidal ou dissolvido), de sua biodegradabilidade, e da presença de compostos orgânicos e inorgânicos tóxicos;
- Da qualidade requerida do efluente após o tratamento;
- Do custo do processo.

3.6.4. Gerenciamento de Emissões Atmosféricas

Segundo SILVA (2002) pode-se controlar a poluição do ar por meio de:

- Padrões de emissão.
- Padrões de qualidade do ar.
- Impostos ou taxas por emissão de poluentes.
- Análise custo/benefício.

O primeiro é necessário se analisar cada ponto de emissão de poluentes para conferir o atendimento dos padrões estabelecidos. Porém tem uma eficiência econômica baixa.

Utilizar os padrões de qualidade do ar significa concentrar-se nos pontos críticos onde a poluição do ar é crítica, sendo complexo identificar as fontes responsáveis pela maior poluição.

O terceiro método de controle aplica taxas que devem ser pagas por tonelada de poluentes despejados no ar. A intenção é obrigar ao responsável pelas emissões a mudar processos ou investir em tecnologias que evitem os despejos prejudiciais ao ambiente.

O quarto método tenta achar o ponto em que o custo por introduzir novas tecnologias de controle iguale o custo por poluir. A dificuldade está em estabelecer os custos pelos danos causados (SILVA, 2002).

3.7. POLÍELETRÓLITOS

3.7.1 Considerações Teóricas

Os flocculantes ou auxiliares de floculação são compostos orgânicos que podem ser naturais ou sintéticos, macromoléculas solúveis em água obtidas pela associação de monômeros simples. Também podem ser produzidos pela adição de monômeros ou grupos funcionais a polímeros naturais. Os polímeros orgânicos dissolvidos na água formam soluções com diferente viscosidade, que depende do seu peso molecular, grau de carga iônica e teor de sais no solvente (GONÇALVES, 2001). Os flocculantes sintéticos, ou polieletrólitos, utilizados nos testes com a lama da indústria de mármore e granito (IMG), podem ser classificados, segundo a carga elétrica na cadeia do polímero, como:

- Não iônicos (sem carga): Poliacrilamidas de massa molecular compreendida entre 1 e 30 milhões. Não são considerados como polieletrólitos mas devido à semelhança das suas aplicações é incluso nesta categoria.
- Aniônicos: Têm grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).
- Catiônicos: Tem nas suas cadeias carga elétrica positiva, devido à presença de grupos amino.

Os polieletrólitos também podem ser classificados segundo a natureza de sua estrutura (linear, ramificado ou reticulado) e podem ser agrupados em homopolímeros ou copolímeros. Os copolímeros são constituídos por mais de uma espécie de monômeros que podem estar distribuídas aleatoriamente, em blocos ou de forma que um dos monômeros esteja presente na cadeia, dentro da estrutura da cadeia de outro monômero (DE OLIVEIRA, 2006).

As partículas presentes nos efluentes fixam-se às longas cadeias poliméricas formando pontes entre elas e impedindo todo tipo de movimento isolado. Os coloides são removidos em pontos específicos da cadeia polimérica, sedimentando-se a estrutura como um todo devido a que as partículas com a mesma carga estão

separadas por distâncias relativamente grandes devido ao longo comprimento da molécula (DE OLIVEIRA, 2006).

Os polímeros aniônicos a base de poliacrilamida normalmente têm massas molares entre 12-15 mg./mol (mais de 150.000 monômeros de acrilamida por molécula). As poliacrilamidas (PAM) são constituídas por unidades repetidas de acrilamida e seus derivados (DE SENNA, 2005). Devido às características dos efluentes da IMG, os aniônicos são os polímeros usualmente utilizados nos testes.

A fórmula do monómero de acrilamida pode ser vista na figura 3.6:

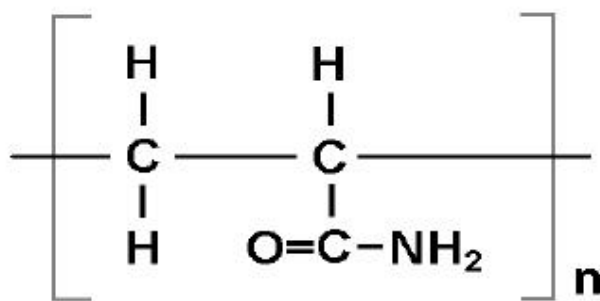


Fig. 3.6: Fórmula do monómero de acrilamida

O consumo de floculantes é menor do que o consumo de coagulante e são muito mais eficientes (maior velocidade de sedimentação). É contraproducente seguir adicionando floculante acima de uma concentração ótima, pois os polieletrólitos se tornam dispersantes. A maior peso molecular do polímero, maior o comprimento da cadeia e maior velocidade de sedimentação a igual quantidade de polímero adicionado.

No caso dos efluentes da IMG o problema é a possibilidade de grandes variações nas características deles devido a distintos fatores (tipo de resinas e abrasivos utilizados, principalmente). Isto impede a possibilidade de tratar o efluente da IMG de um modo geral e, no caso da utilização das bolsas filtrantes, obriga a um monitoramento freqüente da boa floculação do resíduo. Procura-se o polímero que clarifique a água utilizando-se na menor quantidade possível.

3.8 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA IMG

Existem diversas tecnologias para tratar as águas residuárias da IMG, separar os sólidos e enviar o líquido para reutilização e o sólido para outra destinação adequada.

3.8.1. Tecnologias para Viabilizar Reuso

3.8.1.2. Sistema de Bacias de Decantação

O que pode ser encontrado na maioria das pequenas e medias empresas é um sistema de decantação, mediante tanques em serie ou com utilização de chicanas, onde os efluentes são depositados para que os sólidos sedimentem por gravidade, com previa adição de polímeros para promover o processo de floculação e posterior sedimentação. A água do último tanque de decantação é reutilizada se não apresentar partículas grosseiras em suspensão (condição importante para a fase de polimento).

Os sólidos sedimentados no processo anterior são retirados e jogados em valas abertas no chão, na área da empresa ou em aterros. Espera-se que o lodo perca umidade por evaporação, diminuindo seu volume, e joga-se maior quantidade de lodo úmido para encher o espaço vazio. Uma vez a umidade perdida for suficiente e ocupado todo o volume da vala, algumas empresas utilizam este espaço de aterramento como base para futuras construções. Outras simplesmente passam a outro lugar para realizar as mesmas ações.

O processo típico de tratamento das águas residuárias da IMG provenientes do polimento pode ser visto nas figuras 3.7. a 3.10.:



Fig. 3.7. – Polimento de chapas de granito



Fig. 3.8 – Canaleta de saída do efluente das politrizes.



Fig. 3.9. – Sistema de adição do polímero ao efluente (balde e torneira).



Fig. 3.10.- Sistema típico de sucessivos tanques de decantação para sedimentação dos sólidos dos efluentes.

A frequência da limpeza dos tanques é variável: semanal, quinzenal ou mensal. Esta limpeza é realizada por um caminhão limpa fossa, que suga os sólidos sedimentados e leva para outro destino.

Além de requerer espaço para a colocação dos sucessivos tanques de decantação o sistema anteriormente descrito apresenta o problema da disposição do material sedimentado enquanto perde a umidade necessária para permitir sua colocação num aterro. Se colocar num reservatório sem impermeabilização o líquido introduzido no terreno traz conseqüências indesejáveis para o subsolo. No caso do caminhão que suga periodicamente as lamas das bacias está transferindo o problema para outro lugar, sem dar uma solução adequada.

3.8.1.3. Sistema de Decantadores Verticais

Visando solucionar vários dos problemas mencionados, pesquisadores têm recomendado “Estações de Tratamento” seguindo o modelo italiano segundo a Figura 3.11:

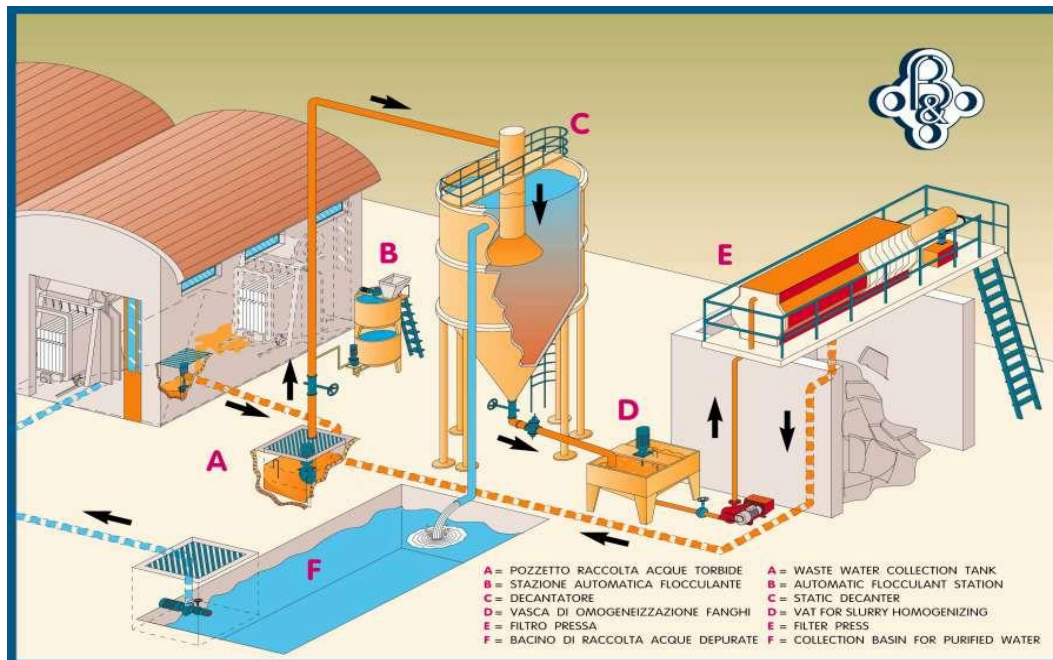


Figura 3.11. – Estação de tratamento
Fonte: FRACARÖLLI & BALZAN

Na figura:

- A. Tanque de armazenamento dos efluentes dos processos que vão ser recalcados para tratamento.
- B. Estação de preparação do polímero.
- C. Decantador estático vertical.
- D. Tanque para homogenização da lama.
- E. Filtro Prensa.
- F. Reservatório dos efluentes tratados. Deste podem ser recirculados.

O lay-out deste sistema pode ser apreciado na fig. 3.12.:

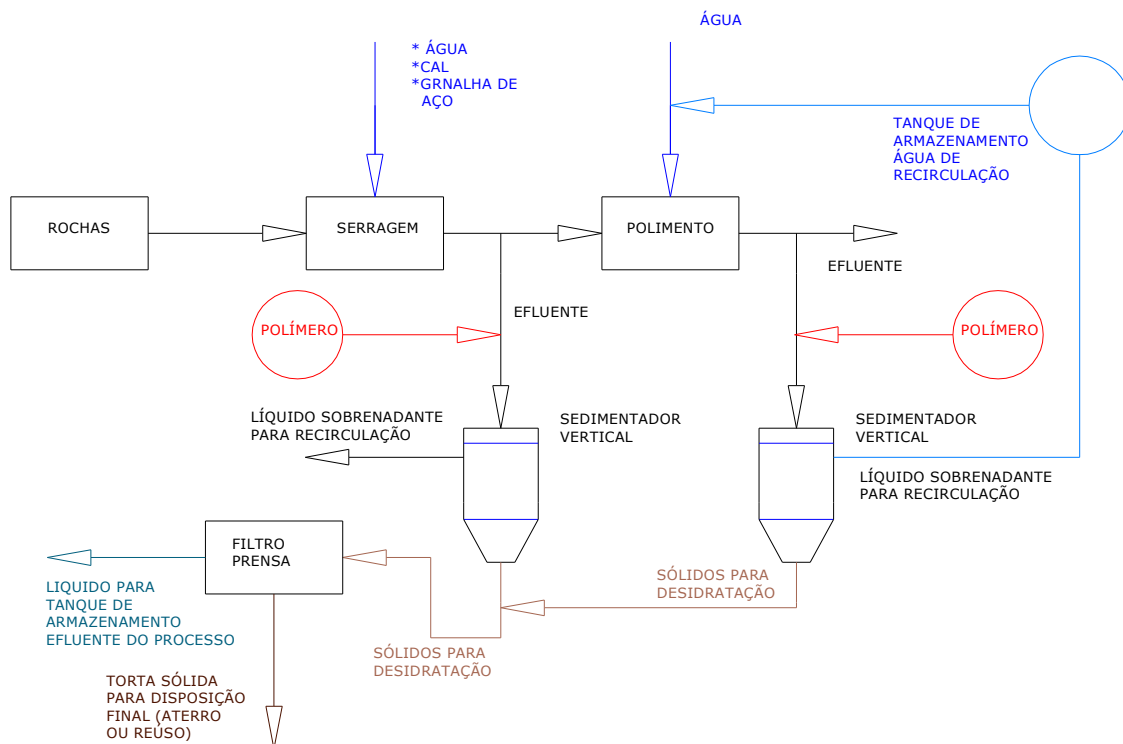


Fig. 3.12.- Lay Out do sistema italiano para tratamento dos efluentes da IMG.

