

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
TECNOLOGIA AMBIENTAL

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

ALTERNATIVAS DE REUSO DE ÁGUA EM
INDÚSTRIAS DE BENEFICIAMENTO DE
MINÉRIO

Daniel Corrêa de Assis Fonseca

Belo Horizonte
2008

Daniel Corrêa de Assis Fonseca

**Alternativas de reuso de água em indústrias de
beneficiamento de minério**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Engenharia Sanitária

Orientador: Prof. Dr. Eduardo von Sperling

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2008

Agradeço a todos os professores, colegas e amigos
colaboradores que me apoiaram e instruíram durante
a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Em consequência do enorme crescimento da população humana e de todo o desenvolvimento tecnológico alcançado no último século, pode-se constatar que as relações de consumo dos seres humanos com os chamados recursos naturais, mudaram drasticamente. Recursos estes, essenciais para a manutenção da qualidade de vida atual e do desenvolvimento que ainda está por vir.

Utilizada em larga escala para usos industriais, a água passou a ter status de commodity¹ nas últimas décadas, tornando-se fator determinante na viabilização técnica e econômica de empreendimentos industriais.

Consciente das adequações necessárias aos padrões de sustentabilidade atuais e procurando até mesmo alcançar uma imagem ambientalmente positiva, a indústria de bens minerais brasileira tornou-se refém de uma posição pró-ativa relativa ao uso adequado deste recurso. Para tal foram criados dispositivos, sejam eles operacionais ou tecnológicos, com o intuito de reduzir o consumo e quando possível, adequar a água para que ela seja recirculada dentro das próprias instalações industriais.

A água recirculada na indústria de beneficiamento mineral pode ser utilizada como suprimento de água de processo, como fonte de irrigação de taludes e de canteiros, lavagens de máquinas, tubulações e pisos, no processo de controle de emissões atmosféricas aspergindo pilhas de minério e de vias de acesso, etc.

Esse trabalho ilustra o desenvolvimento das alternativas de reuso e adequação da água industrial oriunda de empreendimentos minerários, possibilitando que as mineradoras produzam de forma sustentável.

Palavras-chave: Sustentabilidade, beneficiamento, alternativa

¹ Commodity: Commodity é um termo de língua inglesa que, como o seu plural commodities, significa mercadoria, é utilizado nas transações comerciais de produtos de origem primária nas bolsas de mercadorias. Usada como referência aos produtos de base em estado bruto (matérias-primas) ou com pequeno grau de industrialização, de qualidade quase uniforme, produzidos em grandes quantidades e por diferentes produtores. Estes produtos "in natura", cultivados ou de extração mineral, podem ser estocados por determinado período sem perda significativa de qualidade.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivos	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Processo de Tratamento de Minérios.....	12
2.2 Demanda de Água no Processamento de Minério.....	16
2.3 Características do Efluente Gerado e Escolha do Tratamento	20
2.4 Tipos de Tratamento de Água a Serem Utilizados.....	23
2.5 Legislação Ambiental	24
3. ALTERNATIVAS APLICÁVEIS.....	28
3.1 Barragem de Rejeitos.....	28
3.1.1 Instalações	30
3.1.2 Método de jusante.....	32
3.1.3 Método de linha de centro.....	34
3.2 Espessadores.....	36
3.2.1 Espessadores Convencionais.....	39
3.2.2 Espessadores de alta capacidade.....	41
3.2.3 Espessadores de alta densidade	41
3.3 Filtragem	44
3.3.1 Filtros de disco á vácuo.....	45
3.3.2 Filtros de esteira.....	46
3.3.3 Filtros prensa	48
3.4 Estações de Tratamento de Água Convencionais.....	50
3.4.1 Aeração	51
3.4.2 Coagulação.....	52
3.4.3 Unidade de mistura rápida	52

3.4.4	Floculação	53
3.4.5	Decantação	54
3.4.6	Filtração	55
4.	CONCLUSÕES	57
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANA -	Agência Nacional das Águas
CONAMA -	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO -	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETA -	Estação de Tratamento de Água
Kg -	Quilograma
m ² -	Metro Quadrado
m ³ -	Metro Cúbico
mg -	Miligrama
NBR -	Norma Brasileira
pH -	Potencial Hidrogeniônico
ppm -	Parte por Milhão
UNT -	Unidades nefelométrica de turbidez

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 –	Fluxograma típico de uma unidade de tratamento de minério de ferro...	13
Figura 2.2 –	Resumo da demanda de uma usina de tratamento de vanádio.....	18
Figura 2.3 –	Sistema de aspersão automática em vias de acesso à Mina de Tamanduá – Minas Gerais, de propriedade da VALE.....	19
Figura 2.4 –	Lavagem de piso de uma unidade de tratamento.....	19
Figura 2.5 –	Diagrama de blocos de um sistema tradicional de tratamento de efluentes	24
Figura 3.1 –	Esquema de reaproveitamento de águas.....	29
Figura 3.2 –	Esquema de construção de barragem pelo método de montante.....	31
Figura 3.3 –	Esquema de construção de barragem pelo método de jusante.....	33
Figura 3.4 –	Esquema de construção de barragem pelo método linha de centro.....	34
Figura 3.5 –	Barragem de rejeitos.....	36
Figura 3.6 –	Espessadores instalados na Usina de Germano – Samarco.....	37
Figura 3.7 –	Corte de um espessador de alta capacidade.....	41
Figura 3.8 –	Esquema de um espessador de alta densidade utilizado para preenchi- mento de cava subterrânea	43
Figura 3.9 –	Aspecto da pasta oriunda de espessadores de alta densidade.....	43
Figura 3.10 –	Fluxograma de filtros associados a pós-tratamentos.....	44
Figura 3.11 –	Etapas de funcionamento do filtro de disco á vácuo.....	46
Figura 3.12 –	Esquema de funcionamento de um filtro de esteira.....	48
Figura 3.13 –	Esquema de funcionamento de um filtro prensa.....	49
Figura 3.14 –	Estação de tratamento de água convencional.....	51
Figura 3.15 –	Vista em três dimensões de uma estação de água pré-fabricada.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 –	Principais impactos ambientais da mineração no Brasil.....	15
Tabela 2.2 –	Consumo de água em litros por tonelada de minério beneficiada, em algumas usinas de beneficiamento pelo mundo.....	20
Tabela 2.3 –	Classificação das águas doces, salobras e salinas do Brasil.....	27
Tabela 3.1 –	Quadro comparativo entre as possibilidades.....	35
Tabela 3.2 –	Dados de referência para dimensionamento de espessadores.....	40

1. INTRODUÇÃO

A mineração é tida mundialmente como uma das atividades industriais com maior potencial poluidor. Nos países onde a legislação ambiental é frágil, e o poder econômico dessas empresas impera sobre o poder do Estado, a atividade mineraria chega a ser fator de conflitos entre a sociedade e a iniciativa privada. Isso é provocado em grande parte devido a imagem de degradação ambiental e geração de grandes passivos ambientais associados à atividade.

Desde os primórdios a indústria de beneficiamento mineral depende da utilização de água como um dos seus principais insumos produtivos, apesar de no passado, raramente ter se preocupado com aspectos ambientais ou econômicos da utilização deste recurso natural. Com o passar dos anos, tanto a diminuição da disponibilidade quanto a valorização da utilização dos recursos hídricos transformaram completamente este panorama. A utilização desenfreada e sem controle da água sucumbiu, não mais existindo na cadeia produtiva brasileira. Órgãos ambientais, legislação ampla e aprofundada, e profissionais especializados tornaram-se instrumentos intrínsecos para a engenharia de desenvolvimento de projetos de unidades de beneficiamento de minérios, sejam eles ouro, minério de ferro, cobre etc.

Atualmente, a água utilizada para processo, resfriamento e transporte de polpa de minério chega a ser considerada por inúmeras vezes, o caminho crítico de projetos de implantação ou de expansão de unidades de beneficiamento mineral. Estudos hidrológicos e hidrogeológicos são realizados para avaliação da qualidade da água disponível, distância de captação e de transporte, e principalmente, a disponibilidade dos recursos hídricos da região escolhida para alocar algum novo empreendimento.

Caso estes estudos sejam convincentes e positivos, é dado o sinal verde para o prosseguimento dos estudos de engenharia, incluindo-se nisso o pedido de outorga ao uso das águas, análise física, química e bacteriológica dos recursos disponíveis, análise de utilização de poços profundos, etc.

O desenvolvimento de novas necessidades, novos equipamentos e o aparecimento de legislação ambiental restritiva e dotada de instrumentos punitivos, fez com que todas as usinas de beneficiamento, sem exceção, necessitassem se adequar aos novos tempos. Tempos estes que primam pela utilização sustentável dos recursos hídricos, monitorando e mantendo a qualidade dos corpos de água que servem como suprimento de água das plantas ou como receptores de águas já servidas.

Operacionalmente torna-se pouco provável continuar as atividades de alguma usina de tratamento de minério que não esteja inserida no contexto de alto índice de recuperação de água sob o ponto de vista econômico, ambiental e social. Importante ressaltar que recuperar a água não é o bastante. Recuperar altos índices, cerca de 75 a 90 % do total consumido, é o que mineradoras de grande porte têm objetivado nos últimos anos.

Serão apresentadas nesse trabalho monográfico as alternativas técnicas cabíveis para possibilitar a adequação da água aos parâmetros necessários para a recirculação dentro das usinas. São elas: barragens de rejeitos, espessadores, filtros de esteira e prensa, estações de tratamento de água bruta e estações de tratamento de efluentes industriais.

A grande dificuldade em relação à engenharia e à construção destes dispositivos de recirculação e/ou adequação das águas nas unidades de beneficiamento, seriam a presença de metais pesados e ânions tóxicos, sólidos suspensos, resíduos orgânicos (surfactantes, óleos, espumantes) e os grandes volumes a serem tratados. Sabe-se hoje por prática industrial, que a indústria de beneficiamento de minério de ferro chega a utilizar 6m³ de água para cada tonelada de concentrado produzido pela usina, dependendo do tipo de instalação existente e do concentrado a ser produzido.

1.1 Objetivos

Os objetivos gerais desse trabalho são descrever e analisar tecnicamente cada um dos mecanismos capazes de promover o reuso das águas dentro das usinas. São eles: barragens de rejeito, espessadores, filtros e estações de tratamento de água. Além disso, traçar um breve histórico das alternativas de reuso.

Como objetivo específico o estudo propõe comparar tecnologias, observando-se viabilidade econômica, técnica e ambiental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Processo de Tratamento de Minérios*

A atividade minerária tem como maior objetivo a exploração de minérios com o intuito de se produzir bens minerais que podem ser úteis a praticamente todos os setores industriais existentes, direta ou indiretamente. Os minérios são definidos como rochas constituídas por vários minerais, em diferentes proporções, onde um ou mais desses minerais podem possuir interesse econômico.

“A mineração é uma atividade que é (e continuará sendo) a principal provedora de materiais para a humanidade. Os desafios técnicos, sociais e ambientais que se colocam para a indústria mineral, em nível mundial, requerem o aperfeiçoamento e o contínuo desenvolvimento de novos métodos de mineração e de processamento de minerais que permitam minimizar os impactos ao meio ambiente e, ao mesmo tempo, fornecer os recursos necessários para a economia.” (Disponível em <www.mining.ubc.ca> Acesso em: 12 outubro 2009)

A produção dos minerais de interesse acontece em um conjunto de etapas que serão descritas a seguir:

- Pesquisa ou prospecção: busca e reconhecimento da ocorrência dos recursos naturais, e estudos para determinar se a jazida tem valor econômico
- Exploração Mineral e Desenvolvimento: estudos multidisciplinares realizados por geólogos, engenheiros, economistas, etc; indicarão se o minério em questão pode ser explorado
- Mineração ou Exploração: extração do minério do subsolo, seja em cavas subterrâneas, seja em cavas a céu aberto
- Beneficiamento ou Processamento de minério: conjunto de operações básicas com o objetivo de se obter a adequação química e física do mineral economicamente viável
- Fundição e Refino: extração do metal puro a partir do concentrado mineral
- Transporte: carregamento do concentrado mineral até o mercado consumidor

O conjunto de operações realizadas como o intuito de se adequar o minério bruto, às condições físico-químicas necessárias para a sua comercialização, geralmente é nomeado como Beneficiamento, Tratamento ou Processamento de minério. Dentre as operações ocorridas no processamento de um minério podemos citar as mais importantes: a cominuição (diminuição de granulometria), classificação (colocação dos materiais dentro de uma faixa granulométrica), concentração (separação do mineral com valor econômico dos demais), separação sólido-líquido (recuperação da água utilizada nas operações anteriores), disposição de rejeitos, e algumas operações auxiliares.

A água é utilizada em todas as etapas que empregam processos de separação a úmido como a concentração gravítica, concentração magnética, flotação, lixiviação, etc. As vazões necessárias para estas operações atingem valores elevados.

Cabe lembrar que, na flotação, o total de água utilizada chega a 85% do volume da polpa minério/água. Na flotação de minério de ferro, na Samarco, por exemplo, utiliza-se por volta de 3,80 m³ de água por tonelada de minério alimentada e 6,0 m³ de água por tonelada de minério produzida, sendo apenas 6% água nova e o restante recirculada.

O fluxograma de processo de uma usina de tratamento de minério de ferro típica para a produção de Pellet Feed (finos de minério < 0,15 mm), com todas as etapas necessárias para tal, é apresentado a seguir na Figura 2.1:

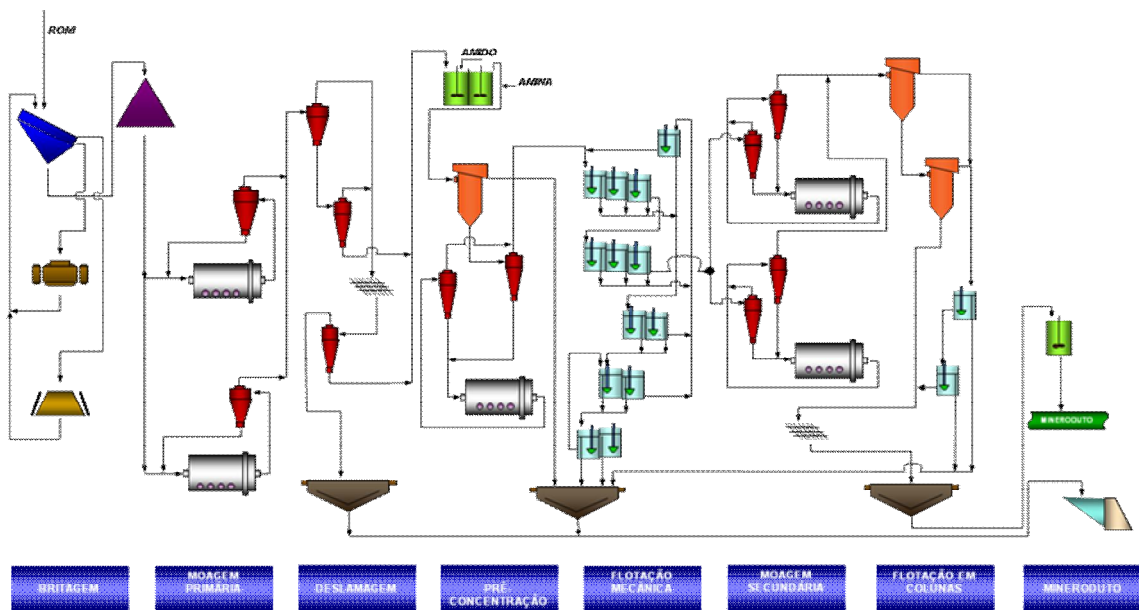


Figura 2.1: Fluxograma típico de uma unidade de tratamento de minério de ferro

Usualmente todas essas operações constituintes do tratamento de minério, são realizadas em conjunto em uma só unidade industrial, sendo arranjadas de forma seqüencial e contínua. Isso aumenta a viabilidade econômica e diminui os impactos ambientais decorrentes da atividade. Quando ocorrem em locais distintos o impacto ambiental aumenta porque a área de influência direta do empreendimento é maior.

Como resultante do processo de extração e processamento de minérios, dois tipos de resíduos são gerados: os estéreis (fração com cerca de 8% de umidade), que são dispostos em pilhas ou cavas já exauridas, e os rejeitos (fração úmida – cerca de 50% de umidade) que normalmente são destinados a barragens de contenção, de onde a água incorporada pode ser captada e recirculada se tomados os devidos cuidados.

Os estéreis não possuem características poluidoras, já os rejeitos podem ser altamente tóxicos, podem possuir alto índice de sólidos dissolvidos e em suspensão, metais pesados e reagentes utilizados no processo de beneficiamento. Por isso, as barragens de rejeitos têm que ser dimensionadas e construídas levando-se em conta vários fatores, como será melhor explicado no capítulo 3.1 deste estudo.

FARIA (2002) resume na Tabela 2.1 alguns dos impactos ambientais negativos oriundos das atividades minerárias no Brasil. Pode-se observar na tabela que o impacto ambiental negativo mais comum, decorrente deste tipo de atividade, é a poluição das águas e do solo causadas pela disposição inadequada de rejeitos.

Tabela 1 – Principais impactos ambientais da mineração no Brasil (FARIA, 2002) - Adaptado

Substância Mineral	Estado	Principais Problemas	Ações Preventivas e/ou Corretivas
Ferro	MG	Antigas barragens de contenção, poluição de águas superficiais	Cadastramento das principais barragens de decantação em atividade e as abandonadas; caracterização das barragens quanto à estabilidade; preparação de estudos para estabilização.
Ouro	PA	Utilização de mercúrio na concentração do ouro de forma inadequada; aumento da turbidez, principalmente na região de Tapajós	Divulgação de técnicas menos impactantes; monitoramento de rios onde houve maior uso de mercúrio.
	MG	Rejeito ricos em arsênio; aumento da turbidez.	Mapeamento e contenção dos rejeitos abandonados
	MT	Emissão de mercúrio na queima da amálgama.	Divulgação de técnicas menos impactantes.
Chumbo, Zinco e Prata	SP	Rejeitos ricos em arsênio.	Mapeamento e contenção dos rejeitos abandonados.
Chumbo	BA	Rejeitos ricos em arsênio.	Mapeamento e contenção dos rejeitos abandonados.
Zinco	RJ	Barragem de contenção de rejeitos de antiga metalurgia, em péssimo estado de conservação.	Realização das obras sugeridas no estudo contratado pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro.
Carvão	SC	Contaminação das águas superficiais e subterrâneas pela drenagem ácida proveniente de antigos depósitos de rejeitos.	Atendimento às sugestões contidas no Projeto Conceitual para recuperação da Bacia Carbonífera Sul Catarinense.
Agregados para construção civil	RJ	Produção de areia em Itaguaí/Seropédica: contaminação do lençol freático, uso futuro da terra comprometido devida à criação desordenada de áreas alagadas.	Disciplinamento da atividade; estudos de alternativas de abastecimento
	SP	Produção de areia no Vale do Paraíba acarretando a destruição da mata ciliar, turbidez, conflitos com uso e ocupação do solo, acidentes nas rodovias causados pelo transporte.	Disciplinamento da atividade; estudos de alternativas de abastecimento e de transporte.
	RJ e SP	Produção de brita nas Regiões Metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo, acarretando: vibração, ruído, emissão de particulado, transporte, conflitos com uso e ocupação do solo.	Aplicação de técnicas menos impactantes; estudos de alternativas de abastecimento.
Calcário	MG e SP	Mineração em áreas de cavernas com impactos no patrimônio espeleológico.	Melhor disciplinamento da atividade através da revisão da Resolução Conama nº 5 de 06/08/1987 (proteção patrimônio espeleológico).
Gipsita	PE	Desmatamento da região do Araripe devido à utilização de lenha nos fornos de queima de gipsita.	Utilização de outros tipos de combustível e incentivo ao reflorestamento com espécies nativas.
Cassiterita	RO e AM	Destruição de florestas e leitos de rios.	Racionalização da atividade para minimizar os impactos.

2.2 Demanda de Água no Processamento de Minério

Como dito anteriormente, a indústria de beneficiamento mineral é altamente dependente do suprimento de água para a operação de suas etapas de processo. O atual quadro é caracterizado por um volume crescente de atividades deste tipo, com ênfase na otimização dos processos existentes e a busca de novas tecnologias para o controle dos impactos ambientais (RUBIO E TESSELE, 2002).

Os padrões de qualidade da água a ser utilizada no beneficiamento são menos rigorosos se comparados a outros usos industriais como: indústrias de papel e celulose, usinas de etanol, refinarias de petróleo, etc.

O que acontece no caso da mineração, é que padrões diferentes de qualidade da água podem ser necessários para uma mesma usina. Por exemplo, a água utilizada para selagem hidráulica de bombas deve ter uma qualidade melhor do que a água que será adicionada no processo de moagem a úmido (cominuição).

Por isso deverão ser identificados claramente, as qualidades e os volumes necessários para cada tipo de utilização dentro das usinas.

A partir destas informações, deverá ser elaborado um balanço de água da usina identificando vazões de captação de água bruta, vazões de efluentes gerados e os pontos onde são gerados, e volumes de água a serem recuperados em dispositivos pertinentes. O intuito deste balanço de água será identificar o volume de água perdido por evaporação, infiltração, ou que foi incorporado no concentrado (produto final) e a quantidade de produtos químicos adicionados a água durante o processo de beneficiamento, caso a usina seja existente. Caso a usina seja nova, deverão ser utilizados como referência, projetos de instalações similares realizados anteriormente.

De acordo com HESPANHOL e MIERZWA (2005) indústrias de um mesmo ramo podem consumir quantidades de água que variam regularmente, e o consumo global só pode ser obtido com maior precisão a partir de um estudo específico – seja na fase de projeto, analisando-se documentos disponíveis, ou então na própria indústria, depois de ter sido implantada e estar operando.

O volume de água gerado na usina está diretamente relacionado aos seguintes fatores:

- Minério a ser tratado: há diferenciação de consumos para os vários tipos de minérios que uma usina de beneficiamento pode produzir. Usinas de beneficiamento de minério de ferro, por exemplo, utilizam de 10 a 15 vezes mais água do que usinas de beneficiamento de bauxita, considerando produções equivalentes
- Capacidade de produção: o consumo de água está obrigatoriamente atrelado à capacidade de produção da usina
- Condições climáticas da região: caso a região seja quente, o consumo de água aumentará devido à maior taxa de perdas por evaporação
- Disponibilidade: se não houver disponibilidade e mesmo assim o empreendimento tornar-se viável, os equipamentos e métodos a serem utilizados deverão empregar menos água. Ex: possuir moagem a seco, se possível
- Idade da instalação: instalações industriais mais recentes possuem equipamentos mais modernos e que demandam menor quantidade de água. Além disso, as tubulações de água e de polpa de minério apresentam menor vulnerabilidade em relação a perdas por vazamentos
- Cultura da empresa: empresas “politicamente corretas” tendem a instalar equipamentos mais eficientes e com menores demandas de água, mesmo que o investimento de instalação seja mais alto

O gráfico a seguir apresenta um resumo das necessidades de consumo, em porcentagens, de uma planta de beneficiamento que produzirá aproximadamente 300 mil toneladas por ano de concentrado de pentóxido de Vanádio, no município Vanádio de Maracás/BA, de propriedade da LARGO RESOURCES.

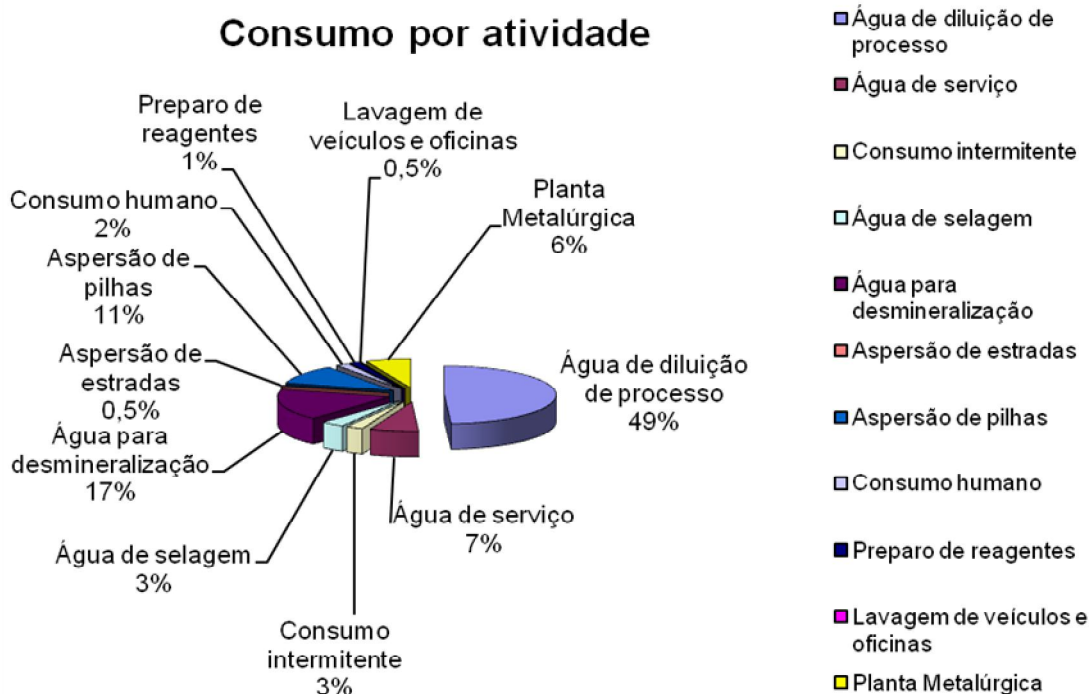


Figura 2.2: Resumo da demanda de uma usina de tratamento de vanádio (FONSECA, 2008)

Neste caso é evidente a diferença entre a água necessária para processo: diluição de caixas de bombas, lavagem do material, auxílio no transporte de polpa de minério, etc; e os demais usos da água. Quase metade da demanda por uso da água é destinada ao processo, sendo a outra metade dividida entre consumo de água potável, controle de impactos ambientais, água de resfriamento (desmineralização), água de selagem de bombas, dentre outros.

Como o local do empreendimento é um local com temperaturas altas e o índice pluviométrico é baixo ao decorrer de todo o ano, a parcela dedicada à aspersão de pilhas de minério é consideravelmente alta se comparada a outras usinas. Como essa atividade é essencialmente necessária para controle das emissões atmosféricas, a empresa operadora da usina não terá outra opção senão a gastar 11% do seu consumo total de água para essa utilização.



Figura 2.3: Sistema de aspersão automatizada em vias de acesso a Mina de Tamandúá – Minas Gerais, de propriedade da VALE (ANA, 2005)



Figura 2.4: Lavagem de piso de uma unidade de tratamento (FONSECA,2008).

A tabela 2.2 mostra um comparativo de demanda de água para os diferentes tipos de minério.