A estação visa reaproveitar a água do efluente no sistema produtivo e trata separadamente as águas provenientes do polimento ou da serragem das chapas. Os sólidos sedimentados são desaguados no filtro prensa.

A figura 3.13 mostra o decantador vertical e o tanque de armazenamento de água de recirculação ou de reuso.



Fig. 3.13. – Decantadores verticais e tanques de água de reuso.

As águas de reuso produzidas normalmente são utilizadas separadamente, devido ao pH excessivo do líquido proveniente dos teares. A presença de cal propicia a rápida aparição de incrustações no interior das tubulações que conduzem esta água. Por isso destina-se a água de reuso dos teares para tarefas de limpeza.

Esta solução é cara na implantação e na manutenção dos equipamentos. Além de ocupar grandes áreas, a presença de granalhas nos sólidos da serragem traz problemas se chegar aos filtros prensa.

3.9. NECESSIDADE DE NOVAS TECNOLOGIAS

As necessidades de espaço e praticidade são duas razões para se pensar em desenvolver outros sistemas de tratamento das águas residuárias da IMG. Sistemas compactos significam sistemas mais fáceis de operar e manter, ou seja, sistemas mais baratos. Consequentemente vão junto com o terceiro fator para pensar em outras tecnologias: o aspecto econômico. Os sistemas italianos, com um filtro prensa no final da cadeia produtiva para permitir desaguar os resíduos sólidos, são sistemas caros, difíceis de implantar em pequenas e médias empresas, devido aos altos custos de implantação e manutenção. Como a maioria das empresas brasileiras envolvidas com a IMG é de pequeno e médio porte pode-se verificar o desafio de apresentar sistemas eficientes e com um investimento razoável e adequado ao tamanho das empresas.

3.9.1. Tratamento

3.9.1.1. Sistemas Alternativos: Decantador Lamelar ou de Alta Taxa de Fluxo Ascendente e “Bolsa Filtrante”

No intuito de desenvolver soluções mais baratas (mais fáceis de construir, operar e manter) e compactas (que ocupem menor área), apresentam-se duas opções interessantes.

3.9.1.1.1. Decantador Lamelar ou de Alta Taxa de Fluxo Ascendente

Os decantadores lamelares de fluxo ascendente podem tratar vazões maiores numa área e com uma estrutura menor do que a requerida nos decantadores convencionais, com uma maior eficiência na utilização do espaço. Mediante a colocação de placas paralelas (lamelas) ou módulos na zona de sedimentação se consegue uma grande superfície de deposição para o material sedimentado. A utilização deste tipo de decantadores poupa espaço na fábrica, o que é uma excelente vantagem.

Nos decantadores clássicos de fluxo horizontal a eficiência depende principalmente da área de sedimentação. Introduzindo placas intermediárias consegue-se a deposição de partículas com velocidades menores à velocidade de sedimentação crítica (MALDONADO, 2004). Duas placas duplicariam a área de sedimentação, três a triplicariam e assim sucessivamente (HAZEN, apud RICHTER, 2000). Na prática, a limpeza das placas é um fator limitante do processo. Em meados da década de 1960 as placas foram testadas inclinando-as, fazendo com que os sedimentos se deslocassem até a parte inferior do decantador (Figura 3.14).

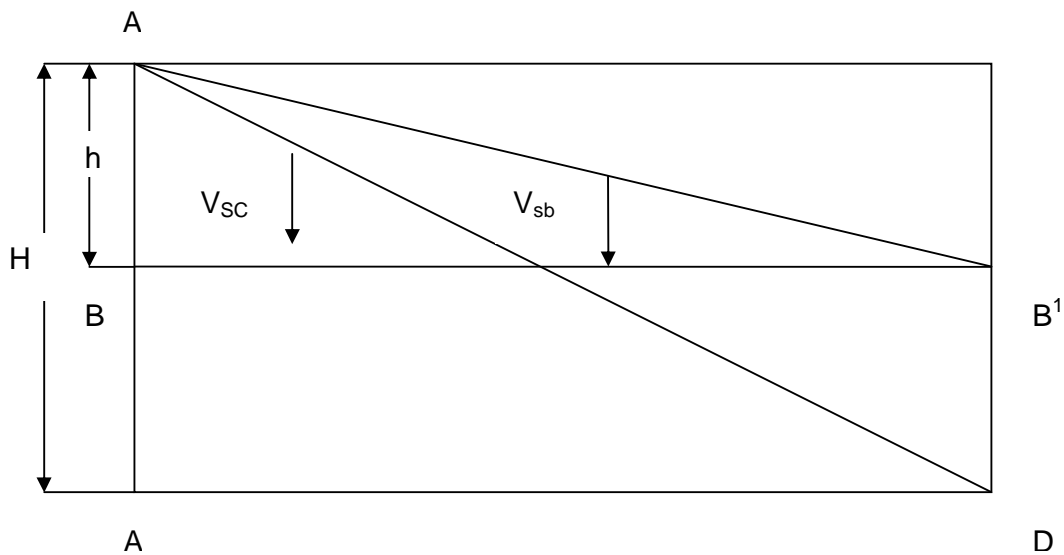


Fig. 3.14. Efeito da introdução de lâminas intermediárias de sedimentação nos decantadores convencionais.

Fonte: MALDONADO, 2004.

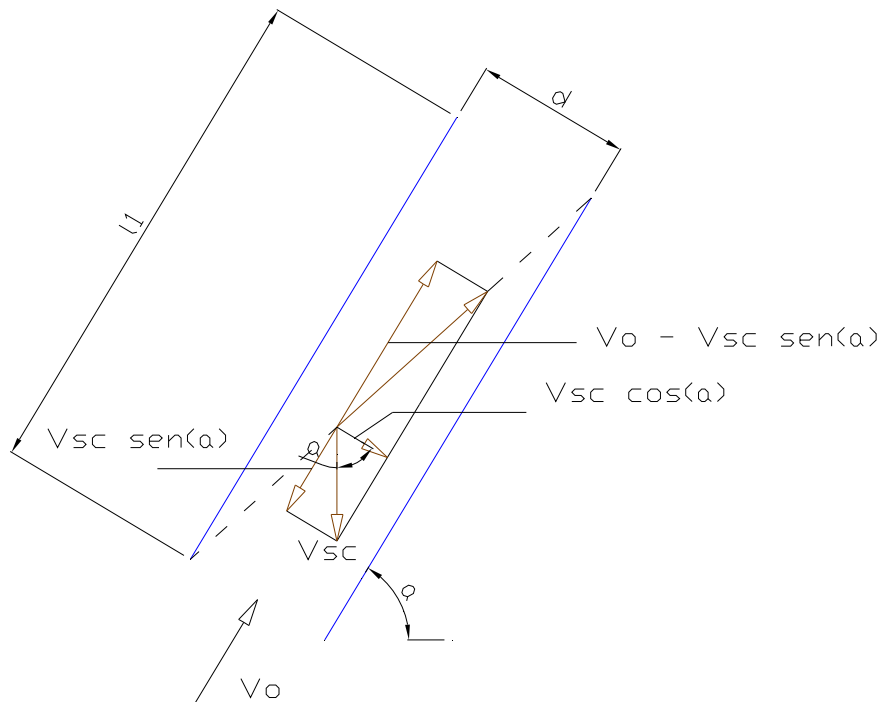


Fig. 3.15. Modelo de sedimentação entre placas.
Fonte: Richter, 2000

Para analisar o comportamento deste tipo de decantadores partimos da teoria de Hazen, que supõe:

- A zona de sedimentação apresenta regime laminar e fluxo perfeitamente uniforme.
- Concentração uniforme de partículas.
- Os sólidos sedimentados não voltam a ser suspensos.

Se l_1 é o comprimento de decantação, “ V_o ” a velocidade de escoamento da água, “ V_{sc} ” a velocidade de sedimentação crítica, “ d ” o espaçamento entre as lamelas e o elemento tubular analisado têm uma inclinação de “ α ” com respeito à horizontal, pode ser definido pela equação 01 como:

$$L = \frac{l_1}{d} \quad \text{Eq. (01)}$$

L : comprimento relativo

A velocidade de sedimentação crítica é chamada assim porque é uma velocidade limite: as partículas sedimentando a uma velocidade menor ou igual do que ela ficarão retidas no decantador.

A partir das equações de Wejman-Hane e Yao, que as aplicaram para fluxo uniforme através de placas planas paralelas e posteriormente para movimento laminar, pode-se expressar pela equação 02:

$$V_{sc} = \frac{V_o}{\text{sen}(a) + L \cos(a)} \quad \text{Eq. (02)}$$

Devem-se considerar também dois fatores: a geometria das lamelas e da seção do decantador, e a zona de entrada do sedimentador onde se tem a transição entre regime turbulento e laminar.

O primeiro fator é considerado introduzindo-se um fator de correção “S” na equação 02 que adota os seguintes valores segundo as lamelas utilizadas:

S = 1 para placas paralelas.

S = 4/3 para dutos de seção circular.

S = 11/8 para dutos de seção quadrada.

S = 1,30 para placas onduladas paralelas.

S = 1,33 – 1,42 para outras formas tubulares.

O comprimento relativo de transição é expresso pela equação 03:

$$L_t = 0,058 \frac{V_o.d}{\nu} \quad \text{Eq (03)}$$

Onde ν é a viscosidade cinemática da água. Finalmente pode-se expressar pela equação 04 a velocidade de sedimentação corrigida:

$$V_{cs} = \frac{S.V_o}{\text{sen}(a) + L(1 - 0,058V_o.d).\cos(a)} \quad \text{Eq. (04)}$$

A equação 04 permite dimensionar o dispositivo de decantação.

Atualmente, este tipo de decantadores utiliza uma inclinação nas placas (conhecidas como “lamelas”) entre 50° e 60° (ângulo “a” na figura 3.14). A eficiência do decantador decresce com inclinações superiores a 60°, e a ângulos menores do que 50° os sedimentos não escorregam facilmente para o fundo do decantador (RICHTER, 2000). As lamelas podem ser fabricadas de diferentes materiais (fibra de vidro, plástico, lonas reforçadas com fios de poliéster de alta tenacidade, asbestocimento) e, depois de colocadas, apresentarem diferentes seções transversais (quadradas, retangulares, hexagonais) sendo alguns módulos assim obtidos, patenteados.

3.9.1.1.2. Bolsas Filtrantes

A tecnologia de bolsas filtrantes contempla um material de alta resistência (geralmente polipropileno) às pressões produzidas pelo líquido introduzido dentro dele. A idéia é simples: o líquido atravessa a bolsa e os sólidos ficam retidos. A forma em que a bolsa descansa sobre o terreno cria as pressões necessárias para o funcionamento do sistema e origina as solicitações mecânicas no material com que é fabricado. Os sólidos retidos vão formando a torta filtrante que atua como o elemento de filtração do efluente que vai chegando à bolsa. A bolsa é um tubo fabricado de um geotêxtil de largura e comprimento variáveis. O processo se repete até atingir a capacidade máxima de contenção do material filtrante. O fluxograma típico do processo pode ser apreciado na figura 3.16.

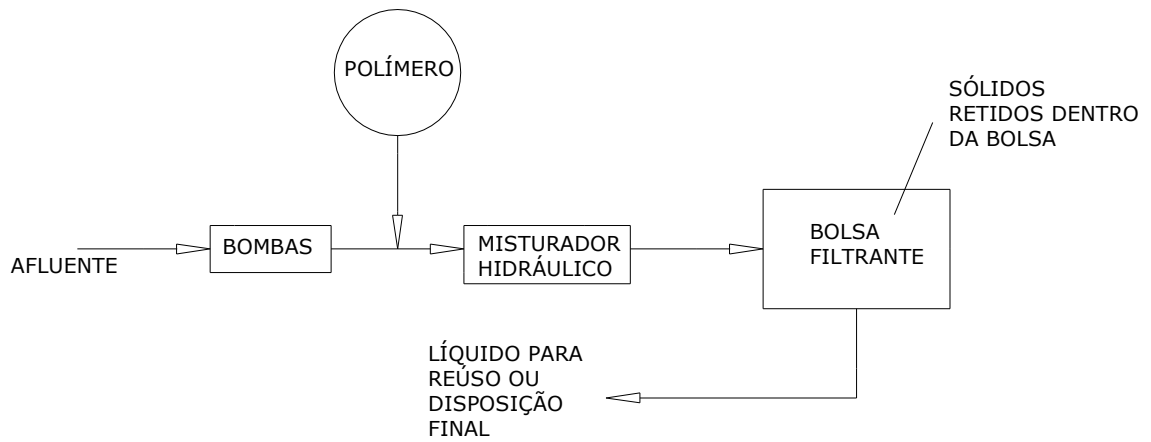


Fig. 3.16. Fluxograma típico de operação das bolsas filtrantes.

Na figura 3.17 pode se observar o ciclo típico de operação das bolsas filtrantes

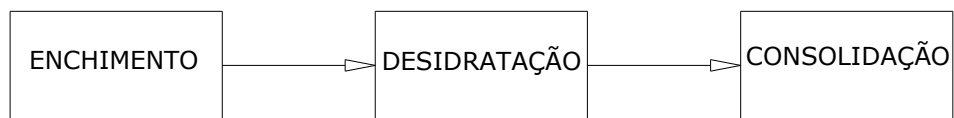


Fig. 3.17 Seqüência de operação das bolsas filtrantes.



Fig. 3.18. – Bolsas filtrantes em operação.

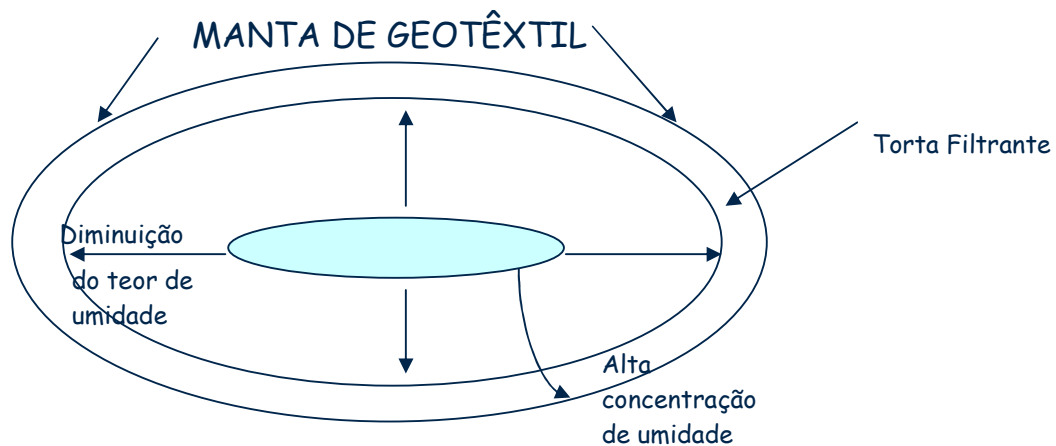


Fig. 3.19. Formação da Torta Filtrante e variação da umidade dentro da bolsa.
Fonte: Gaffney et al 1999, apud BARBOSA, 2005.

A tecnologia dos “desaguadores em tela” ou “bolsas filtrantes” tem sido aplicada com grande sucesso para diversos tipos de efluentes (lodos de esgotos, lavanderias industriais, minerações, suinocultura, resíduos de refinaria de petróleo, etc.). O lodo tem que ser misturado com um polímero adequado para promover a floculação e, portanto, a eficiência de filtração. A escolha do polímero tem que ser adequada para minimizar custos (a menor quantidade) e conseguir a melhor floculação. Finalmente os sólidos são retirados do geotubo, no final da vida útil dele, ou deixados na bolsa como destinação final.

A filtração no geotêxtil é influenciada por diversos fatores: a estrutura própria do geotêxtil (tecido ou não tecido) e a estrutura do meio a filtrar (poroso, partículas em suspensão). No caso de filtração de partículas em suspensão dentro do geotubo estas vão tender a sair pelas zonas laterais enquanto as partículas de maior tamanho sedimentam no fundo (BARBOSA, 2005).

O funcionamento do sistema com bolsas filtrantes pode ser observado nas figuras 3.20 a 3.22:



Fig. 3.20. – Primeira fase do processo: enchimento da bolsa filtrante com o efluente.
Fonte: Allonda



Fig. 3.21 – Segunda fase: Desaguamento ou desidratação.
Fonte: Allonda.

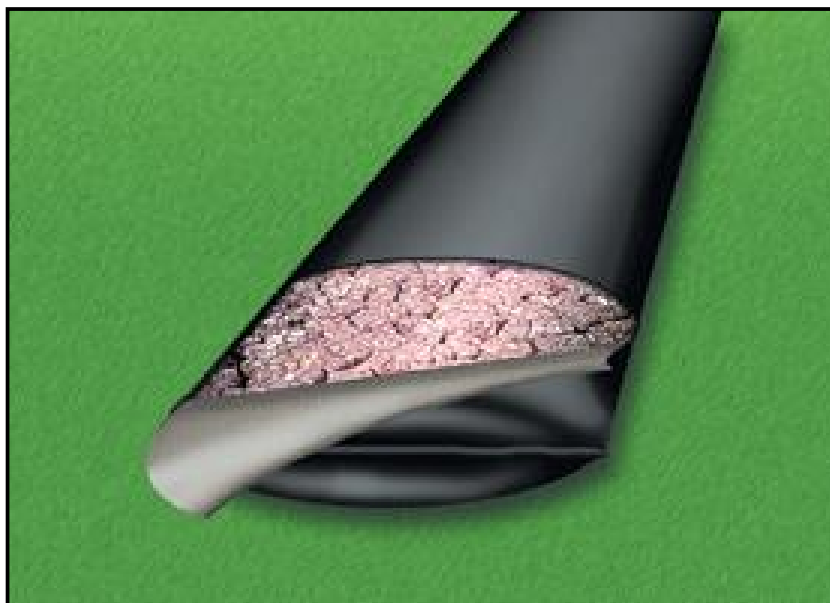


Fig. 3.22. – Fase de consolidação: extração dos sólidos retidos e desidratados.
Fonte: Allonda.

Na fase inicial o tubo é enchido com o fluido que se quer tratar. Na segunda fase o líquido passa através do material e os sólidos ficam retidos no interior da bolsa. Na última fase, uma vez que o líquido escoar para fora da bolsa, os sólidos continuam perdendo umidade por evaporação até adquirir as características desejadas. O material pode ser utilizado como a destinação final dos sólidos, visto que, uma vez perdida a umidade, o material não apresentará mais percolação de líquido ao terreno.

3.10. CENTRAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA IMG

A maioria das empresas da IMG são empresas de pequeno e médio porte. A ideia de instalação de centrais de tratamento de resíduos administradas pelas próprias empresas envolvidas não é nova.

Na Itália entre 10 a 15% do tratamento dos efluentes da IMG é feito em cooperativa. A boa gestão dos resíduos inclui o gerador deles na separação, o monitoramento e armazenamento. Isto porque a utilização dos resíduos para diversos fins precisa que este apresente características especiais que muitas vezes podem ser alcançadas na empresa geradora (separação de lamas, por exemplo) e não no centro de

tratamento. E o centro de tratamento devolve a água tratada à empresa. (CERQUEIRA; PREZOTTI, 2006).

A aplicação destes princípios à realidade brasileira passa primeiro por interessar as empresas pequenas e medianas no trabalho grupal na obtenção da água de reuso e da destinação final dos sólidos separados. É fundamental o constante monitoramento dos processos produtivos e das características dos efluentes gerados para adequar o tratamento ao efluente específico. Deve se pensar também na logística para transportar os materiais envolvidos, e do terreno onde estará localizada a central de tratamento. Neste ponto um sistema de tratamento compacto e eficiente reduziria os custos totais drasticamente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. INFORMAÇÕES PRELIMINARES

Esta pesquisa resultou dentro de uma parceria entre a UFES, o Banco do Nordeste e a Sanevix Engenharia Ltda.

O levantamento de dados, pesquisa de campo e teste de protótipos, foi realizado entre Outubro de 2005 e Fevereiro de 2007. Todos os testes laboratoriais foram efetuados no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Espírito Santo e no Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia Civil, da UFES. Os protótipos e as bolsas filtrantes foram testados em duas empresas de Serra (ES), e duas de Cachoeiro de Itapemirim (ES). Amostras de lamas para testes foram coletadas nas empresas anteriormente citadas e de mais quatro empresas de Cachoeiro de Itapemirim.

A pesquisa foi desenvolvida nas seguintes etapas:

1. Teste do protótipo do decantador lamelar de fluxo ascendente, na operação e na análise do líquido decantado.
2. Testes dos polímeros. Escolha dos melhores floculantes para os efluentes da IMG.
3. Teste da “bolsa protótipo” para observar a filtração com o material analisado.
4. Análises do resíduo sólido dentro da bolsa para observar perda de umidade e granulometria e do líquido filtrado.

Para observar o comportamento das bolsas filtrantes e do decantador lamelar de fluxo ascendente foi realizada uma série de testes com lamas provenientes do polimento e da serragem das chapas de mármore e granito, de características radicalmente diferentes. O primeiro passo, no caso das bolsas filtrantes, era a seleção dos polímeros a dosar nas lamas, para garantir a formação de flocos adequados e que produzam um bom funcionamento do sistema de filtração.

4.2. ETAPA 1: DECANTADOR LAMELAR DE FLUXO ASCENDENTE

Os testes foram realizados entre Outubro de 2005 e Fevereiro de 2006.

4.2.1. Protótipo Estudado

A eficiência de remoção no caso do decantador foi medida na entrada e saída de um protótipo construído para esta experiência. O protótipo foi testado com diversas taxas de aplicação, observando-se a variação dos parâmetros estudados. O decantador lamelar de fluxo ascendente testado tem 3,34 m de altura total, com uma seção de 0,5m x 0,5m (0,25 m²). A inclinação das lamelas, fabricadas de fibra de vidro, é de 60° com um comprimento de 1,2 m (figura 4.1).



Fig. 4.1. Decantador utilizado e efluente coletado em tambor graduado.

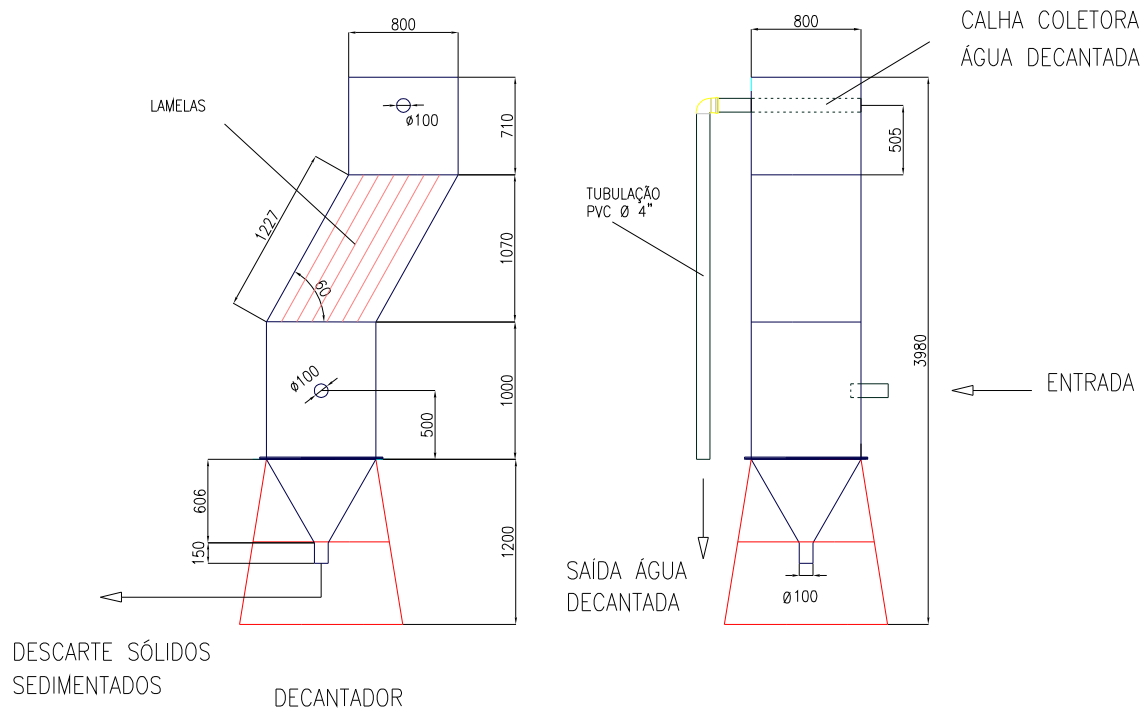


Fig 4.2. Vista lateral e frontal do decantador utilizado.