Tabela 2.2 - Consumo de água em litros por tonelada de minério beneficiada, em algumas usinas de beneficiamento pelo mundo (HESPANHOL, 2005) - Adaptada

Mineração e extração a céu aberto		
Ouro	tonelada de minério	1.000
Minério de ferro		4.200
Bauxita	tonelada de minério	300
Cobre		3.100 a 3.750
Ferro e produtos de aço		
Alto forno, sem reciclagem		50.000 a 73.000
Aço acabado e semi-acabado		22.000 a 27.000
Produtos diversos		
Indústria automobilística	veículo produzido	38.000
Cimento Portland		550 a 2.500
Geração de energia (termelétrica), EUA	quilowatt hora	200
Geração de energia (termelétrica), China	quilowatt hora	230
Produção de fertilizante, Finlândia	tonelada de nitrato de potássio	270.000
Vidro		68.000
Lavanderias		20.000 a 50.000
Beneficiamento de couro	tonelada de peles	50.000 a 125.000
Metais não ferrosos, brutos e semi-acabados		80.000
Borracha sintética		83.500 a 2.800.000
Amido, Bélgica	tonelada de milho ou batata	10.000 a 18.000

2.3 Características do Efluente Gerado e Escolha do Tratamento

De forma a possibilitar a caracterização dos efluentes gerados na unidade de beneficiamento, deverá ser realizada *in loco* a coleta de amostras para análise de diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos que nortearão o início de qualquer projeto de engenharia que envolva tratamento e recirculação de águas servidas.

Depois de realizada a caracterização dos efluentes gerados e a quantificação dos mesmos – como explicitado no item 2.2; uma análise multidisciplinar deverá ser realizada, objetivando-se qualificar o uso da água a ser tratada e posteriormente reutilizada na usina de beneficiamento. Sabe-se que para cada uso, a qualidade da água tratada difere-se, interferindo assim na escolha do processo de tratamento a ser utilizado. Por exemplo: se essa água a ser recirculada servirá apenas como reposição em caixas de bombas, lavagem de pisos e máquinas, aspersão de transportadores de correia ou vias de acesso, dentre outros; provavelmente o tratamento do tipo preliminar atenderá ao padrão de qualidade requerido. O tratamento preliminar visa o mínimo de adequação da água no que diz respeito ao tratamento

físico, químico ou biológico, agindo somente na retirada de sólidos muito grosseiros, flutuantes e de matéria mineral sedimentável.

Em conjunto com a análise multidisciplinar realizada, deve-se verificar a classe do corpo de água que receberá qualquer descarte realizado pela indústria, caso isso seja necessário em épocas de paradas e de manutenção de equipamentos.

Após todas essas ações, deverá ser selecionada a tecnologia a ser aplicada para o tratamento das águas servidas, avaliando-se também:

- Simplicidade operacional: comumente as instalações de beneficiamento, estão instaladas em locais remotos, de difícil acesso e longes de centros urbanos dificultando a contratação de mão-de-obra devidamente treinada e especializada para operar a instalação
- Custos de instalação e de operação: certos sistemas necessitam de maior aporte financeiro, seja para instalar o dispositivo de tratamento, seja para operar o mesmo
- Disponibilidade de reagentes: deverá ser analisada a disponibilidade de reagentes na região de instalação do sistema de tratamento
- Assistência Técnica: caso necessite de peças de reposição ou de mão-de-obra altamente especializada para realizar a manutenção de instalações e periféricos constituintes do sistema de tratamento (decantadores, rakes de espessadores, etc)
- Manutenção: facilidade na manutenção

Normalmente, os efluentes originados em usinas de tratamento de minérios, têm o aspecto turvo e estão associados a altos índices de sólidos suspensos de pequenas dimensões, o que dificulta o processo de sedimentação. Além disso, tais efluentes podem conter sais e compostos orgânicos sintéticos, geralmente reagentes de flotação, potenciais causadores de danos à flora e à fauna. Por esse motivo, esses fluxos são tratados antes do descarte, com o objetivo de atingir a qualidade exigida pela legislação ambiental (FENG, 2004).

Outro impacto ambiental importante em efluentes oriundos da mineração são os íons cianetos usados na lixiviação de minérios de ouro e prata. Esses íons são nocivos à vida animal, pois se ligam fortemente aos íons metálicos da matéria viva, por exemplo, ao ferro das hemoglobinas, impedindo-o de transportar o oxigênio para as células dos organismos durante o processo de respiração celular. Diversos casos de mortandade de peixes são registrados em concentrações acima 0,1 ppm (RUBIO e TESSELE, 2004).

Os íons de arsênio gerados pela dissolução de minerais como a arsenopirita, são contaminantes também geralmente encontrados em efluentes de usinas. Os arsênios e seus compostos são tóxicos e carcinogênicos, sendo que a dose letal para seres humanos é considerada da ordem de 0,6 mg/Kg/dia (ANA, 2005). A contaminação das águas subterrâneas por compostos arsênicos, no entanto, é muito inferior àquelas observadas no efluente das barragens de rejeito. Isso ocorre devido ao poder de absorção do solo aos argilominerais e óxidos de ferro, ou mesmo pela reação dos íons As^{3+} com íons ferrosos e arsenitos à medida que a solução migra para ambientes mais oxidantes. Esses fenômenos naturais são também utilizados no processo de remediação (ANA, 2005).

Os reagentes utilizados no processo de flotação, muito comum em usinas de minério de ferro, cobre, fosfatos e etc; inserem-se neste contexto de possíveis agentes contaminantes de efluentes, por exemplo:

- Os reagentes utilizados na flotação inversa de minério de ferro, em que são utilizadas aminas e ácidos graxos
- Os reagentes utilizados na flotação de fosfatos ou ainda xantatos e espumantes no caso da flotação de minerais de cobre

Rubio e Tessele (2004) relacionam os principais reagentes utilizados em usinas de tratamento de minérios e que podem ser contaminantes nos efluentes aquosos. A toxicidade desses reagentes é variada, indo dos muito tóxicos, como os coletores tiólicos (por exemplo, xantatos), sulfonatos e aminas; moderados, como a maioria dos espumantes; e não tóxicos, como o amido.

Além dos reagentes de flotação, as usinas utilizam reagentes (floculantes e coagulantes) para auxiliar o processo de sedimentação dos sólidos suspensos, como meio de adensar o material concentrado, as lamas e os rejeitos antes destes serem enviados à destinação final. Com isso, as águas de descarga poderão conter quantidades residuais de íons de cobre, zinco, cianetos, sais solúveis de amina, entre outros.

Para analisar a influência da utilização destas águas, como água recirculada no processo, deverão ser realizados testes de bancada ou em planta piloto.

2.4 Tipos de Tratamento de Água a Serem Utilizados

O procedimento operacional mais utilizado é de captação e adução da água bruta e posteriormente de tratamento adequando a água aos padrões de qualidade necessários. Como o presente trabalho discorre sobre a reutilização de águas já servidas, este procedimento acontecerá apenas para reposição de água potável e pela fração água de processo perdida por evaporação ou infiltração.

A água potável não pode ser originada de fontes de reutilização, não por exigências da lei, mas objetivando-se diminuir o potencial contaminante caso algo dê errado no processo de tratamento. Com isso, a água a ser potabilizada neste tipo de empreendimento deverá ser obrigatoriamente originária de cursos de águas naturais, não devendo ser captada em barragens de rejeitos, ou qualquer tipo de fonte de água recirculada.

Geralmente as estações de tratamento de efluente baseiam-se em várias etapas. De acordo com NUNES (2004), podemos classificar o tratamento de águas residuárias nos seguintes níveis ou fases:

1. Tratamento preliminar

Remove apenas sólidos muito grosseiros, flutuantes e matéria mineral sedimentável. Os processos de tratamento preliminar são os seguintes: Gradeamentos; Desarenadores (caixas de areias); Caixas de retenção de óleos e gorduras; Peneiras.

2. Tratamento primário

Remove matéria orgânica em suspensão e a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) é removida parcialmente. Os processos de tratamento primários são os seguintes: Decantação primária ou simples; Precipitação química com baixa eficiência; Flotação; Neutralização.

3. Tratamento secundário

Remove matéria orgânica dissolvida e em suspensão. A DBO é removida quase que totalmente. Dependendo do sistema adotado, as eficiências de remoção são altas. Os processos de tratamento secundários são os seguintes: Processos de lodos ativados; Lagoas de estabilização; Sistemas anaeróbicos com alta eficiência; Lagoas aeradas; Filtros biológicos; Precipitação química com alta eficiência.

4. Tratamento terciário ou avançado

Quando se pretende obter um efluente de alta qualidade, ou a remoção de outras substâncias contidas nas águas residuárias. Os processos de tratamento terciário são os seguintes: Adsorção em carvão ativado; Osmose reversa; Eletrodialise; Troca iônica; Filtros de areia; Remoção de nutrientes; Oxidação química; Remoção de organismos patogênicos.

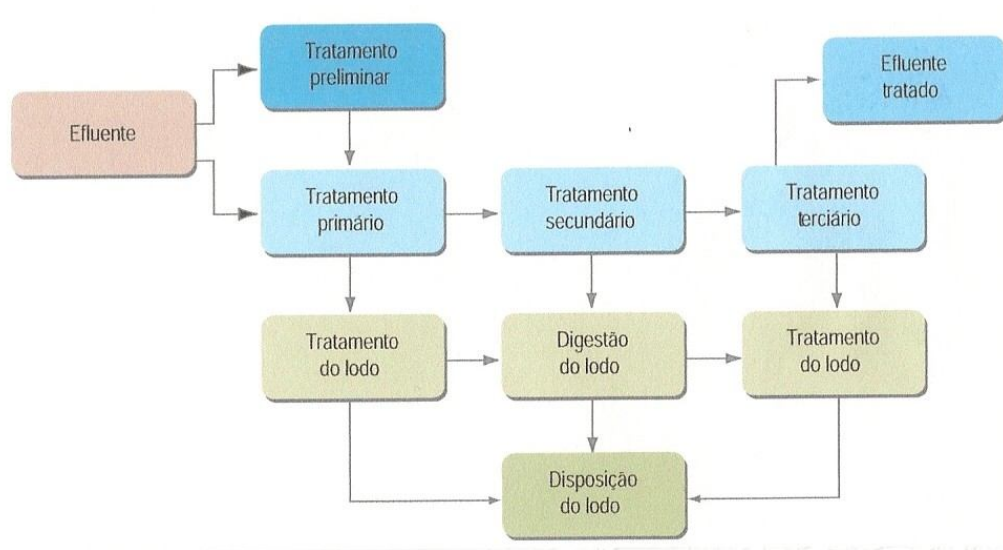


Figura 2.5: Diagrama de blocos de um sistema tradicional de tratamento de efluentes (ANA – Agência Nacional das Águas, 2005)

Usualmente para a utilização em usinas de beneficiamento mineral, a água a ser recirculada não necessita de tratamentos muito elaborados. Um dos motivos é que nenhum dos usos dentro das usinas é muito exigente no que diz respeito à qualidade da água. A utilização identificada como mais exigente, seria a de água para resfriamento, excluindo-se logicamente, a água que será potabilizada e destinada a escritórios, refeitórios e instalações administrativas.

Identificada a opção desejada para adequar os efluentes gerados na usina, deverá ser posto em prática um projeto de engenharia que englobe as alternativas técnicas existentes e a legislação ambiental vigente.

2.5 Legislação Ambiental

Com o objetivo de minimizar os impactos causados pelo uso dos recursos hídricos, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, órgão responsável pela regulamentação ambiental no Brasil, estabeleceu resoluções normativas que disciplinam os diversos setores da sociedade que utilizam a água como fonte de recurso natural.

As normas estabelecem padrões de qualidade que devem ser respeitados por indústrias, produtores rurais, autarquias municipais, ao produzirem quaisquer tipos de efluentes líquidos sejam eles originados domesticamente, industrialmente ou comercialmente.

Além das normas, foi aprovada no dia 8 de Janeiro de 1997, a Lei Federal nº 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.

No âmbito industrial, quando se objetiva construir ou modificar instalações de tratamento de águas residuárias, a legislação ambiental deve ser a primeira condicionante a ser levada em consideração. Para tal, devem ser destacadas as seções III e IV da Lei Federal nº 9.433, que preconiza questões relacionadas à outorga dos direitos ao uso das águas e à cobrança do uso dos recursos hídricos.

De acordo com HESPANHOL, na seção III, da outorga de direitos de uso de recursos hídrico, merecem destaques os seguintes artigos, transcritos parcialmente a seguir:

Art 12 – Estão sujeitos à outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:

I – Derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive de abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;

II – extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;

III – lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;

Art15 – A outorga de direito de uso de recursos hídricos poderá ser suspensa parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, nas seguintes circunstâncias:

IV – necessidade de se prevenir ou reverter grave degradação ambiental;

V – necessidade de se atender a usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas.

Na seção IV, da cobrança do uso dos recursos hídricos, deve-se destacar:

Art 19 – A cobrança pelo uso de recursos hídricos objetiva:

I – reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário um indicação de seu valor;

II – incentivar a racionalização do uso da água;

Art 21 – Na fixação dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos devem ser observados, dentre outros:

I – nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação;

II – nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do afluente.

A resolução CONAMA nº357, de 17 de Março de 2005 trata da classificação das águas doces, salobras e salinas do País de acordo com suas utilizações e respectivos padrões de qualidade.

Esta resolução também preconiza os padrões de lançamentos de efluentes em corpos de água, definindo concentrações máximas para vários parâmetros. Esta resolução tornou-se balizadora do desenvolvimento de qualquer projeto de tratamento de efluentes realizado a partir de sua publicação. Fica vedada através dela que quaisquer efluentes, sejam eles tratados ou não, sejam lançados em corpos de água da Classe Especial, de acordo com o Art 32.

A tabela 2.3 identifica em quais classes cada tipo de água pode enquadrar-se de acordo com a resolução nº357.

Tabela 2.3 - Classificação das águas doces, salobras e salinas do Brasil (HESPANHOL, 2005)

CLASSES DE ÁGUAS DOCES		PRINCIPAIS USOS
Classe especial		Consumo humano, com desinfecção Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral
Classe 1		Consumo humano, após tratamento simplificado Proteção das comunidades aquáticas Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho) Irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo, ingeridas cruas e sem remoção de películas Proteção de comunidades aquáticas em terras indígenas
Classe 2		Consumo humano, após tratamento convencional Proteção das comunidades aquáticas Recreação de contato primário Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, parques, jardins e campos de esporte e lazer, com os quais o público possa ter contato direto Aqüicultura e atividade de pesca
Classe 3		Consumo humano, após tratamento convencional ou avançado Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras Dessedentação de animais
Classe 4		Navegação Harmonia paisagística
CLASSES DE ÁGUAS SALINAS		PRINCIPAIS USOS
Classe especial		Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral
Classe 1		Recreação de contato primário Proteção das comunidades aquáticas Aqüicultura e atividade de pesca
Classe 2		Pesca amadora Recreação de contato secundário
Classe 3		Navegação Harmonia paisagística
CLASSES DE ÁGUAS SALOBRAS		PRINCIPAIS USOS
Classe especial		Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral
Classe 1		Recreação de contato primário Proteção das comunidades aquáticas Aqüicultura e atividade de pesca Consumo humano, após tratamento convencional ou avançado Irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo, ingeridas cruas e sem remoção de películas; de parques, jardins e campos de esporte e lazer, com os quais o público possa ter contato direto
Classe 2		Pesca amadora Recreação de contato secundário
Classe 3		Navegação Harmonia paisagística

3. ALTERNATIVAS APLICÁVEIS

3.1 Barragem de Rejeitos

A utilização de barragem de rejeitos é muito comum em unidades de tratamento de minérios, sejam elas de pequeno ou grande porte. O objetivo principal da utilização deste dispositivo de engenharia é evitar a contaminação ou o assoreamento de corpos de água a jusante da barragem, provocados por materiais oriundos do beneficiamento realizado nas usinas.

Como objetivo secundário, estas unidades de contenção de rejeitos, são utilizadas como enormes unidades de decantação e adequação das águas servidas que posteriormente retornarão para a usina como água recirculada. Desta forma, as empresas mineradoras conseguem obter algum retorno econômico e ambiental de dispositivos que teoricamente só serviriam para dispor rejeitos.

No Brasil algumas usinas de tratamento de minério chegam a utilizar cerca de 20% do total da água consumida, água recirculada de barragens de rejeitos. Caso a usina não tenha outros métodos de recirculação de água, como espessadores, ciclones ou filtros, essa proporção de água recuperada da barragem de rejeitos provavelmente será maior.

No caso da figura 3.1, cerca de 10% do total consumido pela usina é oriundo de recirculação da barragem de rejeitos. Neste caso, a baixa porcentagem relativa à recirculação da barragem de rejeitos, deve-se ao fato de que esta usina possui outros mecanismos de recirculação interna de água. Isso possibilita maior eficiência e menor custo operacional, se comparado a construção e operação de grandes diques de contenção de rejeitos.

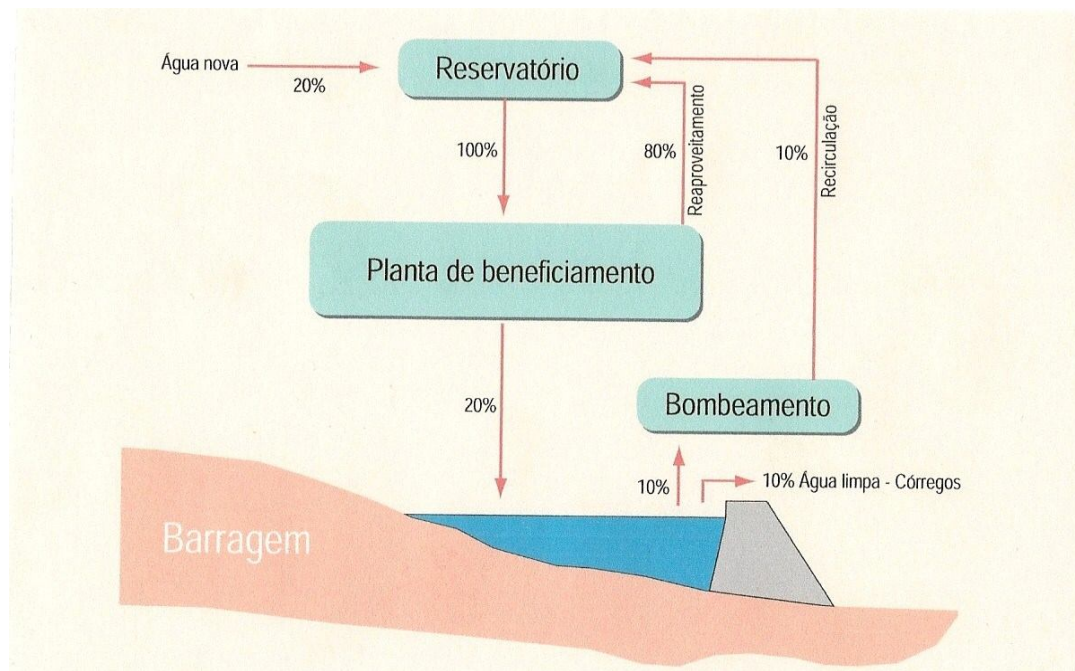


Figura 3.1: Esquema de reaproveitamento de águas (VALE, 2008)

Para assegurar a construção adequada de uma barragem de rejeitos ativa, que receberá material proveniente da usina de beneficiamento, e cederá água para a recirculação, deverão ser levados em contas inúmeros fatores, sem se limitar a:

- Escolha da área a ser instalada: o objetivo aqui será de identificar uma área que atenda a necessidade para reserva do volume de rejeitos produzido por um determinado ciclo de vida. Caso a área se encontre em locais onde haja ocupação humana no entorno, os cuidados para controle e monitoramento da barragem deverão ser infinitamente maiores, com o intuito de se prevenir acidentes que resultem em mortes, como o ocorrido em São Sebastião das Águas Claras, em Minas Gerais, há alguns anos. Além destes requisitos, a área a ser escolhida deverá possuir boa drenagem e material com boa resistência.
- Tempo de detenção hidráulica: como o intuito secundário das barragens é adequar a água para reuso, a água deverá ser mantida no reservatório até alcançar qualidade necessária de clarificação. O parâmetro balizador para alcançar esta meta, é o tempo de detenção hidráulico. Usualmente, esse parâmetro gira em torno de 3,4 dias chegando em alguns casos a alcançar períodos de semanas, ou até mesmo de meses dependendo do regime de produção de rejeitos da usina.
- Necessidade de impermeabilização: como dito anteriormente, de acordo com a toxicidade dos rejeitos produzidos na planta de beneficiamento, deverá ser analisada a necessidade de

impermeabilização do perímetro da barragem a ser projetada. Em alguns casos, isso restringe a utilização deste mecanismo de tratamento e recirculação de água devido ao alto custo de implantação deste tipo de barragem.

Segundo VICK (1983) a estrutura de barramento deve ser construída com a utilização de material de áreas de empréstimo, e inicialmente, ter capacidade para absorver os rejeitos gerados por dois ou três anos de operação da usina de beneficiamento. Após esse período, deverão ser realizados alteamentos que também podem utilizar materiais de áreas de empréstimo, estéreis, ou até mesmo o próprio rejeito produzido pela usina depois de adensados em ciclones.

Para a utilização de rejeitos para o alteamento, deverão ser previamente realizados ensaios que atestem que o material é adequado para tal. Caso seja adequado o material deverá ser granulometricamente classificado em ciclones, que por efeito de força gravitacional, segrega as partículas mais densas e grossas das partículas menos densas e finas.

Os métodos de alteamento são geralmente classificados como a seguir:

- Método de montante;
- Método de jusante;
- Método de Linha de Centro.

3.1.1 Instalações

Por ser econômico e de fácil construtibilidade esse método é o mais utilizado pelas mineradoras para a construção de diques de barramento de rejeitos. A etapa inicial nesse método consiste na construção de um dique de partida, normalmente utilizando-se material argiloso ou enrocamento compactado.

O rejeito é descarregado ao longe do perímetro do dique por ciclones ou por pequenas tubulações chamadas de “spigots”, formando assim a praia de deposição. Como os rejeitos possuem diferenciação granulométrica, as partículas mais grossas e mais pesadas sedimentam mais rapidamente e permanecem nas zonas perto do dique. Já as partículas mais finas e menos densas são transportadas para as zonas internas da bacia.

Nas etapas seguintes são construídos diques em todo o perímetro da bacia de acordo com a necessidade operacional da usina. Caso estes alteamentos utilizem rejeitos, é importante

ressaltar que o material a ser utilizado deverá conter altos índices de areia e alta porcentagem de sólidos para que ocorra a segregação granulométrica, possibilitando maior segurança na construção.

A figura 3.2 mostra o esquema de construção de uma barragem de rejeitos utilizando-se o método de montante.

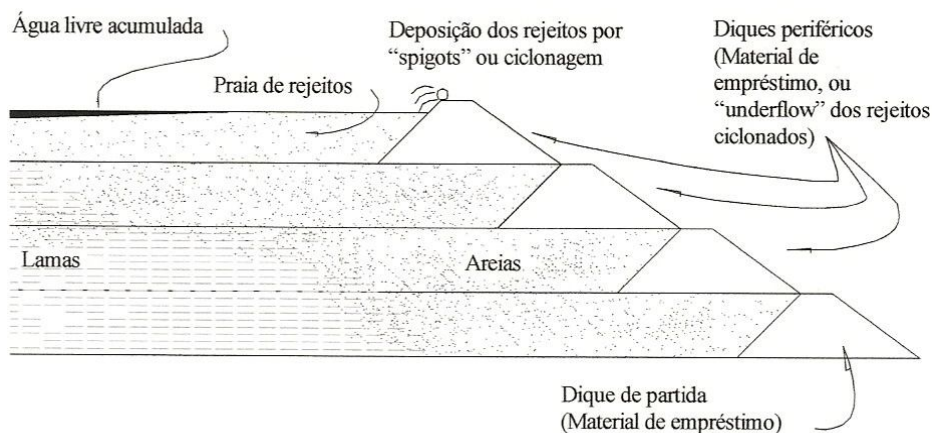


Figura 3.2: Esquema de construção de barragem pelo método de montante (VICK, 1981) - Adaptado

Segundo ASSIS e ESPOSITO (1995) o método de montante apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Menor custo de construção
- Facilidade operacional
- Flexibilidade na construção
- Volume menor de materiais de construção (rejeitos ou materiais de empréstimos)
- Pode ser construída em topografias acidentadas

Desvantagens:

- Baixa segurança relacionada ao alteamento ser realizado sobre materiais previamente depositados e não consolidados

- Normalmente, o material descarregado não é compactado, diminuindo assim a resistência ao cisalhamento
- Susceptibilidade à liquefação por sismos naturais ou por vibrações decorrentes de desmontes por explosivos ou movimentação de equipamentos mecânicos
- Rupturas por percolação e piping também são possíveis devido à pequena distância entre a lagoa de decantação e o talude de jusante

3.1.2 Método de jusante

Neste método, é construído um dique inicial normalmente de solo ou enrocamento compactado. Esse dique deverá ser impermeabilizado, possuindo drenagem interna composta por filtro inclinado e tapete drenante. O talude de montante, quando for realizado o alteamento, deverá também ser impermeabilizado. A impermeabilização do talude de montante e a drenagem interna são opcionais, tornando-se desnecessárias caso os rejeitos possuam características de alta permeabilidade e ângulo de atrito elevado.

De acordo com KLOHN (1981), as vantagens envolvidas no processo de alteamento para jusante consistem no controle do lançamento e da compactação, de acordo com técnicas convencionais de construção; nenhuma parte ou alteamento da barragem é construída sobre o rejeito previamente depositado; além disso, os sistemas de drenagem interna podem ser instalados durante a construção da barragem, e prolongados durante seu alteamento, permitindo o controle da linha de saturação na estrutura da barragem e então aumentando sua estabilidade; a barragem pode ser projetada e subseqüentemente construída apresentando a resistência necessária ou requerida, inclusive resistir a qualquer tipo de forças sísmicas, desde que projetadas para tal, já que há a possibilidade de seguimento integral das especificações de projeto.

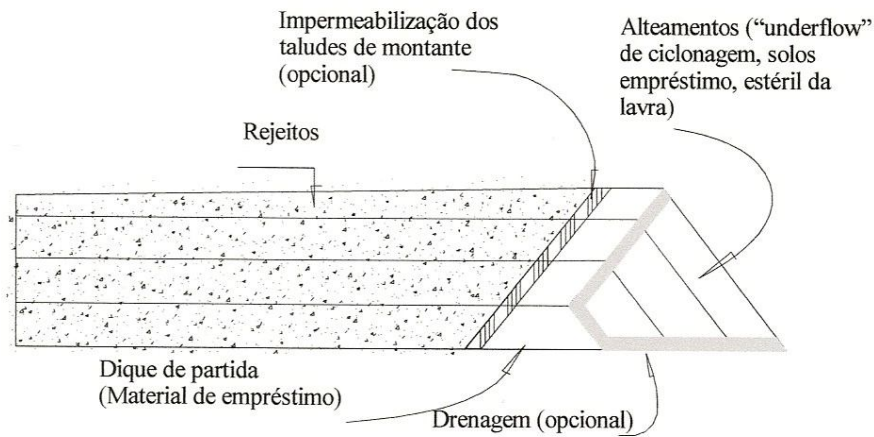


Figura 3.3: Esquema de construção de barragem pelo método de jusante (VICK, 1981) - Adaptado.