Fig. 4.3. Lamelas no interior do decantador

Uma bomba submersível colocava a água residuária efluente do processo de polimento na entrada do decantador, quebrando previamente a pressão em um trecho da tubulação que era aberto, e o efluente era coletado na saída em um tambor graduado para medir as vazões pelo método volumétrico. A vazão foi

controlada abrindo e fechando uma válvula de retorno. O equipamento foi testado para taxas de aplicação próximas a 80, 150 e 200 m³/m².dia e medindo os parâmetros SSed e Turbidez, seguindo os procedimentos do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”- 19 edição. Para efeitos do teste a adição de polímeros ao efluente foi suspensa. Antes de coletar as amostras esperou-se um tempo igual a três vezes o tempo de residência, que foram de 1 hora e 22 minutos, 55 minutos e o último de 40 minutos para taxas em torno de 80, 150 e 200 m³/m².dia, respectivamente.



Fig. 4.4. – Tambor graduado para medir a vazão no decantador pelo método volumétrico.

4.2.2. Processo de Polimento que Gera o Efluente Testado

O protótipo foi instalado em uma empresa localizada em Serra, Espírito Santo. Nesta empresa o processo de polimento inicia-se com a “levigagem”, primeiro processo de desbaste que retira as maiores irregularidades da chapa de granito. Após realizar este processo a chapa entra ao polimento propriamente dito que pode ser realizado com o material resinado ou não. A resina fecha os poros, impermeabiliza e aumenta o brilho da chapa. As numerações dos abrasivos utilizados vão desde 16 ao 120 na “levigagem” e de 120 ao brilho para o polimento com ou sem resina.

O processo de separação dos sólidos do efluente é o tradicional: uma canaleta que conduz a lama onde o polímero é adicionado e uma série de tanques de decantação nos quais os flocos sedimentam.



Fig. 4.5. – Chapa resinada e saída do segundo polimento.

4.3. SEGUNDA ETAPA: ESCOLHA DO MELHOR POLÍMERO

Esta etapa foi desenvolvida entre Março e Agosto de 2006, testando diversos tipos de lamas com diferentes procedências.

4.3.1. Preparo dos Polímeros

As bolsas filtrantes são materiais que precisam de uma escolha adequada do polímero para que o sistema funcione corretamente. É necessária a formação de flocos resistentes para garantir qualidade adequada do filtrado. Por recomendação do fornecedor de polímeros (IWT, representante da CIBA) foram preparadas soluções de polímeros aniônicos e não iônicos, normalmente a 0,1% e 0,2% (0,1g de polímero sólido em 100 ml de água ou 0,2g em 100 ml de água, respectivamente), em misturador magnético com um tempo de agitação médio de 30 minutos.

4.3.2 Escolha do Melhor Polímero para o Efluente Estudado

Foram feitos “jar test” com diferentes tipos de polímeros até determinar a classe apropriada e a dosagem certa. O equipamento utilizado foi o Phipps & Bird do Laboratório de Saneamento da UFES. A rotação utilizada foi de 300 rpm ($G = 290 \text{ seg}^{-1}$) para a mistura rápida durante 10 segundos, reduzindo a rotação para 60 ou 70 rpm ($G = 20 \text{ seg}^{-1}$) durante 12 minutos uma vez formado o floco para não quebrá-lo. O tempo de sedimentação utilizado foi de 12 minutos. Em caso de lamas com muito teor de sólidos (lama bruta dos teares ou misturas de lamas) a floculação foi feita

manualmente, passando a amostra com polímero de um becker a outro até observar a formação de flocos resistentes que não quebrassem com a manipulação. Em geral procuravam-se flocos resistentes a entrada às bolsas, que não se quebrassem no caminho até o material filtrante e resistissem as pressões atuantes. Os volumes de amostras considerados foram normalmente de 500 e 1000 ml, utilizando 300 ml no caso de amostras mais densas (serragem).



Fig. 4.6. – “Jar Test” dos efluentes e preparação do polímero.

Testaram-se diversos polímeros aniônicos e não iônicos com o efluente da fase de polimento das chapas de granito de duas empresas de Cachoeiro de Itapemirim. Prepararam-se soluções com os polímeros aniônicos a 0,1% (0,1g de pó em 100ml de água) e observaram-se os volumes de solução de polímero que produziam flocos grandes e resistentes, apresentando-se as características de alguns dos polieletrólitos e os resultados na tabela 4.1 e nas figuras 4.7 a 4.9.

Tabela 4.1.- Características de alguns polieletrólitos testados.

Polieletrólito	Carácter Iônico	pH a 25° C	Densidade Aparente (g/cm ³)	Peso Molecular	Fabricante
IFLOC 101	Aniônico	6,0 (sol 1%)	0,7	Ultraelevado	CIBA
IFLOC 104 BT	Aniônico	7,3 (sol 1%)	0,75	Alto	CIBA
IFLOC 105	Aniônico	6,0 (sol 1%)	0,75	Alto	CIBA
IFLOC 300	Não Iônico	3,5 (sol 1%)	0,75	Ultraelevado	CIBA
IFLOC 504	Catiônico	3,8 (sol 1%)	0,7	Ultraelevado	CIBA

Tabela 4.2. – Polieletrólitos e volumes adicionados às amostras de lamas para uma adequada floculação.

Polímero ou Coagulante	Concentração Solução Polímero (%)	Volume amostra (ml)	Volume polímero adicionado (ml)
PAC	0,1	500	1,3
IFLOC 104	0,1	500	0,5
IFLOC 105	0,1	500	1,2
Magnafloc 1011	0,1	1000	4
Magnafloc LT 30	0,1	1000	2
Magnafloc LT 22s	0,1	1000	7
Magnafloc 333 (não iônico)	0,1	1000	4
Combinação PAC + 1011	0,1	1000	0,4(PAC) + 5 (1011)

Em todos os casos obtiveram-se flocos grandes e de boa consistência exceto com a adição do Magnafloc 333. Adicionando este polímero formaram-se flocos pequenos e fracos. A melhor clarificação da água foi obtida com a combinação PAC (coagulante) e Magnafloc 1011: o PAC formou flocos pequenos e a adição do 1011 depois de um tempo de espera de 3 minutos propiciou a formação de flocos grandes que sedimentavam rapidamente. A clarificação da água utilizando o polímero LT 30 não foi tão boa como no caso da combinação PAC + 1011. Observaram-se pequenas partículas suspensas na água quando, no caso da combinação, a água estava muito limpa.



Fig. 4.7. Floculação das amostras de lama de polimento com IFLOC 104 e 105.



Fig. 4.8. Comparação da lama bruta do polimento com as amostras após adição dos polímeros.



Fig. 4.9. Flocculação e sedimentação das amostras da lama do polimento com LT 30.

Testou-se o polímero Magnafloc 1011 também com a lama da serragem bruta e o consumo para flocculação foi de 12 ml ao 0,2% para uma amostra de lama de 300 ml.

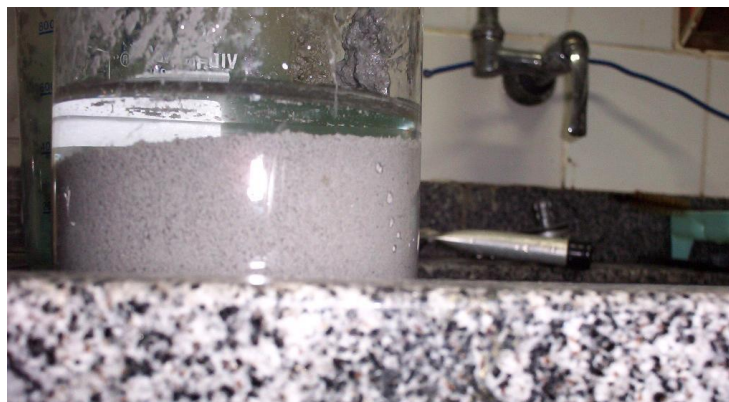


Fig. 4.10. Flocculação da lama da serragem e sedimentação dos flocos

4.4. ETAPA 3: TESTE DA BOLSA FILTRANTE

Esta etapa foi desenvolvida entre Setembro e Dezembro de 2006 em três ensaios realizados nas empresas “A” de Serra, ES, e “B” de Cachoeiro de Itapemirim, ES.

A filtração do material e a qualidade do líquido percolado foram analisadas fazendo

um teste padronizado pelo fabricante: pendurou-se uma bolsa de 1,85 m de altura e 0,7 m de largura de uma estrutura suporte (andaimes ou madeira) de uns dois metros de altura e encheu-se com quantidades variáveis de efluente, após adição do polímero escolhido. O efluente foi coletado com baldes do canal de saída das politrizes. O polímero, preparado previamente, adicionou-se ao volume de efluente em um tambor de 200 litros especialmente preparado para a experiência, misturando com uma vara de madeira até observar a formação dos flocos. Foram colocados recipientes embaixo da bolsa pendurada para coletar o líquido percolado. O efluente floculado foi colocado dentro da bolsa manualmente utilizando baldes.

Foram coletadas amostras do líquido filtrado após 1min, 10 min e uma hora de filtração, embora estes intervalos de tempo fossem flexíveis. As amostras de líquido filtrado foram coletadas da bolsa filtrante com beakers de vidro ou garrafas plásticas.

A figuras 4.11 e 4.12 mostram o dispositivo testado.



Fig. 4.11 Bolsa pendurada para teste.



Fig. 4.12 – Adição do polímero à lama e amostras do filtrado coletadas em diversos espaços de tempo.

4.5. QUARTA ETAPA: ANÁLISES DOS RESÍDUOS RETIDOS E DO FILTRADO DA BOLSA DE PENDURAR

Esta etapa foi desenvolvida paralelamente a etapa de teste da bolsa de pendurar, estendendo-se até fevereiro de 2007.

4.5.1. Umidade dos Sólidos Retidos na Bolsa

Foi medida a variação da umidade do resíduo retido dentro da bolsa filtrante ao longo de um espaço de tempo para obter uma aproximação à curva de umidade x tempo. As bolsas foram penduradas em duas empresas de mármore e granito localizadas em Vitória (Vitória Stone) e em Cachoeiro de Itapemirim (Ravaglia). A umidade foi medida indiretamente fazendo a medição dos sólidos totais da massa retida segundo o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, edição 19.



Fig. 4.13. – Sólidos retidos da mistura 80% polimento – 20% serragem.

Uma massa de amostra é pesada em uma cápsula previamente tarada e levada a estufa a uma temperatura entre 103 – 105 °C durante 24 horas. Medindo o novo peso encontra-se o peso perdido, que assume ser a água evaporada.

4.5.2. Metodologias de Análises Laboratoriais

Foram seguidos os procedimentos estabelecidos pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” – 19 edição.

4.5.3. Monitoramento Físico - Químico

Fizeram-se análises de Sólidos Sedimentáveis e Turbidez do efluente de polimento na entrada e saída do decantador, Sólidos Suspensos, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, pH dos efluentes e misturas introduzidos nas bolsas filtrantes, umidade dos resíduos contidos e Cloretos do líquido filtrado das bolsas.

4.6 AMOSTRAGEM

As amostras para testes, simples, foram coletas em garrafas plásticas no caso do decantador, em intervalos de 10 minutos, após esperar o tempo de estabilização do sistema (três vezes o tempo de residência). Estas amostras não precisam de preservação especial por não conter material orgânico.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. PRIMEIRA ETAPA: TESTES COM O SEDIMENTADOR LAMELAR DE FLUXO ASCENDENTE

O decantador foi testado nas instalações da empresa Dacaza com o efluente do polimento das chapas de granito e com diversas taxas de aplicação buscando o ponto de operação ótimo. Fechou-se a entrada de polímero e esperou-se um tempo de operação igual a três vezes o tempo de residência antes de se coletar as amostras para análises apresentando-se os resultados nas tabelas 5.1, 5.2 e 5.3. As figuras de 5.1 a 5.6 mostram os resultados de turbidez e SSD antes e depois do decantador em gráficos de dispersão.