Segundo ASSIS e ESPOSITO (1995) o método de jusante apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Operação bastante simplificada
- Possibilita a compactação de todo o corpo do barramento
- Método eficiente para controle das superfícies freáticas, pela construção de sistemas contínuos de drenagem
- Menor susceptibilidade a sismos naturais, devido a compactação realizada
- Maior segurança devido aos alteamentos controlados, diminuindo a probabilidade de ocorrência de piping e de rupturas horizontais
- O estéril pode ser utilizado como material construtivo ou misturado para realizar os alteamentos

Desvantagens:

- Maiores custos de implantação devido à necessidade de maior volume de material
- Por crescer a jusante a área necessária para a construção do barramento é muito maior
- Necessita de sistemas de drenagem eficientes, havendo probabilidade de colmatção

- Não é possível cobrir com vegetação o talude a jusante, instabilizando o corpo da barragem

3.1.3 Método de linha de centro

Barragens alteadas pelo método de linha de centro apresentam uma solução intermediária, inclusive em termos de custo, entre os dois métodos citados anteriormente. Apesar disso, segundo ASSIS e ESPOSITO (1995), seu comportamento geotécnico se assemelha mais a barragens alteadas para jusante, constituindo uma variação deste método, onde o alteamento da crista é realizado de forma vertical, sendo o eixo vertical dos alteamentos coincidente com o eixo do dique de partida.

Inicialmente é construído um dique de partida e o rejeito é lançado perifericamente da crista do dique até a formação de uma praia. Quando necessário for o alteamento, ele poderá ser realizado utilizando-se estéril proveniente da lavra ou o rejeito proveniente da ciclonação, mantendo o eixo coincidente com o eixo do dique de partida.



Figura 3.4: Esquema de construção de barragem pelo método linha de centro (ALBUQUERQUE, 2004).

A seguir apresentam-se as vantagens e desvantagens desse método, que se assemelha aos métodos anteriores:

Vantagens:

- Eixo dos alteamentos constante, diminuindo a área necessária em relação ao método de jusante
- Facilidade na construção

- Redução do volume de rejeito necessário se comparado ao método de jusante

Desvantagens:

- Necessidade de sistema de drenagem eficiente e sistemas de contenção a jusante
- Investimentos podem ser altos devido a complexidade da operação

A partir do momento que os rejeitos passam a ser utilizados como material construtivo dos três tipos de barragens existentes, o projeto e a construção destes mecanismos devem incluir cada vez mais princípios geotécnicos na obtenção de parâmetros e controle de qualidade, em substituição aos procedimentos empíricos normalmente utilizados. (ASSIS e ESPOSITO, 1995).

Tabela 3.1 - Quadro comparativo entre as possibilidades (VICK, 1981) - Adaptado

	Método de montante	Método de jusante	Método da linha de centro
Método construtivo	<ul style="list-style-type: none"> •Método mais antigo, e o mais empregado. •Construção de dique inicial e os diques do alteamento periféricos com material de empréstimo, estéreis da lavra ou com “underflow” de ciclonação. •Lançamento a partir da crista por ciclonação ou “spigots”. 	<ul style="list-style-type: none"> •Construção de dique inicial impermeável e barragem de pé. •Separação dos rejeitos na crista do dique por meio de hidrociclones. •Dreno interno e impermeabilização a montante. 	<ul style="list-style-type: none"> •Variação do método de jusante.
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> •Menor custo. •Maior velocidade de alteamento. •Utilizado em lugares onde há limitante de área. 	<ul style="list-style-type: none"> •Maior segurança. • Compactação de todo o corpo da barragem. •Pode-se misturar os estéreis da lavra. 	<ul style="list-style-type: none"> •Variação do volume de “underflow” necessário com relação ao método da jusante.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> •Baixa segurança devido à linha freática próxima ao talude de jusante, susceptibilidade de liquefação, possibilidade de “piping”. 	<ul style="list-style-type: none"> •Necessidade de grandes quantidades de “underflow” (problemas nas 1^{as} etapas). •Deslocamento do talude de jusante (proteção superficial só no final da construção). 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de sistemas de drenagem eficientes e sistemas de contenção a jusante

Observa-se que em barragens construídas com a utilização de rejeitos, suas características são diferentes das construídas com materiais de empréstimo ou estéreis, que apresentam comportamento geotécnico melhor. Quando os alteamentos são feitos com os rejeitos o corpo da barragem se comporta como um aterro hidráulico, onde o material é lançado sem os cuidados devidos, tornando impossível o controle das variáveis que influenciam o processo de deposição.

As propriedades do aterro hidráulico dependem do método escolhido para a deposição dos rejeitos e de características físico, químicas da polpa (granulometria, tamanho máximo das partículas, porcentagem de sólidos da polpa, densidade, textura). Conforme for o comportamento da segregação das partículas dispostas, a geometria da barragem vai ser diferenciada.



Figura 3.5: Barragem de rejeitos (MBR,2002)

3.2 Espessadores

O espessador é um equipamento mecânico criado exclusivamente para recuperar água e adensar produtos, lamas e rejeitos para serem vendidos ou dispostos em barragens respectivamente. Tendo como principal fator de funcionamento, a velocidade de sedimentação das partículas, os espessadores são tanques metálicos ou de concreto, dotados de braços raspadores que auxiliam o transporte dos sólidos sedimentados até um orifício

central de onde a polpa adensada é retirada com o auxílio de uma bomba e bombeada para o seu destino.

A água decantada é recolhida por uma calha que circunda o equipamento e a destina para uma caixa de armazenamento de água recuperada.



Figura 3.6: Espessadores instalados na Usina de Germano - Samarco (FONSECA,2008)

Além de recuperar água, o espessador tem como função adequar a polpa para atividades subseqüentes no processo de tratamento de minérios. Polpas são alimentadas ao equipamento com porcentagens de sólidos que variam de 1 a 50%, e são espessadas até alcançar 10 a 75%. A água recuperada, comumente alcança concentração de sólidos da ordem de ppm.

Os espessadores podem ser classificados em alguns tipos:

- Espessadores convencionais
- Espessadores de alta capacidade
- Espessadores de alta densidade (normalmente são verticais e utilizados para rejeitos)

De acordo com LUZ (2004) o funcionamento adequado de um espessador requer uma corrente de líquido clarificado isenta de sólidos e, para que isso aconteça, é necessário que a velocidade ascensional de líquido clarificado seja menor do que a velocidade de sedimentação dos sólidos, para que não ocorra o arraste dessas partículas.

A capacidade do espessador é a medida do volume de suspensão que pode ser tratado por unidade de tempo, para a obtenção de um espessado com características pré-determinadas, para isso é necessário que o cálculo da capacidade seja feito para toda a faixa de concentrações de sólido existente dentro do espessador, desde a concentração de alimentação até a concentração desejada para o material espessado. O valor mínimo de capacidade é que deverá ser utilizado nos cálculos de projeto do espessador.

Para aumentar a qualidade da água clarificada, diminuindo a quantidade de sólidos suspensos e, com isso, vários outros parâmetros associados, torna-se necessária nas operações de espessamento a utilização de coagulantes ou floculantes. Além disso, esta utilização induz a reduzir as dimensões dos espessadores já que aumenta a velocidade de sedimentação das partículas.

Para adequar a água de processo para as características físicas e químicas necessárias para processo, algumas correções são feitas nas caixas de água recuperada dos espessadores, ou nos próprios equipamentos. É comum nas operações das usinas de beneficiamento que o pH e alguns outros parâmetros de qualidade da água, sejam ajustados de acordo com o que se espera atingir.

De acordo com ANA (2005), a qualidade da água nova ou reciclada é definida segundo as exigências operacionais do processo, do sistema de reagentes, e o termo qualidade depende, isoladamente, de cada aplicação. Os parâmetros de qualidade da água de interesse serão aqueles que têm efeito nocivo ou benéfico sobre a operação. Esse é o motivo pelo qual a compreensão desses parâmetros deve ser objeto de cuidado especial, ou seja, tais parâmetros devem ser definidos com detalhes.

A correção a ser realizada pode ser totalmente automatizada, programada pelo sistema de supervisão e controle do espessador que analisará com o auxílio de instrumentos automáticos e on-line diversos parâmetros como: densidade, turbidez, pH, entre outros.

Isso dará maior segurança as operações de espessamento e recuperação de água, possibilitando maior controle operacional e maior eficiência. Em contrapartida, o custo de um sistema todo automatizado será bem mais alto em comparação a um sistema convencional.

Os fluxogramas de reciclagem de água nas usinas variam muito dependendo do tipo de minério a ser desaguado.

Um fator importante que precisa ser ressaltado é o seguinte: os testes piloto para balizamento do dimensionamento dos espessadores, não deverá ser levado em conta quando a meta for quantificar e qualificar o uso de produtos químicos para adequar as água para condições necessárias. Isso porque, em escala industrial a água que estará sendo decantada nos espessadores, provavelmente terá qualidade pior do que a água utilizada nos testes piloto. Quando iniciarem as operações deverão ser realizados automaticamente ou manualmente a análise de parâmetros de qualidade com o intuito de se avaliar a necessidade de adição de produtos químicos. A etapa de otimização desse processo pode durar meses, ou até anos em plantas que variam muito a produção e deverá ser sistematizada e acompanhada regularmente pelos operadores do sistema de espessamento.

3.2.1 Espessadores Convencionais

Os espessadores convencionais, geralmente são alimentados por uma caixa de alimentação destinada a impedir que a polpa não cause tanta turbulência quando alimentada ao equipamento. Isso faz com que a sedimentação das partículas já contidas no equipamento não seja comprometida pela energia cinética que a polpa possui.

O equipamento é construído com o diâmetro maior do que a altura, e sua base inferior deve ser inclinada para possibilitar o arraste da polpa pelos braços raspadores até o orifício encontrado no centro.

Caso o espessador tenha diâmetro menor do que trinta metros, o mecanismo de giro dos braços e pás pode ser apoiado em uma viga ou ponte. Para equipamentos que possuam o diâmetro maior do que trinta metros, a instalação de uma coluna central é necessária para suportar o mecanismo de giro, que dependendo do torque que atingir, deve ser elevado por cabos de aço para evitar maiores danos.

A concentração de sólidos atingida no *underflow* varia de acordo com o tipo de minério espessado, utilização de flocculante, porcentagem de sólidos na alimentação do equipamento.

A tabela 3.2 apresenta dados de referência para o dimensionamento de espessadores convencionais retirados da prática industrial ou de ensaios realizados em planta piloto ou equipamentos de bancada.

Pode-se constatar na tabela 3.2 variações grandes em relação à área unitária de sedimentação para diferentes tipos de minério. A área unitária de sedimentação é no caso o principal parâmetro utilizado para dimensionar o equipamento. Caso este parâmetro não seja adequado, o espessador pode apresentar problemas para alcançar a clarificação desejada da água o que aumentará o custo operacional já que esse fator deverá ser corrigido com a adição de flocculantes. A adição de flocculantes não garantirá a adequação do efluente caso o erro de projeto seja significativo.

Tabela 3.2 - Dados de referência para dimensionamento de espessadores (UFMG,2006)

Espessadores tipo B (de ponte)			
Tamanho Padrão - diâmetro x altura (m)	Área de Sedimentação (m ²)	Rotação dos braços (rpm)	
3 a 5 x 2,5	20,1	0,50	
5,5 a 7 x 2,5	45,2	0,33	
8 a 12 x 2,5	125,7	0,26	
14 a 17 x 3,0	-	0,145	
18 a 26 x 3,5	-	0,10	
27 a 31 x 4,5	-	0,08	
Espessadores tipo C (coluna central)			
Tamanho Padrão - diâmetro x altura (m)	Área de sedimentação (m ²)	Rotação dos braços (rpm)	
23 a 26 x 2,5	441,8 - 567,5	0,10	
27 a 31 x 3,5	636,2 - 785,4	0,08	
32 a 41 x 4,5	865,9 - 1431,4	0,065	
43 a 52 x 5,0	1539,4 - 2269,8	0,05	
53 a 61 x 5,5	2405,3 - 3141,6	0,04	
65 a 100 x 7,0	3318,3 - 7854	0,04	
Valores estimados para projeto	Alimentação (% sólidos)	Underflow (% sólidos)	Área unitária (m ² /t/dia)
Alumina, lama vermelha-Bayer - primário	3 - 4	10 - 25	2 - 5
Alumina, lama vermelha-Bayer - lavadores	6 - 8	15 - 25	1 - 4
Alumina, lama vermelha-Bayer - final	6 - 8	20 - 35	1 - 3
Carvão - rejeito	0,5 - 6	20 - 40	-
Carvão - finos limpos	-	20 - 50	-
Carvão - meio denso (magnesita)	20 - 30	60 - 70	-
Hidróxido de Mg de salmoura	8 - 10	25 - 50	6 - 10
Hidróxido de Mg água do mar - primário	2 - 3	15 - 20	10 - 26
Hidróxido de Mg água do mar - lavadores	5 - 10	20 - 30	10 - 15
Metais			
Concentrados de cobre	15 - 30	50 - 75	0,2 - 0,6
Rejeitos de cobre	10 - 30	45 - 65	0,04 - 1
Concentrados finos de minério ferro	20 - 35	60 - 70	0,004 - 0,068
Concentrados grossos de minério de ferro	25 - 50	65 - 80	0,002 - 0,005
Rejeitos de minério de ferro	1 - 10	40 - 60	0,4 - 1
Concentrados de chumbo	20 - 25	60 - 80	0,2 - 0,6
Resíduos de lixiviação de manganês	0,5 - 2	5 - 9	10 - 20
Concentrados de molibdênio	10	30	1 - 1,5
Concentrados scavenger de molibdênio	8	40	0,5
lamas de molibdênio	-	50 - 60	1 - 1,5
Resíduos de lixiviação de níquel	10 - 25	50 - 60	0,5 - 1,5
Concentrados de sulfetos de níquel	3 - 5	65	0,5 - 2
Concentrados de zinco	10 - 20	50 - 60	0,3 - 0,7
Potássio - sais de cristalização	10 - 25	35 - 50	-
Potássio - lamas	1 - 5	6 - 25	4 - 20
Urânio - minério lixiviado em ácido	10 - 30	45 - 65	0,15 - 0,6
Urânio - minério lixiviado em álcalis	20	60	1
Urânio - precipitado	1 - 2	10 - 25	5 - 12,7

3.2.2 Espessadores de alta capacidade

Os espessadores de alta capacidade têm maior produção por área unitária, ou seja, se tiverem o mesmo diâmetro dos espessadores convencionais, ele tem poder para espessar mais toneladas de material.