Tabela 5.1. – Resultados para taxa em torno de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$

Parâmetro	Antes do Decantador					Depois do Decantador					Unid.	
	Horário Amostra	12:25	12:35	12:45	12:55	13:05	12:30	12:35	12:45	12:55		13:05
Turbidez		600	850	220	200	100	28	35	60	65	80	NTU
SSD		3,00	5,00	2,00	1,50	0,50	0,30	0,20	0,40	0,30	0,90	ml/L
Vazões		0,238	0,256	0,238	0,263	0,247	0,238	0,256	0,238	0,263	0,247	l/s
Vazões		20,6	22,2	20,6	22,7	21,3	20,6	22,2	20,6	22,7	21,3	m³/d
T. Aplicação		81,04	88,8	82,4	90,8	85,2	81,04	88,8	82,4	90,8	85,2	m³/m².d

Tempo de estabilização: 1 h 22 min

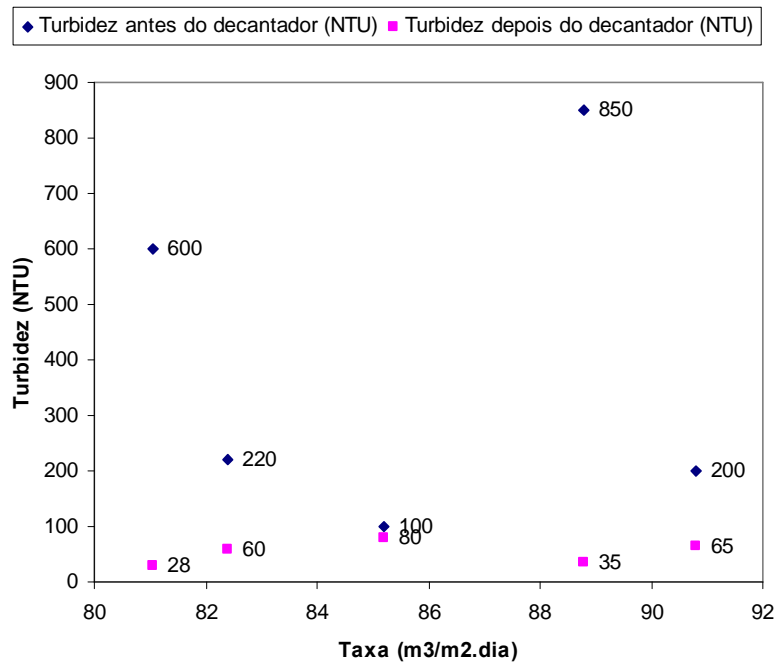


Figura 5.1. – Turbidez antes e depois do decantador (taxa em torno de 80 m³/m².dia).

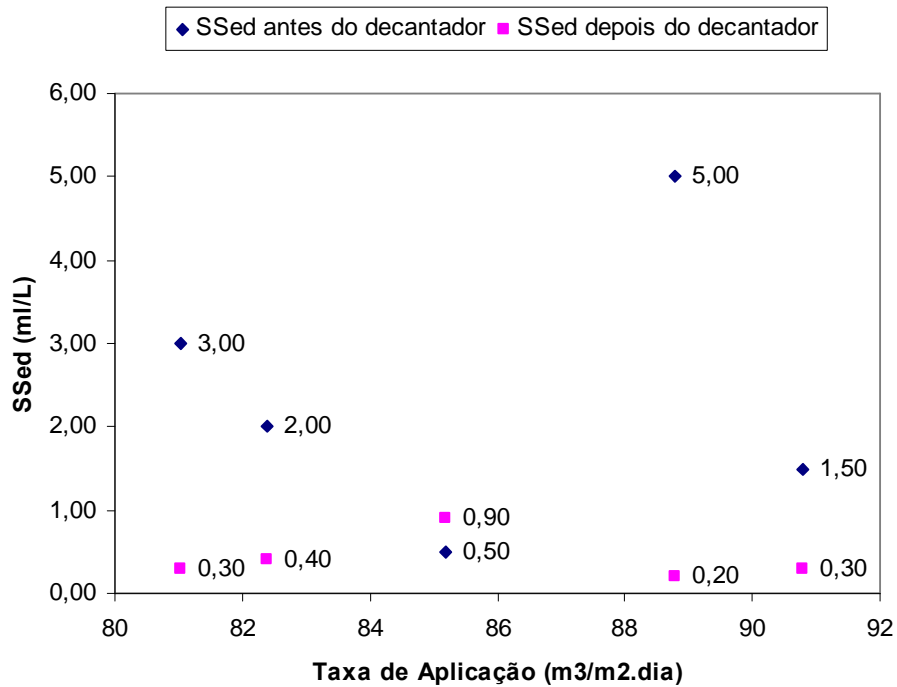
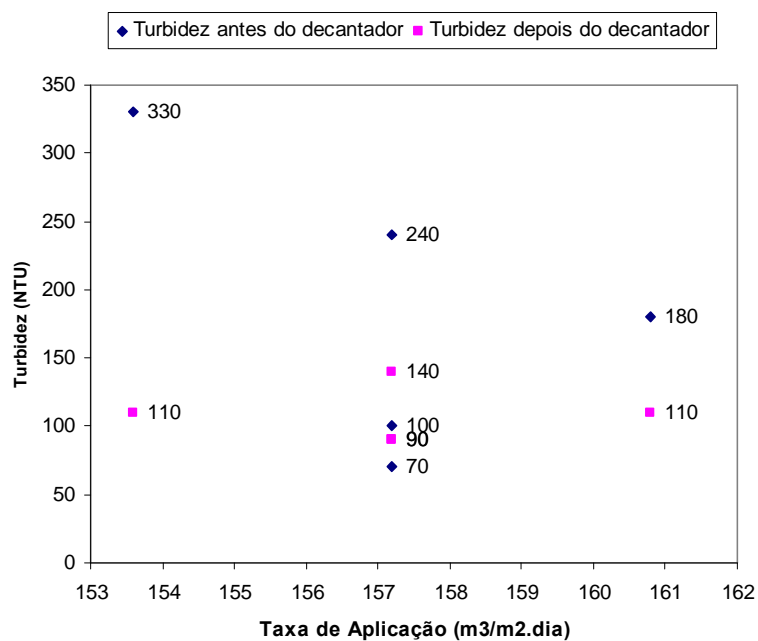


Figura 5.2. – SSed antes e depois do decantador (taxa em torno de 80 m³/m².dia).

Tabela 5.2. – Resultados para taxa de aplicação em torno de $150 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$

Parâmetro	Antes do Decantador					Depois do Decantador					Unid.	
	Horário Amostra	14:35	14:45	14:55	15:05	15:15	14:35	14:45	14:55	15:05		15:15
Turbidez		330	240	180	100	70	110	140	110	90	90	NTU
SSD		3,00	1,60	1,50	1,60	0,50	0,90	2,50	1,10	1,30	1,60	
Vazões		0,444	0,455	0,465	0,455	0,455	0,444	0,455	0,465	0,455	0,455	l/s
Vazões		38,4	39,3	40,2	39,3	39,3	38,4	39,3	40,2	39,3	39,3	
T. Aplicação		153,6	157,2	160,8	157,2	157,2	153,6	157,2	160,8	157,2	157,2	$\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$

Tempo de estabilização: 55 min

Figura 5.3 – Turbidez antes e depois do decantador (taxa em torno de $150 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$).

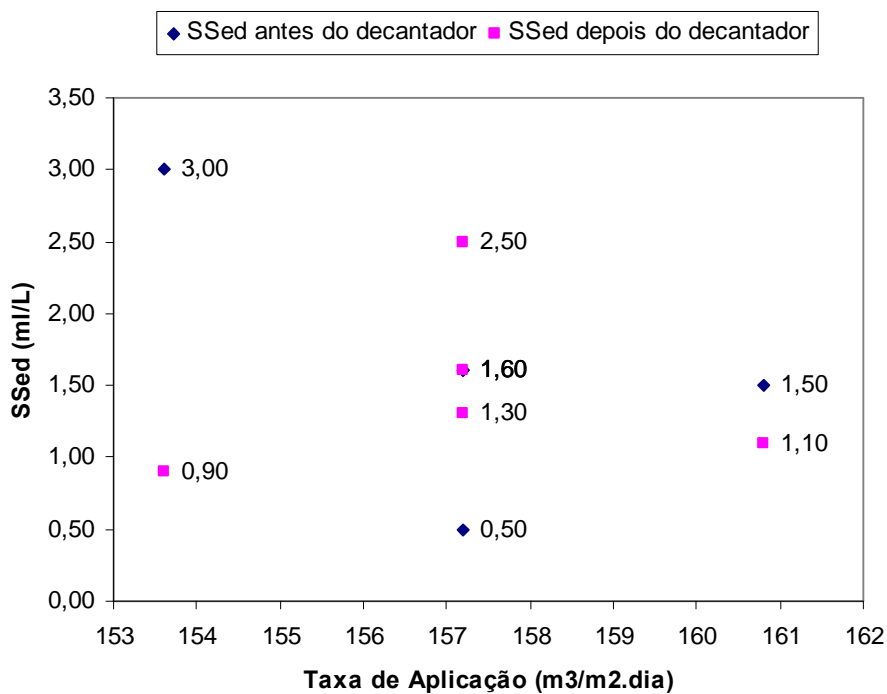


Figura 5.4 – SSed antes e depois do decantador (taxa em torno de 150 m³/m²/dia).

Tabela 5.3. – Taxa de aplicação em torno de 200 m³/m².d

Parâmetro	Antes do Decantador					Depois do Decantador					Unid.	
	Horário Amostra	16:35	16:40	16:45	16:50	16:55	16:35	16:40	16:45	16:50		16:55
Turbidez		700	550	450	650	850	170	150	160	150	140	NTU
SSD		4,00	6,50	3,00	4,50	7,50	2,50	2,00	2,50	1,00	0,70	ml/L
Vazões		0,59	0,59	0,59	0,59	0,56	0,59	0,59	0,59	0,59	0,56	l/s
Vazões		51	51	51	51	48	51	51	51	51	48	m³/d
T. Aplicação		204	204	204	204	192	204	204	204	204	192	m³/m².d

Tempo de estabilização: 40 min

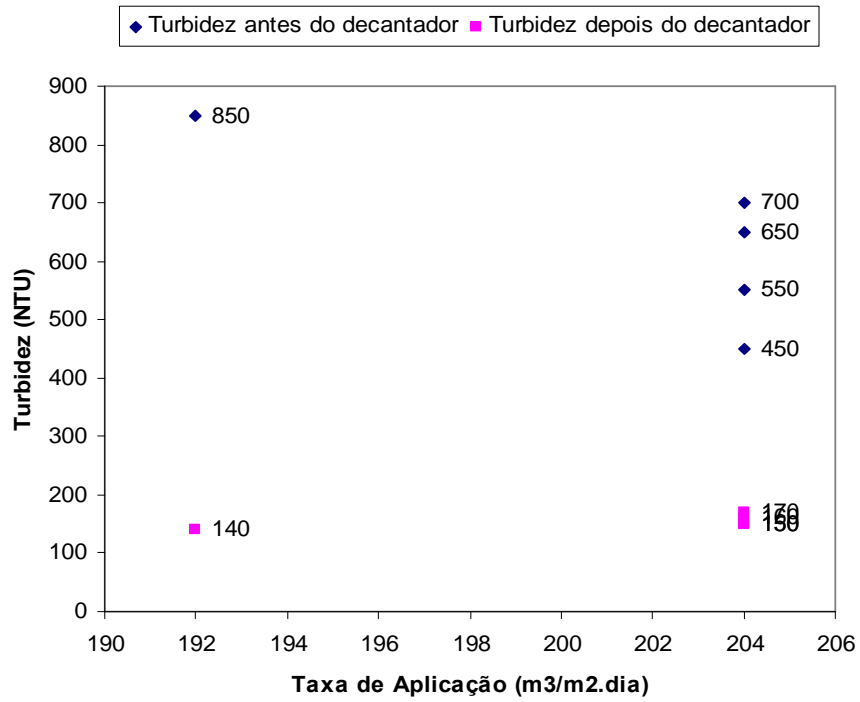


Figura 5.5 – Turbidez antes e depois do decantador (taxa em torno de 200 m³/m².dia).