Os espessadores de alta capacidade são equipamentos como os convencionais mais que tiveram alguma intervenção estrutural seja na caixa alimentadora, que pode servir como um tanque de mistura rápida de floculante seja no braço raspador que pode ser repotenciado.

A caixa de retirada de ar mostrada na figura 3.7, serve para minimizar arraste de sólidos causados pela turbulência quando a polpa é alimentada no equipamento. A adição de floculante através de vários pontos localizados na linha de alimentação é outro grande benefício desse tipo de equipamento, já que assim promove a coagulação, aumentando a velocidade de sedimentação dos aglomerados de partículas.

Dessa forma o espessador tipo alta capacidade consegue desaguar maior quantidade de concentrado ou rejeito com um diâmetro igual ao espessador convencional.

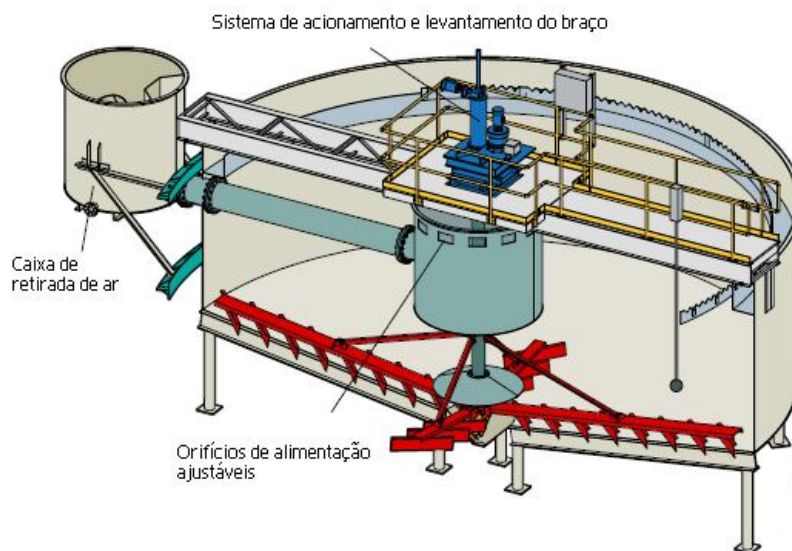


Figura 3.7: Corte de um espessador de alta capacidade (WESTECH, 2008).

3.2.3 Espessadores de alta densidade

Normalmente os espessadores de alta densidade são instalados em minas subterrâneas pela restrição de espaço que essas apresentam. No Brasil, ainda não existem espessadores de alta densidade industriais instalados em plantas de beneficiamento de minério. Algumas unidades

piloto estão sendo analisadas e provavelmente em alguns anos, esse equipamento deverá ser utilizado em mais larga escala pelas mineradoras.

A maior restrição de utilização desse tipo de mecanismo de recuperação de água é o seu custo, que chega a ser 3 vezes maior do que um espessador convencional capaz de tratar a mesma quantidade de material. Em compensação, com a utilização desse equipamento, torna-se desnecessária a implantação de barragem de rejeitos, já que o material nele adensado pode seguir diretamente para empilhamento caso não possua características tóxicas. Isso reduz drasticamente o custo operacional de uma usina, o que pagará o investimento inicial necessário para a instalação do equipamento, em poucos meses. Mesmo assim, as mineradoras no Brasil ainda preferem a utilização de outros tipos de espessador.

O espessador de alta densidade ou espessador de pasta é caracterizado por reduzido diâmetro e altura elevada. Enquanto os espessadores convencionais atingem de 5 a 10 metros de altura, os espessadores de alta densidade chegam a atingir 30 metros de altura. Isso possibilita que o seu diâmetro seja reduzido.

Esse equipamento apresenta redução na porcentagem de sólidos maior, se comparado aos outros tipos de espessadores, reaproveitando assim maiores vazões de água. A polpa oriunda desse tipo de espessador forma uma pasta mineral, que se apresenta como um material homogêneo não aparentando drenagem significativa de água.

Esse material pastoso pode ser empilhado como produto ou rejeito e pode servir como preenchimento de cavas. Em alguns casos a polpa originada no espessador de alta densidade é misturada ao cimento e preenche cavas exauridas de minas subterrâneas, não produzindo maiores impactos ambientais visíveis.

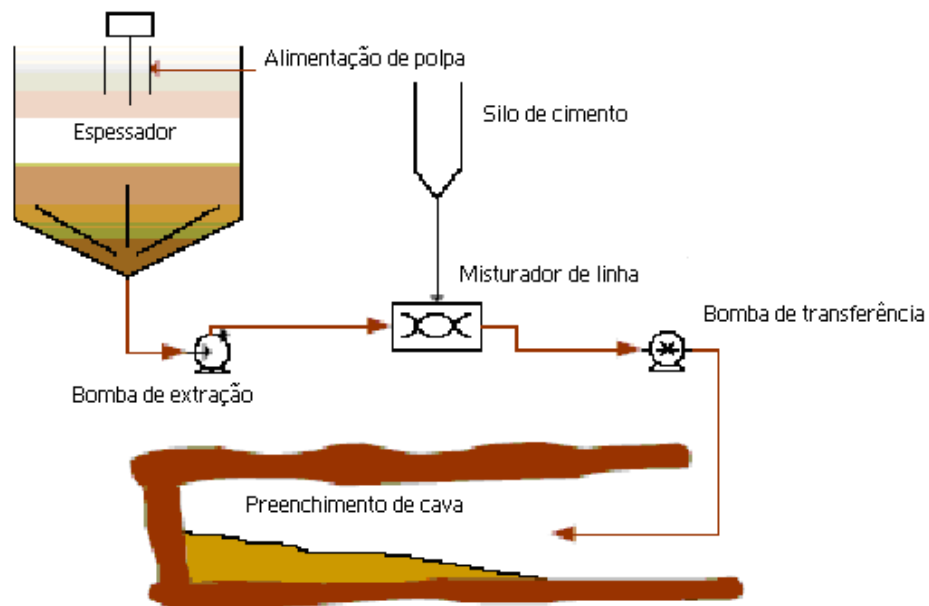


Figura 3.8: Esquema de um espessador de alta densidade utilizado para preenchimento de cava subterrânea (FONSECA,2008).



Figura 3.9: Aspecto da pasta oriunda de espessadores de alta densidade (WESTECH,2008).

3.3 Filtragem

Neste capítulo serão apresentados equipamento mecânicos utilizados pela indústria mineraria para recuperar água através de filtros que formem tortas desaguadas, sejam elas de concentrado ou de rejeitos.

A filtração de suspensões sólido-líquido pode ocorrer basicamente de duas formas distintas: na primeira, a colmatação, a suspensão percola uma matriz porosa rígida que retém as partículas sólidas e, na segunda, estas partículas se acumulam no exterior do meio filtrante, resultando na formação da torta.

Em relação à qualidade da água recuperada pelos tipos de filtros que serão descritos a seguir, podemos afirmar em concernência do observado em práticas industriais, que mecanismos de pós-tratamento deverão ser utilizados objetivando uma melhora nos parâmetros físico-químicos e biológicos. É fato dentro da indústria mineral que a água oriunda desses tipos de filtro não apresenta remoção de sólidos suspensos adequados, produzindo assim uma água usualmente turva e inadequada para certas utilidades.

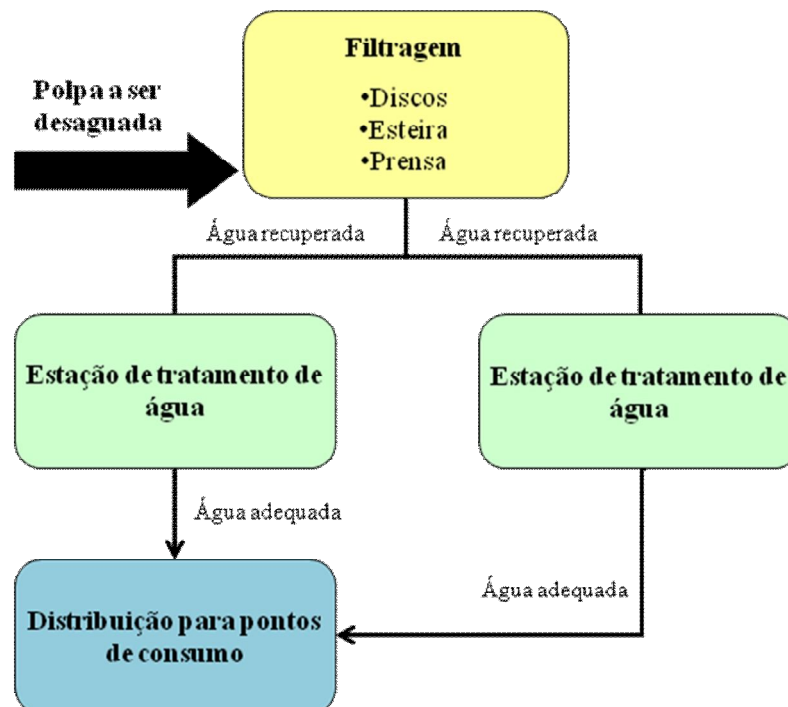


Figura 3.10: Fluxograma de filtros associados a pós-tratamentos (FONSECA,2008).

3.3.1 Filtros de disco á vácuo

Os filtros de disco á vácuo são os filtros mais utilizados na indústria de bens minerais brasileira, por apresentarem baixos custos de instalação e manutenção. Apesar disso, o sistema de vácuo desses filtros é de grande porte necessitando de bombas de vácuo com potências elevadas, construções robustas e espaço relativamente grande. Isso aumenta e muito o custo operacional destas instalações caso o beneficiamento seja em escala de milhões de toneladas por ano.

A operação do filtro rotativo a vácuo caracteriza-se por produzir tortas de pequena espessura e quantidades razoáveis de água contida.

A filtração ocorre por ação capilar criada por vácuo, que drena a água e retém os sólidos no elemento filtrante formando assim a torta. Formada a torta durante o contato disco-polpa, seguem-se as seguintes operações ao longo de uma rotação do filtro:

1. A formação da torta ocorre quando o tecido filtrante entra em contato com a polpa, na bacia de polpa que existe na parte inferior do filtro. A ação capilar cria um vácuo forte o bastante para succionar o líquido presente na polpa e acumular os sólidos no elemento filtrante;
2. A secagem da torta ocorre quando os discos giram e a ação capilar continua, removendo todo o líquido livre dos sólidos;
3. Raspadores instalados na outra extremidade da bacia retiram a torta que é descarregada sobre um transportador de correia que transportará o material para empilhamento;
4. A retrolavagem é feita com o intuito de remover a torta residual que porventura tenha ficado aderida no elemento filtrante. Além de aumentar a eficiência operacional do disco, isso promove vida útil longa e livre de problemas;

A seguir na figura 3.11, é apresentado um esquema que ilustra as etapas descritas acima:

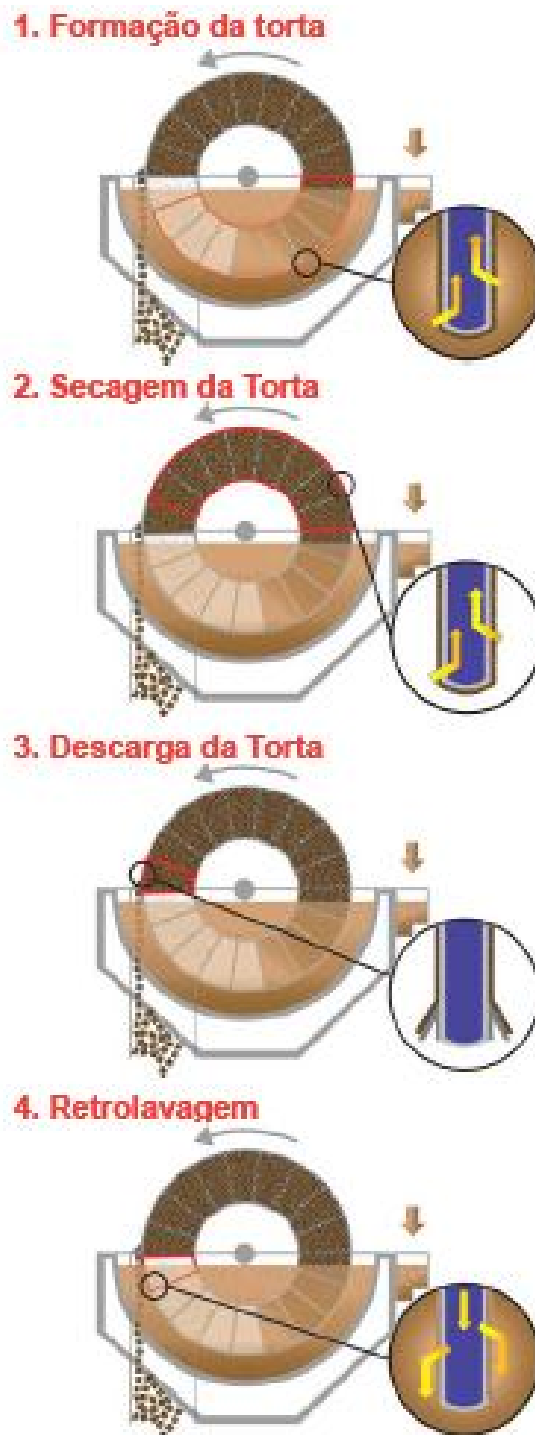


Figura 3.11: Etapas de funcionamento do filtro de disco á vácuo (LAROIX,2008).

3.3.2 Filtros de esteira

O filtro tipo esteira funciona com o mesmo princípio do filtro de disco á vácuo, ou seja, utiliza a ação capilar provocada por vácuo para drenar o líquido e agregar os sólidos na correia que neste caso serve como elemento filtrante.

Os filtros de esteira apresentam grande aplicabilidade em indústrias de vários segmentos, sendo o filtro mais utilizado industrialmente por ser apto a desaguar grandes volumes, ter fácil manutenção e ser resistente a materiais corrosivos. Na indústria mineraria nacional, esse tipo de filtro é pouco utilizado atualmente por possuir certas restrições a materiais muito finos. Eles podem operar com porcentagens de sólidos em uma faixa mais ampla e com polpas heterogêneas.

O filtro funciona de forma contínua com uma esteira rotativa que recebe a polpa de forma uniforme por uma caixa devidamente instalada. A esteira é o suporte do elemento filtrante, e possui perfurações em vários pontos para que o líquido drenado escorra e seja destinado as canaletas de coleta. Após coletado o líquido segue para caixas por gravidade e de lá é recirculado para processo nas usinas.

A torta formada pelo vácuo é então transportada até a extremidade oposta à alimentação, de onde é retirada com o auxílio de um raspador e destinada a um transportador de correia. Após a curva de descarga do material, a esteira é lavada em contra corrente.

Se comparado ao custo de implantação de um filtro de disco á vácuo o filtro de esteira chega a custar 2 a 3 vezes mais do que o concorrente.

As particularidades apresentadas na operação desse tipo de filtro são apresentadas na figura 3.12, onde pode-se observar os mecanismos de alimentação do filtro, os roletes que movimentam a esteira, a descarga da torta, a lavagem da torta e da esteira, os tanques receptores de filtrado e as tubulações de saída das águas de lavagem.

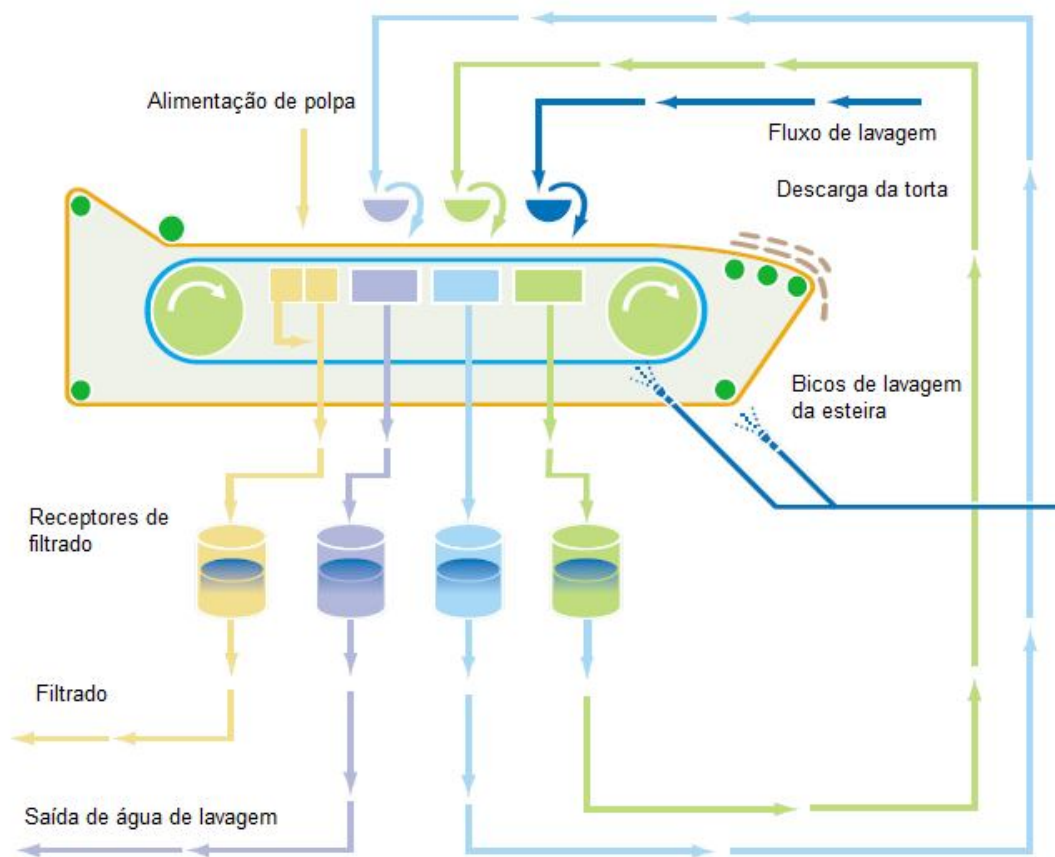


Figura 3.12: Esquema de funcionamento de um filtro de esteira (RPA Process, 2008).

3.3.3 Filtros prensa

Os elementos constituintes do filtro prensa são as placas, que podem ser horizontais ou verticais, e o quadro onde são fixadas. Entre as placas encontra-se o elemento filtrante. As placas e os quadros são dispostos alternadamente formando um pacote que é prensado por um cilindro que pode ser hidráulico ou pneumático.

O processo de filtragem é realizado pelo bombeamento da polpa contra o elemento filtrante que só permite a passagem da parte líquida da solução, a qual é drenada (já isenta de sólidos) através de canais presentes nas placas filtrantes. A parte sólida vai sendo continuamente depositada nas lonas, formando sobre as mesmas uma camada cada vez mais espessa. As placas filtrantes possuem um perfil que permite às mesmas, quando montadas uma contra a outra, formarem no interior do equipamento câmaras que são completamente preenchidas pelos sólidos. O bombeamento sob alta pressão faz com que as partículas se acomodem, de forma a gerar no final do processo, tortas compactas e com baixo nível de umidade. Com a abertura do equipamento, estas “tortas” são retidas para descarte ou reaproveitamento.

Este é um equipamento que funciona por bateladas, diferente dos filtros de disco á vácuo e filtros de esteira citados anteriormente.

O seu desempenho pode ser expresso pelo volume de filtrado (V_f) produzido no tempo total de um ciclo completo, tempo de filtração (t_f), tempo de lavagem da torta (t_l) e tempo de dismantelamento, limpeza e montagem do filtro (t_d).

$$P = \frac{V_f}{(t_f + t_l + t_d)} \quad (3.1)$$

Esse filtro apresenta a formação de tortas mais espessas, alcançando cerca de 2,5 a 4 cm de espessura.

A seleção correta dos elementos filtrantes, da bomba de alimentação, etc. aliados as características particulares de cada processo, permitem atingir rendimentos de separação surpreendentes, se comparados a outros tipos de filtros.

Em relação ao custo, esse tipo de filtro chega a ser de 3 a 4 vezes mais caro do que um filtro de disco á vácuo do mesmo porte.

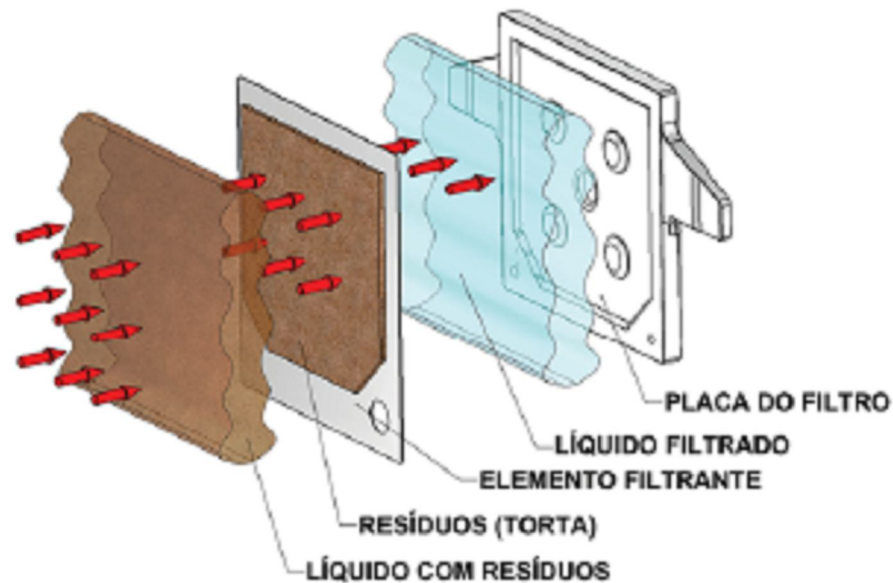


Figura 3.13: Esquema de funcionamento de um filtro prensa (BOMAX, 2008).

Alguns fatores são de altíssima relevância na hora do dimensionamento de um filtro prensa, como:

- Velocidade de sucção na filtração: a velocidade de sucção do fluido a ser filtrado proporciona o que chamamos de efeito de arraste dos sólidos. Desta forma quanto maior for a velocidade de sucção maior será o arraste e melhor será o processo de filtração.
- Velocidade de passagem pelo elemento filtrante: a velocidade de passagem do fluido a ser filtrado pelo elemento filtrante influencia na capacidade de retenção dos sólidos por parte do elemento filtrante. Desta forma quanto maior for a velocidade de passagem menor será a retenção de partículas sólidas.
- Área filtrante: Interfere diretamente na pressão e na velocidade. Quanto maior for a área filtrante menor será a velocidade de passagem e menor a pressão do sistema. Desta forma concluímos que quanto maior for a área de passagem melhor será o processo de filtração.

3.4 Estações de Tratamento de Água Convencionais

As estações de tratamento de água – ETA estão presentes em quase a totalidade das plantas de tratamento de minérios no Brasil. Elas são utilizadas para potabilizar água para consumo humano, adequar a água bruta para os usos na planta e tratar as águas recuperadas em mecanismos anteriores (barragens de rejeitos, filtros, etc) para que atinjam parâmetros de qualidade necessários para a reutilização.

Quando associada à outros instrumentos de recuperação de água, a ETA serve como polimento de parte da vazão recuperada nos espessadores, filtros e barragens que seguirá para usos mais restritivos na planta de beneficiamento. Como exemplo disso pode-se citar a água utilizada para resfriamento de equipamentos mecânicos que deve possuir valores mais baixos de turbidez (cerca de 2,0 UNT – Unidades nefelométricas de turbidez) diminuindo a encrustação em tanques, tubulações e válvulas do sistema.

O presente trabalho somente discorrerá sobre as principais etapas de tratamento necessárias para adequação da água de processo das usinas de beneficiamento de minérios, não entrando no mérito de águas que devem ser potabilizadas para consumos em escritórios, refeitórios, etc.

O tratamento de águas consiste na remoção das partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, sais férricos, e outras substâncias que possam prejudicar os processos de concentração dos minérios.

A análise que normalmente define qual tipo de tratamento a ser utilizado é realizada por profissionais especializados, normas técnicas e por práticas industriais consolidadas e deve ser baseada nas seguintes premissas:

- Características da água bruta
- Custo de implantação, operação e manutenção do sistema
- Flexibilidade operacional
- Qualidade necessária para a água tratada

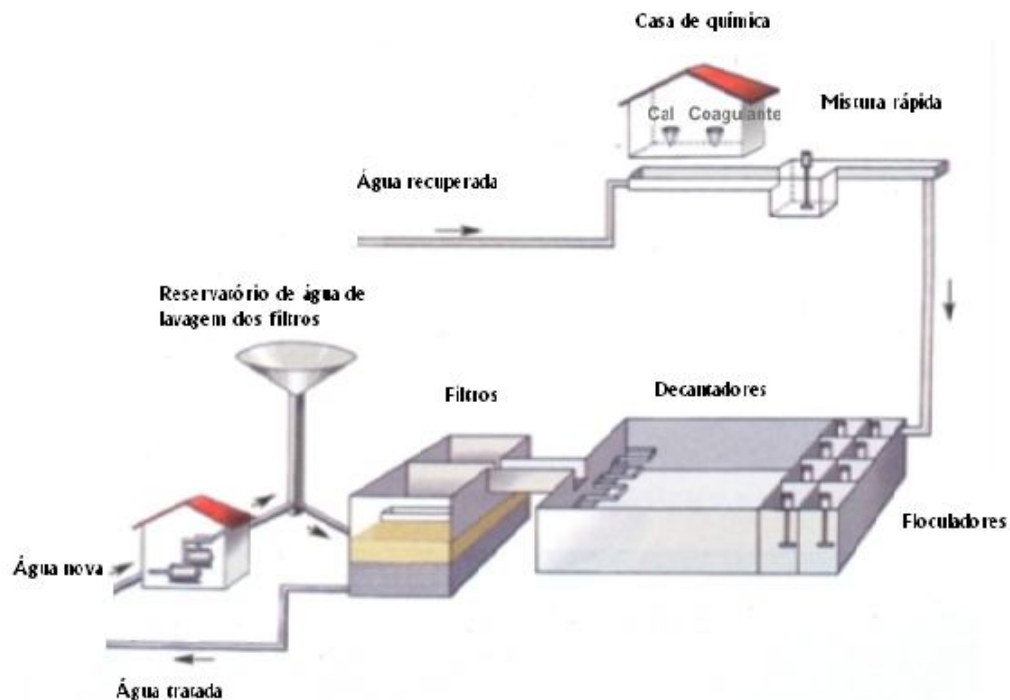


Figura 3.14: Estação de tratamento de água convencional (SAMAE, 2008) - Adaptada.