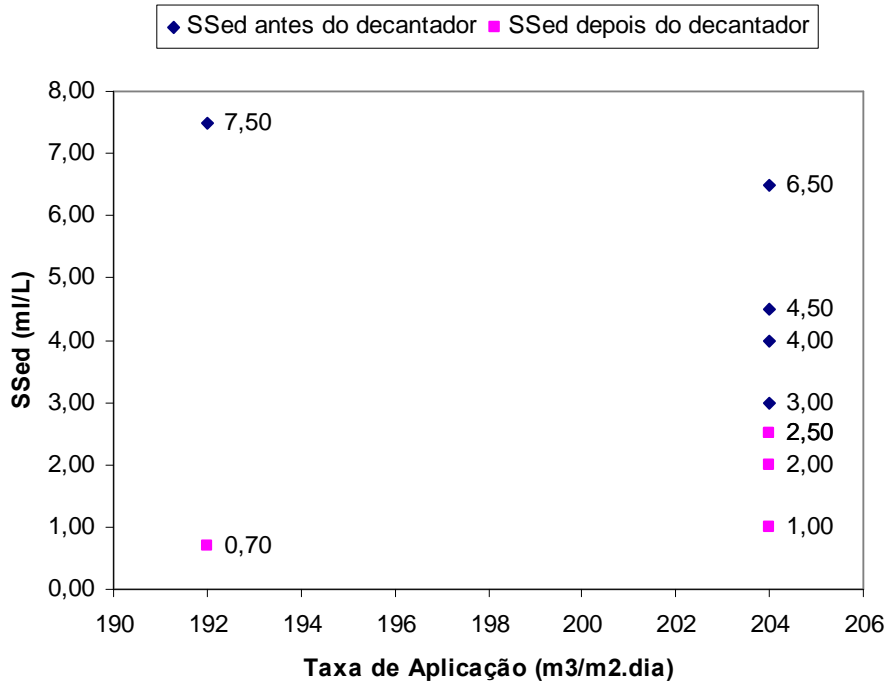


Figura 5.6 – SSed antes e depois do decantador (taxa em torno de 200 m³/m².dia).

As figuras 5.7 e 5.8 mostram, em box-plot, os resultados de entrada e saída nos parâmetros de turbidez e Sólidos Sedimentáveis.

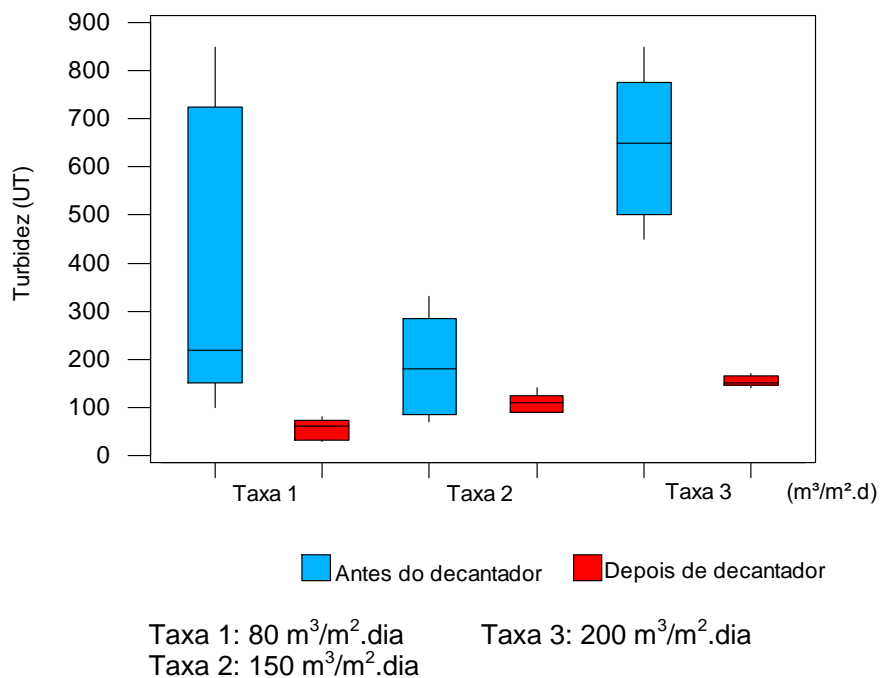


Fig. 5.7- Box Plot dos resultados de turbidez antes e depois do decantador.

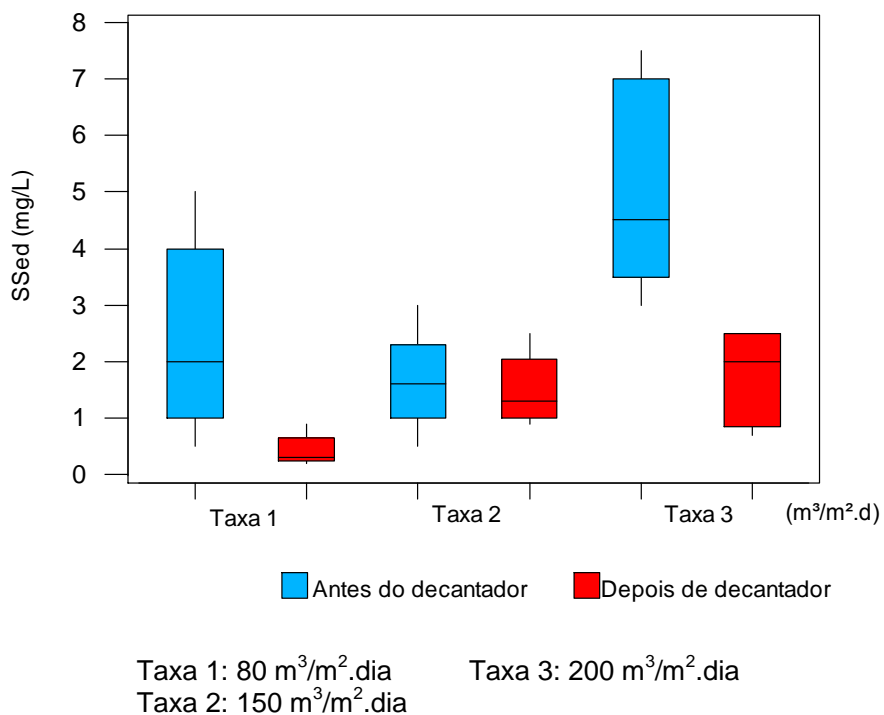


Fig. 5.8- Box Plot dos valores de SSed antes e depois do decantador.

5. Resultados e Discussão

Como pode ser observado na figura. 5.7, embora os dados de entrada da turbidez apresentem valores muito afastados da média os resultados após o decantador ficam próximos da média. Na figura 5.8 pode se observar que os valores de saída nas taxas de aplicação ao redor de 150 e 200m³/m².dia apresentam maior afastamento da média. No caso da taxa de 80 m³/m².dia manteve-se maior proximidade com o valor médio.

A tabela 5.4 apresenta as eficiências de remoção de SSed segundo os resultados apresentados nas tabelas anteriores.

Tabela 5.4 – Eficiência de remoção SSed vs Taxa de Aplicação

TAXA APLICAÇÃO (m³/m².d)	HORÁRIO AMOSTRA	EFICIÊNCIA REMOÇÃO SSed (%)
81,04	12:25	90
81,8	12:35	96
82,4	12:45	80
90,8	12:55	80
85,2	13:05	-
153,6	14:35	70
157,2	14:45	-
160,8	14:55	26,7
157,2	15:05	18,8
157,2	15:15	-
204	16:35	37,5
204	16:40	69,2
204	16:45	16,7
204	16:50	77,8
192	16:55	90,7

Os melhores valores de eficiência de remoção e de SSed depois de passar pelo decantador foram obtidos com taxas de aplicação próximas de 80 m³/m².dia, mas na taxa de 200 m³/m².dia obteve-se alguns resultados significativos. A eficiência de remoção de ST com os sistemas de decantação tradicionais atinge 97,7% para teares e 61,3% para polimento (PREZOTTI, Vitória, 2004). Os valores obtidos para o

5. Resultados e Discussão

efluente de polimento nos testes realizados são próximos a esses valores (perto de 90%) sem adição de polímeros. Conclui-se que a utilização de decantadores deste tipo para o efluente considerado, é uma opção adequada, que além de produzir bons valores de remoção necessitam de um espaço menor para a instalação do equipamento.

5.2. ETAPA 2: TESTE DA BOLSA FILTRANTE

5.2.1. Polímeros Utilizados para o Teste da Bolsa Filtrante

Para escolher o melhor polímero testaram-se em laboratório os polímeros mostrados na tabela 5.5:

Tabela 5.5 : Polieletrólitos utilizados no jar-test.

Polieletrólito	Concentração (%)	Dosagem (mL)	Turbidez Final (NTU)
IFLOC 300	0,1	1	15,9
IFLOC 104 BT	0,1	1	19,5
IFLOC 101	0,1	1	46,0

Volume amostras: 1 L
 Turbidez Inicial: > 1000 NTU
 Mistura rápida: 10 seg a 305 rpm

Floculação: 12 minutos a 70 rpm
 Sedimentação: 12 minutos
 pH: 11,55

Observaram-se os resultados mostrados na figura 5.9:

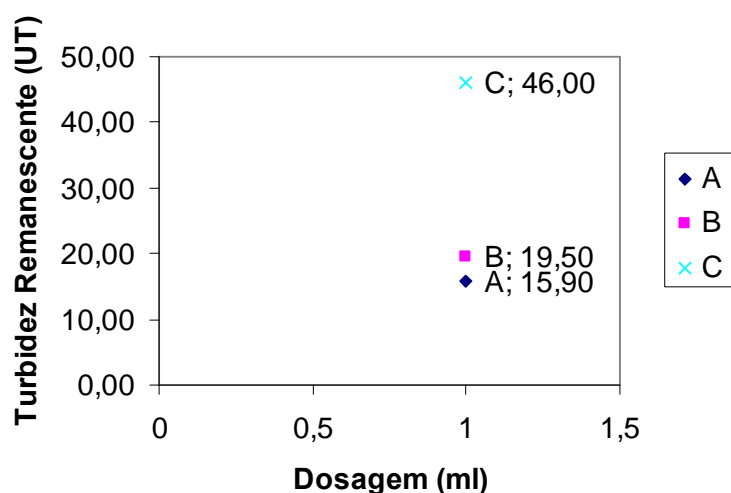


Fig. 5.9 – Turbidez remanescente segundo dosagem de diferentes polímeros.
 A: Polímero IFLOC 300. B: Polímero IFLOC 104 BT C: Polímero IFLOC 101

5. Resultados e Discussão

Com os polímeros 104 BT e 300 repetiram-se os ensaios variando a dosagem, conforme a tabela 5.6 e a figura 5.10:

Tabela 5.6.- Turbidez final segundo dosagem aplicada para dois polieletrólitos.

Polímero	Concentração (%)	Dosagem (mL)	Turbidez Final (NTU)
IFLOC 104 BT	0,1	0,5	9,99
IFLOC 104 BT	0,1	1,0	10,60
IFLOC 104 BT	0,1	1,5	12,40
IFLOC 104 BT	0,1	2,0	14,40
IFLOC 104 BT	0,1	5,0	15,00
IFLOC 101	0,1	0,5	12,00
IFLOC 101	0,1	1,0	13,20
IFLOC 101	0,1	1,5	9,06
IFLOC 101	0,1	2,0	14,10
IFLOC 101	0,1	5,0	11,60

Volume amostra: 1 L
Turbidez inicial > 1000
pH: 11.54

Mistura rápida: 10 segundos
Floculação: 12 minutos
Sedimentação: 12 minutos

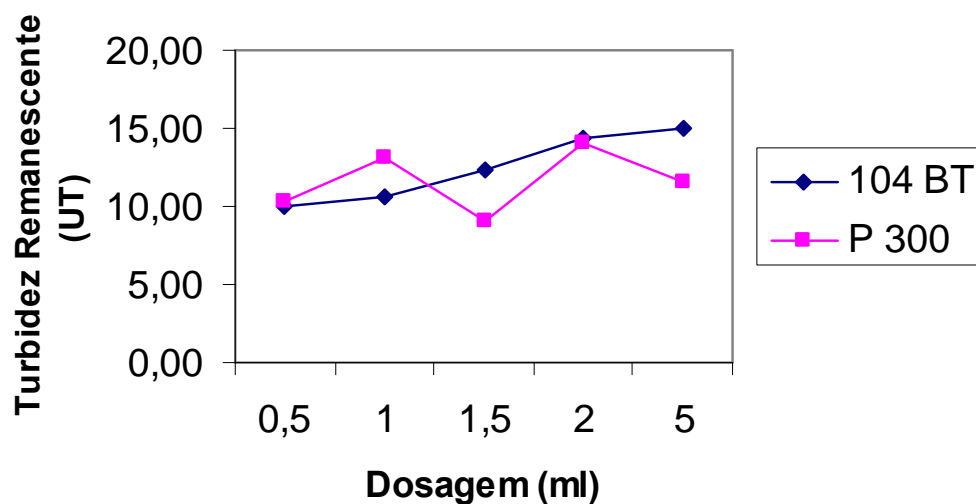


Figura 5.10. – Turbidez remanescente vs dosagem para os polieletrólitos IFLOC 104 BT e IFLOC 300.

5. Resultados e Discussão

Os resultados mostrados indicam que o melhor polieletrólito para a amostra do efluente de polimento de chapa resinada é o IFLOC 104 BT. Os resultados dos jar-tests para determinar a melhor dosagem são mostrados na tabela 5.7 e na figura 5.11:

Tabela 5.7: Turbidez remanescente para diversas dosagens do polieletrólito IFLOC 104 BT.