3.4.1 Aeração

Como uma ação preventiva e corretiva a oxidação do ferro e do manganês presente nas águas recirculadas é essencial. Já que essa água servirá como suprimento de água com boa qualidade (resfriamento e selagem de bombas) ela deverá conter mais requisitos de tratamento do que águas puramente utilizadas para processo.

Para oxidar elementos como ferro, manganês etc, pode-se utilizar torres de aeração natural, aeração forçada, tanques aeradores com difusores, ou qualquer outro tipo de aeração

mecânica. Esses mecanismos forçarão a entrada de ar no fluxo de água, aumentando a disponibilidade de oxigênio dissolvido que é o fator principal na oxidação desses elementos.

O mais utilizado é o sistema por aeração natural, instalado em local aberto, que possibilita a ventilação natural nas instalações. Esta configuração é composta de uma torre de aeração aberta com bandejas sobrepostas que produzem a turbulência natural do fluxo com o auxílio de gravidade.

Sua instalação ao ar livre é condição intrínseca para seu melhor desempenho. Seu custo inicial é baixo, sua necessidade de espaço é razoável sem comparada à estação de tratamento de água como um todo. A manutenção é extremamente simples, sendo que o leito de carvão deve ser substituído periodicamente.

3.4.2 Coagulação

A coagulação é provocada por agentes coagulantes (sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico etc.) dosados na água com o intuito de desestabilizar partículas de sólidos suspensos. Desestabilizados esses sólidos se colidem formando então os flocos que posteriormente podem ser sedimentados em unidades propícias para isso.

Normalmente em estações de menor porte, o processo de coagulação acontece na unidade de mistura rápida. A eficiência desta etapa de tratamento influi diretamente na eficiência de remoção de sólidos suspensos de toda a estação de tratamento.

De acordo com LIBANIO (2005) diversos fatores haverão de intervir em maior ou menor monta no processo de coagulação. Embora não existam hierarquias absolutas em termos de coagulação, dentre os principais fatores intervenientes, destacam-se o tipo do coagulante, o pH e a alcalinidade da água, a natureza e a distribuição dos tamanhos das partículas de cor e turbidez e a uniformidade de aplicação dos produtos químicos na massa líquida.

3.4.3 Unidade de mistura rápida

Para promover a aplicação adequada de coagulantes, a unidade de mistura rápida torna-se necessária fomentando a mistura do produto químico na água.

A mistura rápida pode ocorrer mecanicamente ou hidraulicamente, conferindo o gradiente de velocidade e o tempo de detenção adequados. De acordo com a necessidade do cliente, o tanque de mistura rápida deve ser locada próxima a casa de química para impedir possíveis entupimentos na tubulação de coagulantes e alcalinizantes.

Em relação ao custo global do investimento de instalação de uma unidade de tratamento de água, a unidade de mistura rápida é quase desprezível alcançando cerca de 1 a 2% do total.

3.4.4 Floculação

Totalmente relacionada com a coagulação, a floculação é a etapa onde condições adequadas fomentam a formação dos flocos que serão sedimentados em etapas subseqüentes.

A floculação é importante para não aumentar a afluência de partículas suspensas às unidades filtrantes, provocando assim a diminuição de sua eficiência e da sua carreira de filtração.

LIBANIO (2005) defende que a menção aos mecanismos intervenientes na floculação, refere-se à forma como o transporte das partículas desestabilizadas realiza-se para a formação dos flocos. De acordo com o autor, o mecanismo de transporte predominante será função das dimensões das partículas desestabilizadas e da progressiva formação e crescimento dos flocos. O transporte das partículas pode ocorrer devido, basicamente, a três fenômenos:

- Ao movimento Browniano – denominado floculação pericinética
- Às diferenças de velocidade das linhas de corrente do fluido de escoamento – floculação ortocinética
- Às distintas velocidades de sedimentação dos flocos

Não só a coagulação, como também o gradiente de velocidade e o tempo de detenção são fatores que interferem na boa eficiência na etapa de floculação.

Ensaio com a água que deverá ser tratada, deverão ser realizados para se determinar os valores de tempo de detenção e gradiente de velocidade a serem aplicados.

Para a NBR 12.216, caso não seja possível a realização de ensaios, o gradiente de velocidade máximo deverá ser de 70 s^{-1} no primeiro compartimento e de 10 s^{-1} , no mínimo, no último compartimento.

Já os tempos de detenção para as unidades de floculação hidráulicas e mecanizadas devem ser de 20 a 30 minutos e de 30 a 40 minutos, respectivamente.

As unidades flocladoras devem ter no mínimo três compartimentos subdivididos por cortinas ou paredes, se forem mecanizadas, e devem possuir dispositivo de alteração do gradiente de velocidade em pelo menos 20%. Deverão também ser providos de inclinação mínima de 1% e

maior parte de superfície livre exposta facilitando o monitoramento do processo. Normalmente para estações de tratamento de pequeno porte, os flocculadores são construídos em tanques cilíndricos, o que diminui a possibilidade de ocorrência de zonas mortas.

3.4.5 Decantação

Basicamente, os decantadores são unidades onde as partículas vão se depositar pela ação da gravidade e a água vai decantar. Podem ser classificados como: decantadores convencionais (baixa taxa) e de elementos tubulares (alta taxa).

Na indústria de beneficiamento de minérios é raro encontrar uma estação de tratamento de água que possua mais de uma unidade de decantação. Usualmente essas unidades são cilíndricas e sua alimentação deve ser realizada uniformemente através de toda a seção transversal do equipamento.

A taxa de aplicação nos decantadores é determinada em função da velocidade de sedimentação das partículas que devem ser removidas pela relação:

$$\frac{Q}{A} = f * V_s \quad (3.2)$$

Na qual:

Q = vazão que passa pela unidade, em m³/s

A = área superficial útil da zona de decantação, em m²

f = fator de área, adimensional (igual ao número de unidades, caso o decantador seja convencional)

V_s = velocidade de sedimentação, em m/s

Usualmente, para estações com capacidade de até 1.000 m³/dia, a velocidade de sedimentação adquirida em ensaios deve ser multiplicada por um fator K = 0,5.

LIBANIO (2205) defende que os principais fatores limitantes à eficiência da decantação – logicamente excluindo os que se referem às etapas anteriores:

1. As correntes convectivas ascensionais causadas pela insolação fazem com que parcelas da massa líquida adquiram densidade e temperatura (viscosidade) diferentes, podendo acarretar revolvimento de flocos já sedimentados.

2. Efeitos de curto-circuito reduzindo o tempo de permanência de parcela da vazão no interior da unidade.
3. A desigualdade na distribuição do fluxo à entrada e na coleta da água decantada.
4. A ação dos ventos capaz de ocasionar correntes superficiais que também favoreçam o arraste de flocos.

Como as ETAs instaladas nas unidades de processamento mineral são geralmente de pequeno porte, destinadas a tratar de 5 a 200 m³/h, a cobertura dos decantadores torna-se economicamente viável. Isso faz com que os efeitos da radiação solar e da força dos ventos sejam minorados, não acarretando maiores problemas na unidade de decantação.

As unidades de decantação produzem grande parte do lodo gerado nas estações de tratamento de água. Para impedir os impactos ambientais causados pela disposição inadequada do lodo, deverão ser instaladas válvulas de descarga no decantador com o intuito de retiradas periódicas de lodo, bombas de recirculação de lodo, e sistema de desaguamento de lodo.

Como desaguamento poderão ser utilizados filtros prensa, filtros de esteira, centrífugas, prensa desaguadora ou leitos de secagem (mais comum para pequenas estações).

3.4.6 Filtração

Etapa final do tratamento de águas recirculadas em unidades de tratamento de águas industriais, a filtração é responsável pela remoção das últimas partículas em suspensão, conferindo cor e turbidez à água.

Neste caso é utilizada a filtração em filtros rápidos de pressão onde a camada filtrante fica acondicionada em cilindros fechados. Os filtros podem ser de camada simples ou de camada dupla. A filtração pode ocorrer em ambos sentidos.

Quando utilizados em camada dupla, caso mais comum neste tipo de unidade, a areia e o antracito são os elementos filtrantes mais convencionais. As camadas de areia e antracito podem possuir espessuras diferentes, ficam sobrepostas, e são constituídas por partículas de granulometrias obrigatoriamente dentro da norma NBR 12216 que preconiza espessura mínima da camada, coeficiente de uniformidade e tamanho efetivo das partículas.

Como essas instalações vêm pré-fabricadas já que são produzidas em módulos, isso facilita a instalação e a manutenção de alguma etapa da estação que esteja danificada ou com baixo rendimento, assim como sua expansão caso seja necessária.

As taxas de filtração usuais para este tipo de filtro variam de 120 a 180 m³/m² * dia.

A lavagem dos filtros deve ser realizada com o aumento de perda de carga indicar que o filtro está em processo de colmatção. Para possibilitar a lavagem deverá ser instalado um reservatório de água nova, com boas características físico-químicas. É admitida a reutilização de água de lavagem, desde que submetida a pré-sedimentação e cloração intensa.

O reservatório de água de lavagem poderá ser elevado e funcionar por gravidade para unidades maiores de tratamento de água, economizando assim a utilização de energia elétrica, ou enterrado com a utilização de bombas caso a estação seja de pequeno porte. A escolha ficará a cargo do operador do sistema e basicamente é referenciada no custo operacional da estação de tratamento de água, já que a lavagem dos filtros é fato recorrente em qualquer unidade desse tipo.

Após a coleta de água filtrada, a água tratada está pronta para distribuição nos pontos de consumo da planta industrial.



Figura 3.15: Vista em três dimensões de uma estação de água pré-fabricada (SANEAQUA, 2008).

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que as atividades minerárias são dinâmicas, resultantes do mercado e dos teores de minério encontrados em jazidas descobertas. Isso faz com que o plano de lavra seja constantemente alterado em função de necessidades técnicas e/ou econômicas momentâneas.

O gerenciamento do uso e da qualidade da água deve ser flexível para ser capaz de responder rapidamente às influências externas. Os dois principais objetivos do sistema de gerenciamento de águas na mineração são garantir um suprimento de água confiável para atender as necessidades do beneficiamento mineral, tanto em termos quantitativos como qualitativos, e cumprir as regulamentações impostas pela legislação ambiental.

Na prática isso é um pouco diferente porque a preocupação ambiental e econômica advinda de novas políticas de preservação de recursos naturais, ainda é recente se comparada ao tempo em que as usinas de beneficiamento operam.

Conforme apresentado nesse trabalho as alternativas existem e estão aí para facilitar a vida das empresas mineradoras que tiverem por objetivo adequarem suas operações à sistemas com alto índice de recuperação de água, absorvendo assim problemas ambientais e maiores custos operacionais.

Algumas opções apresentadas já são aplicadas industrialmente, outras encontram-se em teste piloto e outras ainda não despertaram a atenção dos clientes finais, as mineradoras. Torna-se então necessário que cada empresa do ramo identifique seu potencial de poluição das águas e procure aliar o conhecimento industrial obtido em anos e anos de operação, com centros de pesquisa e universidades capacitadas com a finalidade de desenvolver processos de tratamento de águas que permitam sua reutilização na própria atividade de processamento mineral ou seu descarte sem prejuízo maior ao meio ambiente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11174: Armazenamento de resíduos classe II – não inertes e III – inertes.** Rio de Janeiro, 1990.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro, 1992.

ALBUQUERQUE, L.H. **Análise do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone.** Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 191 p. 2004.

ASSIS A., ESPÓSITO, T. **Construção de Barragens de Rejeito Sob uma Visão Geotécnica.** Anais III Simpósio Sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos – REGEO, pp. 240-273. 1995.

BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à Engenharia Sanitária.** São Paulo: CETESB, 1986.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **A gestão dos recursos hídricos e a mineração.** Brasília: ANA; IBRAM 2006.

BRASIL. **Constituição (1988).** Texto constitucional de 5 de outubro de 1988 com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais no 1/92 a 9/95 e pelas Emendas Constitucionais de Revisão de no 1 a 6/94. Brasília: Senado Federal, 1995.

BRASIL. **Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1o da Lei no 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, 9 dez. 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva.** Brasília: MMA, 2006.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água vol. I e II.** Rio de Janeiro: ABES, 1993.

FARIA, C. E. G. **A Mineração e o Meio Ambiente no Brasil**. CGEE, 2002. 41 p. Disponível em: < http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf>. Acesso em 10 de Outubro de 2008.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Conservação e reuso de água- Manual para o setor industrial**. 90 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo_imgs/conservacaoereusodeagua.pdf>. Acesso em 15 de Novembro de 2008.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Mineração e Meio Ambiente: Impactos Previsíveis e Formas de Controle**: Belo Horizonte, 1987.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Modelo de gestão de recursos hídricos: a posição do setor mineral na visão do Ibram**. Brasília: Ibram, 2001.

LIBANIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Editora Átomo. 2005.

MIERZWA, J.C. e HESPANHOL, I. **Programa para Gerenciamento de Águas e Efluentes nas Indústrias, Visando ao Uso Racional e à Reutilização**.

Revista Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, Vol. 4. 2000, p. 11 - 15.

NUNES, J. **Tratamento Físico-Químico de águas residuárias industriais**. 4ª Edição revista e ampliada. Aracaju: Gráfica Editora J.Andrade Ltda, 2004.

RUBIO, J. F. TESSELE, P. A. **Processos para o tratamento de efluentes na mineração**. Em: Capítulo 16 do livro “Tratamento de Minérios 3ª Edição”; A.B. da Luz, J. A. Sampaio, M. B de M. Monte e S. L. de Almeida (Eds), CETEM-CNPq. 2002.