Dosagem (mL)	Concentração Polímero (%)	Turbidez Final (UT)
0,2	0,1	23,1
0,4	0,1	21,4
0,6	0,1	22,9
0,8	0,1	26,6
1,0	0,1	28,5
1,5	0,1	35

Volume amostra: 1 L
Turbidez inicial > 1000 NTU
pH: 11,85

Mistura rápida: 10 segundos a 300 rpm
Floculação: 14 minutos a 63 rpm
Sedimentação: 15 minutos

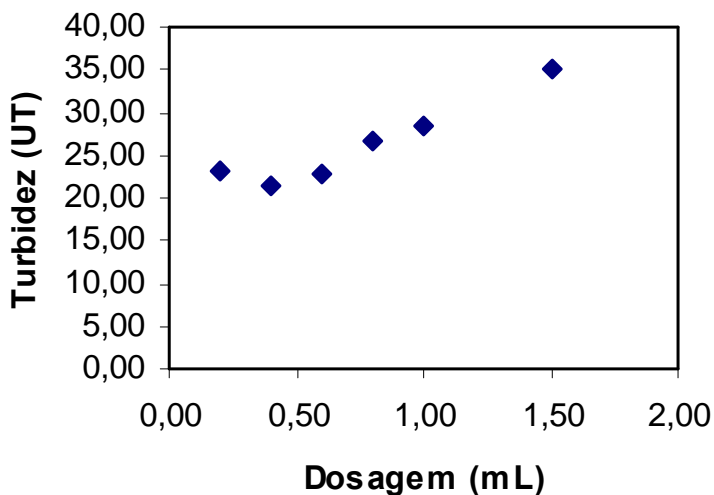


Figura 5.11: Turbidez remanescente para diferentes dosagens de IFLOC 104 BT.

Porém, para a realização dos testes com a bolsa de pendurar utilizaram-se as dosagens de polímeros mostradas na tabela 5.8. Estas dosagens fizeram à lama flocular bem com uma boa separação líquido – sólido. O critério utilizado foi a inspeção visual dos flocos e da clarificação das amostras realizadas no campo.

Tabela 5.8. – Dosagens de polímeros nos testes da bolsa de pendurar.

Procedência lama	Polímero	Volume amostra (L)	Volume polímero (L)	Concentração Polímero (%)	Dosagem Polímero (ml polímero/litro lama)
Vitória Stone Lama de polimento	IFLOC 101	108	0,43	0,1	4
Vitória Stone Mistura 60% polimento – 40% serragem	1011	120	1,4	0,2	12
Raváglia Mistura 80% polimento – 20% serragem	IFLOC 504	150	10	0,1	67

Na figura 5.12 pode-se observar os efeitos da adição de flocculantes na mistura de 60% da lama de polimento e 40% da lama da serragem.



Fig. 5.12. – Mistura de 60% lama polimento e 40% lama serragem antes e depois da flocculação com a adição de polímero.

Se o polímero fosse adicionado somente à lama da serragem bruta o consumo seria de 12ml de polímero 1011 a 0,2% em 300ml de amostra. Um volume de 120 litros requer 4,8 litros de polímero 1011 a 0,2%, ou seja, 3,43 vezes a mais do que a requerida para a mistura 60% lama de polimento – 40% lama da serragem.

5.3. TERCEIRA ETAPA: ANÁLISES DO FILTRADO E DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

5.3.1. Análises do Filtrado da Lama de Polimento no Teste da Bolsa Filtrante

Os resultados das análises de SST e Cloretos do líquido filtrado da lama de polimento coletado na Vitória Stone no teste da bolsa de pendurar são apresentados na tabela 5.9. As eficiências de remoção de SST podem ser vistas na figura 5.13.

Tabela 5.9. – Resultados de SST e Cloretos no filtrado da lama de Polimento.

Polimento		
Tempo de filtrado (min)	SST (mg/L)	Cloretos (Cl-/L)
Bruto	1870	170
1	56	240
10	66	240
30	44	270
60	30	270

pH amostra bruta: 10,22

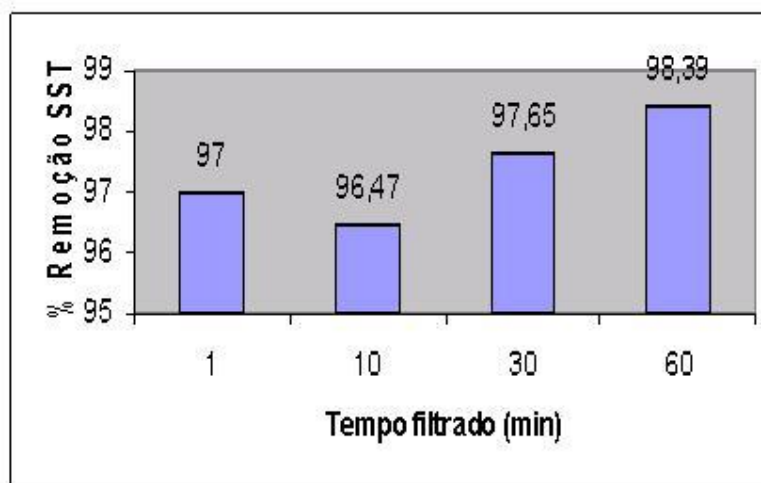


Fig. 5.13. – Eficiência de remoção de SST pelo tempo de filtração

Na figura 5.14 pode-se observar o aspecto do líquido filtrado no início de operação e na fig 5.15 a final. O tempo de filtração dos 108 litros de lama de polimento foi de 1 hora e 10 minutos.



Fig. 5.14. Aspecto do líquido filtrado no início do teste da bolsa de pendurar.



Fig. 5.15. Final do teste da bolsa de pendurar: aspecto do líquido filtrado.

Observa-se uma boa eficiência na remoção de SST, melhorando depois do tempo de estabilização do sistema, tempo em que a torta filtrante é desenvolvida.

5. Resultados e Discussão

Novamente comparando com as eficiências citadas por PREZOTTI (Vitória, 2004), a eficiência de remoção de sólidos na bolsa foi muito maior do que o 61,3% obtido para o efluente de polimento, atingindo 98,39%.

A presença de cloretos é prejudicial para os equipamentos que utilizariam esta água de reuso devido à corrosão.

5.3.2. Análises das Misturas

5.3.2.1. Mistura 60% Polimento – 40% Serragem

A tabela 5.10. apresenta os resultados das análises obtidas misturando 60% em volume de lama de polimento com 40% de lama da serragem da empresa da Serra, ES.

Tabela 5.10. – Valores de SST e Cloretos na mistura 60% polimento – 40% lama da serragem.

Mistura 60% Polimento – 40% Serragem		
Tempo de filtrado	SST	Cloretos
(min)	(mg/L)	(Cl-/L)
1	1448	450
10	22	690

pH mistura: 10,84 pH serragem: 11,70
pH polimento: 10,22

A eficiência de remoção de SST a 10 minutos foi de 98.5% com relação ao teor presente no filtrado após um minuto do início do teste. A formação da torta filtrante é mais demorada do que no caso do efluente do polimento, mas depois de dez minutos a passagem de líquido através do material foi praticamente nula. A maior turbidez do percolado em torno do primeiro minuto de filtração pode ser observada na figura 5.16.



Fig. 5.16. Início do teste com a mistura de efluentes.

5.3.2.2. Mistura 80% Polimento – 20 % Serragem

A mistura de 80% lama de polimento com 20% lama da serragem foi testada na empresa “Ravaglia” de Cachoeiro de Itapemirim. Os resultados das análises podem se observar na tabela 5.11 e na figura 5.17.

Tabela 5.11. – Valores de SST e Cloretos na mistura 80% Polimento – 20% lama da serragem.

Mistura 80% Polimento - 20% Serragem		
Tempo de filtrado (min)	SST (mg/L)	Cloretos (Cl-/L)
Bruto	31370	1689
1	94	1489
15	60	1489

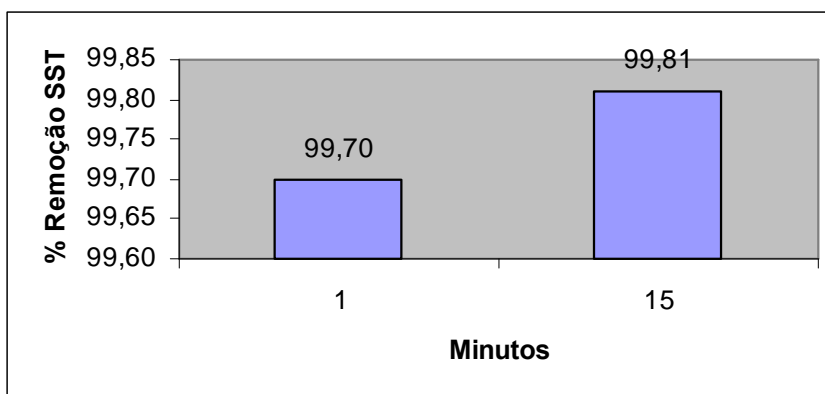


Figura 5.17 – Eficiência de remoção de SST pelo tempo transcorrido na mistura 80% polimento – 20% serragem.

Os valores de remoção de SST são adequados. São maiores do que o valor citado por PREZOTTI (2004) de 95%, e obtidos em espaço de tempo curto. A presença de cloretos é excessiva, como esperado. A torta filtrante forma-se com maior rapidez do que na mistura analisada anteriormente.

Pode-se concluir que a remoção de sólidos obtida com o sistema de bolsas filtrantes é adequada para o tratamento dos efluentes e a obtenção de água de reuso livre de partículas grossieras, que poderiam afetar o processo de polimento de chapas. A mistura de lamas de ambos os processos diminui o consumo de polímeros e, portanto, o custo de tratamento para os efluentes da serraria. Porém, o valor elevado de pH da água filtrada obtida na mistura seria problemático para o reuso da mesma sem um tratamento prévio para diminuir o pH e retirar a cal presente. Sem o tratamento, as tubulações que conduzem essa água seriam obstruídas rapidamente.

A água obtida no filtrado do efluente de polimento não tem nenhum problema para sua reutilização, tendo em vista o menor valor de pH e as eficiências de remoção de sólidos utilizando as bolsas filtrantes.

Os elevados valores de cloretos devem-se à utilização das pastilhas abrasivas magnéticas. Estas pastilhas, de granulometria variável, são as responsáveis pela fase de polimento das chapas de granito. PREZOTTI (2004) observou, quantificou e identificou a origem destas quantidades de cloretos presentes nos efluentes do polimento da IMG, salientando que concentrações de cloretos acima de 400 mg/L na

5. Resultados e Discussão

água utilizada para o polimento, prejudica a qualidade final dos produtos e afeta as tubulações e partes interiores dos equipamentos. Além mais, se os efluentes tratados das politrizes são re-circulados por períodos longos de tempo, a concentração de cloretos eleva-se, sobre tudo no material sedimentado. Remover os cloretos prejudiciais é caro e exige o emprego de tecnologia mais sofisticada. A presença deles pode ser evitada utilizando as pastilhas diamantadas, cujo custo é maior, mas que protege ao sistema da presença de compostos que, no final, vão trazer problemas muito mais caros de resolver.

5.3.3. Variação da Umidade dos Sólidos Retidos na Bolsa

A tabela 5.12. apresenta a variação do teor de umidade nos sólidos retidos na bolsa filtrante com o transcorrer do tempo.

Tabela 5.12. – Variação da umidade com o tempo transcorrido nos sólidos retidos da mistura e do polimento.

Mistura 60% Polimento - 40% Serragem			Polimento		
Dias	%Sólidos Totais	% Umidade	Dias	%Sólidos Totais	% Umidade
1	39,1	60,9	1	59,6	40,4
7	56,2	43,8	7	65,9	34,1
48	81,2	18,8	48	97,5	2,5

Considerando-se que para enviar os sólidos a um aterro a percentagem de umidade deve ser menor do que 30% a perda de umidade para os sólidos do polimento e da mistura atingem esse valor rapidamente.

Em base aos resultados anteriores surge a seguinte proposta de gerenciamento dos efluentes e resíduos da indústria do mármore e granito (Figuras 5.18 e 5.19):

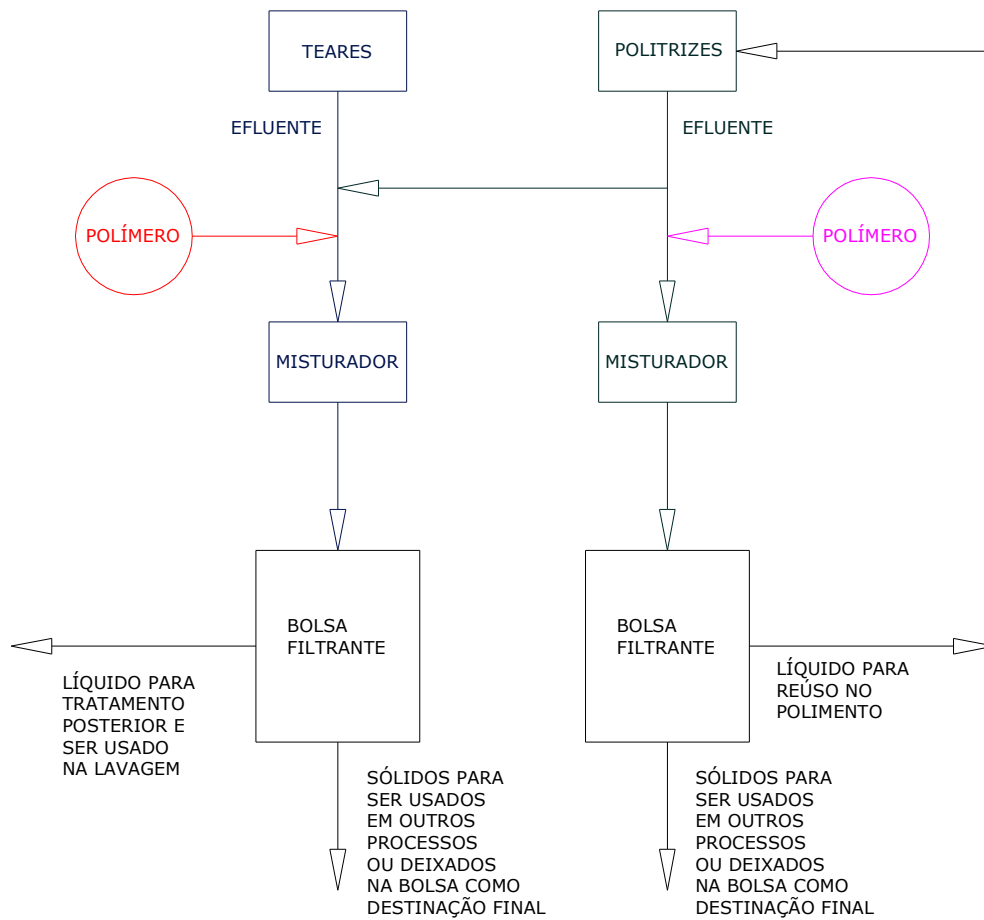


Fig. 5.18- Lay Out do Tratamento dos efluentes da IMG utilizando bolsas filtrantes.

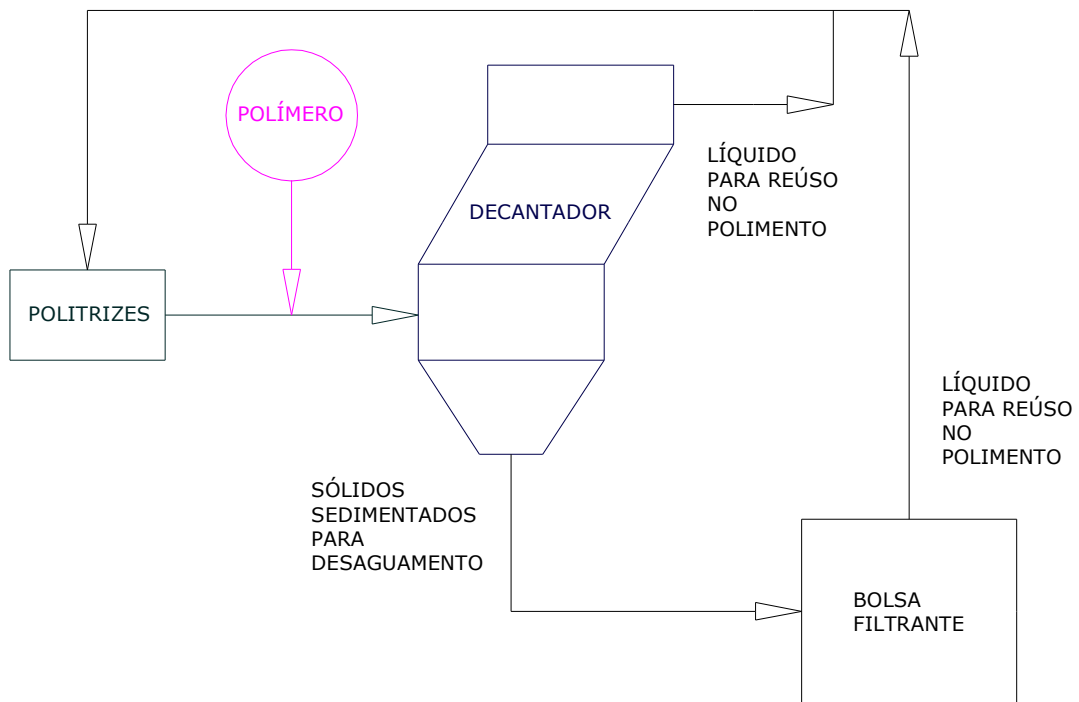


Fig. 5.19.- Lay Out do tratamento dos efluentes do polimento na IMG.

Os sistemas propostos têm a grande vantagem de requerer manutenção e operação simples, sem grande especialização, com um mínimo de equipamentos eletro mecânicos.

6. CONCLUSÕES

- As exigências para reutilização da água contemplam ausência de sólidos grosseiros que possam danificar a superfície das chapas no polimento e um pH não tão elevado para evitar incrustações nas tubulações. As características da água obtida utilizando o protótipo são suficientes para garantir a reutilização da água sem sólidos grosseiros.
- A decantação lamelar é uma opção efetiva para a separação líquido – sólido nos efluentes do polimento testados (as eficiências de remoção de SSD foram maiores do que 90%) para taxas ao redor de 80 m³/m².dia. O equipamento é compacto, poupa área no empreendimento e é simples de operar e manter. O material sedimentado pode passar ainda para uma bolsa filtrante ou outro equipamento similar para seu desaguamento e confinamento.
- Os valores de SST do polimento e das duas misturas (30, 22 e 60 mg/L) são adequados. A bolsa retém os sólidos grosseiros e garante que o líquido não apresenta perigo para danificar a superfície das chapas que entram ao polimento.
- As bolsas filtrantes apresentam interessantes valores de remoção de sólidos no líquido filtrado. Os sólidos retirados do efluente ficam confinados dentro da bolsa, que pode ser utilizada como destino final deles ou como depósito momentâneo até levá-los para ser utilizados em outros processos produtivos. Até a granalha de ferro e restos de lâminas de corte são contidos sem prejudicar o processo. Este sistema mostra-se bom para tratar as águas residuárias da IMG.

7. RECOMENDAÇÕES

- Fazer mais testes da bolsa piloto com outras percentagens de misturas de lamas para obter maior representatividade.
- Os testes anteriores devem ser feitos em empresas de diferentes áreas do estado para se comparar o comportamento das lamas de diversas procedências.
- Deve-se analisar o comportamento do efluente do polimento sem resina para observar variações na floculação e na sedimentação no decantador.
- Refinar os processos analisados no decantador visando à automação deles, sobre tudo a descarga dos sedimentos no fundo.
- A seleção de polímeros deve ser feita de um modo mais sistematizado, utilizando parâmetros como a turbidez, por exemplo.
- Fazer um estudo de custos comparativos com sistemas tradicionais.
- Para reutilização deve-se fazer abrandamento da água de recirculação, remoção de calcio e neutralização do pH.
- Testar outras taxas de aplicação mais elevadas, até 400 m³/m².dia.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19 ed. Washington D.C. American Public Health Association, 1995.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). **Balanço das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2005**. São Paulo, 2006
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). **Balanço das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais de Janeiro a Novembro de 2006**. São Paulo, 2006.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). **Conheça as rochas ornamentais**. São Paulo, 2004. Disponível em http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_01.php Acesso: 28/01/2007.
5. CALMON, João; TRISTÃO, Fernando; LORDÉLLO, Fernando; DASILVA, Sérgio; MATTOS, Flávio. **Aproveitamento do Resíduo de Corte de Granito para a Produção de Tijolos de Solo-Cimento**. Florianópolis, 1998.
6. CERQUEIRA, Aladim Fernando; PREZOTTI, Julio César Simões. **Depósitos Coletivos de Resíduos do Setor de Rochas Ornamentais. Explicação de Fatos no Brasil e na Europa**. Palestra, 2006.
7. DA SILVA, Luiz. M; AMARANTE, Maria Lúcia; SEIXAS, Elisa. **Rochas Ornamentais: Exportações Promissoras**. Rio de Janeiro, 2003.

8. Referências Bibliográficas

8. DESCHAMPS, Eleonora; MAIA J, Braz.; SCALAMBRINI, Celso; VIEIRA, Maria; SCHWABE, Wilfrid; DE CARVALHO, Carlos A.; PEREIRA, Marco A.; LOPES, Cláudio. **Controle Ambiental na Mineração de Quartzito Pedra São Tomé**. Belo Horizonte, 2002.
9. DE OLIVEIRA, Shirley Rosana. **Interação de Ácido Algínico com Surfactantes Catiônicos em Solução Aquosa**. Tese de Doutorado. Área de Concentração em Biofísica Molecular do Departamento de Física do Instituto de Ciências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, UNESP. São José de Rio Preto, São Paulo, 2006.
10. DE SENNA, Rênio Felix. **Avaliação da Biomassa Obtida pela Otimização da Flotação de Efluentes da Indústria de Carnes para Geração de Energia**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.
11. FRANCI GONÇALVES, Ricardo; LUDUVICE, Maurício; VON SPERLING, Marcos. **Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final. Cap. 5: Remoção da Umidade de Lodos de Esgotos**. Belo Horizonte, 2001.
12. FONTES VIEIRA, Carlos Mauricio; PEÇANHA, Luis Antônio; NEVES MONTEIRO, Sérgio. **Efeito da Incorporação de Resíduo da Serragem de Granito em Massa de Cerâmica Vermelha**. Campos dos Goytacazes, 2003.
13. GAVASSONI, Ivan; FERREIRA, Julio C. **Avaliação da Eficiência de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais de Beneficiamento de Rochas Ornamentais**. Serra, 2004.

8. Referências Bibliográficas

14. INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA INDUSTRIAL (INETI). **Guia Técnico. Sector da Pedra Natural.** Lisboa, 2001.
15. MALDONADO YACTAYO, VÍCTOR. **Sedimentación. Cap. 7.** Lima, CEPIS, 2004.
16. MARBLE. Disponível em www.marble.com.br/article/articleprint/875/-1/47/. Acesso em 20/12/2006. Data de publicação: 24.09.2004
17. MARQUES, Nuno; BRANCO, Fernando; DOS SANTOS, Roberto. **Impactes Ambientais das Lamas de Rochas Ornamentais.** Lisboa, 2005
18. MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. **Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha.** Rio de Janeiro, 2003.
19. PAIVA BARBOSA, Nathalia. **Sistemas Tubulares para Contenção de lodo e sedimentos Contaminados.** Dissertação de mestrado em Ciências na Area de Infra-Estrutura de Transportes do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São Paulo, 2005.
20. PALOMARES DIAZ, Carlos Alberto; IGNÁCIO PIRES, Sílvio Roberto. **Produção Mais Limpa: Integrando Meio Ambiente e Produtividade.** São Paulo, 2005.
21. PEREIRA GONÇALVES, Jardel. **Utilização do Resíduo de Corte de Granito (RCG) como adição para produção de Concretos.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

8. Referências Bibliográficas

22. PREZOTTI, Júlio C. **Resultados de Monitoramentos de Estações de Tratamento de Efluentes Líquidos de Indústrias de Beneficiamento de Mármore e Granito, Implantadas no Município de Cachoeiro de Itapemirim.** Vitória, 2004.
23. RICHTER, Carlos A.; DE AZEVEDO NETTO, José M. **Tratamento de Água.** São Paulo, 2000.
24. SILVA LORA, Electo Eduardo. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte.** Rio de Janeiro, 2002.
25. SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS (SBRT). **Aproveitamento de Resíduos da Indústria de Beneficiamento de Mármore e Granito e Equipamentos usados no processo de separação.** Disponível em www.sbrt.ibict.br . Aceso em 20/12/2006
26. VILLASCHI FILHO, Arlindo; DE SOUZA SABADINI, Maurício. **Arranjo Produtivo de Rochas Ornamentais (mármore e granito) no estado do Espírito Santo.** Rio de Janeiro, 2000.