

MAURÍCIO GUIMARÃES BERGERMAN

**PRODUÇÃO MAIS LIMPA NO TRATAMENTO DE MINÉRIOS:
CASO DA COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO,
MINA DE ITAMARATI DE MINAS, MG**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Orientador: Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves

São Paulo

2003

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a meus pais, pela educação e apoio.

A meus irmãos, principalmente o Marcel, pelo apoio desde os primeiros Exercícios Programados, até as sugestões neste trabalho de final de curso.

A Raíssa, pelo amor.

Ao Prof. Arthur Pinto Chaves, por despertar meu interesse pelo Tratamento de Minérios e constante apoio ao longo de todos os anos na Escola.

A Companhia Brasileira de Alumínio, em nome do Engº Claret e do Nilson, que possibilitaram a concretização deste trabalho.

A toda a equipe do Laboratório de Tratamento de Minérios, Rose, Tico, Alfredo, Juscelino, Ivani e Ilson, pela ótima convivência e apoio na realização dos trabalhos de laboratório.

Ao Prof. Douglas Gouveia e aos doutourandos Silvio e Gilberto, do Laboratório de Processos Cerâmicos pela orientação na realização dos ensaios cerâmicos.

Aos colegas da Fundação S.O.S. Mata Atlântica, Instituto Sócio Ambiental e Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo pelos ensinamentos e troca de experiências sobre a questão ambiental.

Aos colegas da Multigeo e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas pela contribuição em minha formação como engenheiro de minas.

A todos com quem convivi nestes anos de Escola.

RESUMO

Este trabalho faz uma revisão bibliográfica sobre os temas Desenvolvimento Sustentável e Produção mais Limpa, visando entender a sua formação e consolidação.

A fim de apresentar um exemplo prático destes termos, são apresentadas as atividades desenvolvidas para a melhoria da recuperação de bauxita e aproveitamento dos rejeitos da usina da Companhia Brasileira de Alumínio, em Itamarati de Minas, MG.

Os trabalhos foram realizados através da implementação de um circuito de aproveitamento de finos, o que viabilizou o aumento da recuperação de alumina aproveitável de 57 para 59%. Este circuito, além de aumentar a recuperação da usina, se mostrou muito importante em diminuir a quantidade de rejeitos encaminhados à barragem. Isto significa aumento de sua vida útil, diminuição do investimento necessário no alteamento da sua crista e minimização do impacto ambiental que é a acumulação de rejeitos.

Com a implantação da usina industrial de recuperação de finos de bauxita, os rejeitos gerados eram compostos principalmente de um concentrado de minerais pesados, que tiveram seu uso verificado como aditivo de cimento portland e as lamas da ciclonagem, que podem ser aproveitadas para a fabricação de cerâmica vermelha. Com estes desenvolvimentos, fica demonstrada a possibilidade da mina da CBA em Itamarati de Minas operar com uma mínima geração de efluentes e máximo aproveitamento da jazida.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FOTOS

LISTA DE ANEXOS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	2
3. METODOLOGIA.....	3
4. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
4.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	4
4.1.1. O CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	5
4.1.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A MINERAÇÃO	10
4.2. PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....	13
4.2.1. O CONCEITO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....	14
4.2.1. PRODUÇÃO MAIS LIMPA NO SETOR MINERAL.....	17
4.3. DISCUSSÃO.....	18
5. ESTUDO DE CASO: COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO – MINA DE ITAMARATI DE MINAS	19
5.1. O PROCESSO DE BENEFICIAMENTO MINERAL DA CBA	19
5.2. APROVEITAMENTO DOS FINOS DO BENEFICIAMENTO	21
5.3. APROVEITAMENTO DOS REJEITOS DO BENEFICIAMENTO	27
5.3.1. POSSIBILIDADE DE UTILIZAÇÃO DOS REJEITOS	27
5.3.1.1. MINERAIS PESADOS COMO ADITIVO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO.....	27
5.3.1.2. ARGILAS PARA CERÂMICAS.....	27
5.3.2. ESTUDOS REALIZADOS PARA O APROVEITAMENTO DOS REJEITOS....	29
5.3.2.1. MINERAIS PESADOS COMO ADITIVO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO.....	29
5.3.2.2. ARGILAS PARA CERÂMICAS.....	31
6. CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais autores e fatos que levaram ao surgimento e elaboração de termo Desenvolvimento Sustentável.....	5
Tabela 2. Alterações na usina da CBA de Itamarati de Minas.....	20
Tabela 3. Regulagens da usina piloto.....	23
Tabela 4. composição mineralógica dos rejeitos.....	30
Tabela 5. análise semi-quantitativa por fluorescência de raios-x dos rejeitos.....	30
Tabela 6. Resumo da análise granulométrica das lamas da ciclonagem.....	31
Tabela 7. Overflow dos microciclones - OF do ciclone de 6” – minério gnáissico.....	32
Tabela 8. Overflow dos microciclones - OF do ciclone de 6” – minério anfibolítico.....	32
Tabela 9. Resultados dos testes cerâmicos.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas da Produção mais Limpa em comparação a medidas de controle ambiental.....	16
Figura 2 – fluxograma itamarati com circuito de finos.....	26

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Usina piloto.....	22
Foto 2. Usina Industrial.....	25
Foto 3. Pilha de concentrado minerais pesados.....	30
Foto 4. Pastilhas utilizadas para os testes cerâmicos antes e após a queima.....	33

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Dimensionamento da planta piloto	
Anexo B – Dimensionamento do circuito industrial	

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBA – Companhia Brasileira de Alumínio.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável.

CETESB – Companhia de Tecnologia e de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

DTIE - Departamento de Tecnologia, Indústria e Economia.

EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

IIED – International Institute for Environmental and Development.

LCT – Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP.

LTM – Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP.

LPC – Laboratório de Processos Cerâmicos do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP.

OMS – Organização Mundial de Saúde.

ONU – Organização das Nações Unidas.

PmaisL – Produção mais Limpa.

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

UICN – União Internacional para a Conservação da Natureza.

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development.

WWF – World Wildlife Foundation

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da Revolução Industrial no século XVIII, a demanda por recursos naturais tem sido cada vez maior, em função de mudanças nos campos econômico, técnico, social e intelectual, que foram rápidas e de longo efeito, transformando economias agrícolas nas modernas sociedades industrializadas¹. Atualmente, no século XXI, cresce a pressão humana sobre os recursos naturais, o que causa preocupação, principalmente em relação aos recursos não renováveis.

Neste contexto, a sociedade começa a observar o desenvolvimento de muitos estudos e o surgimento de entidades ligadas tanto a governos como a empresas e a sociedade civil, preocupadas com a sustentabilidade da sociedade. Termos como Desenvolvimento Sustentável e Produção mais Limpa, que visam apresentar novos rumos ao desenvolvimento econômico, em harmonia com as esferas social e ambiental, tornaram-se correntes no cotidiano das pessoas, sendo inclusive utilizado sem muita precisão ou rigor científico.

A fim de melhor entender esses termos e sua relevância em relação ao futuro da sociedade, foi realizada uma revisão bibliográfica, baseada principalmente em estudos de instituições reconhecidas, que possuem pontos de vista diversos e realizaram consultas à sociedade em geral, resultando em trabalhos que apresentam pontos de vistas diversos. Depois de traçado um panorama do surgimento e consolidação dos conceitos de Desenvolvimento Sustentável e Produção mais Limpa, procurou-se relacioná-los ao setor mineral, visando compreender o modo no qual a Engenharia de Minas pode ser vital neste debate, contribuindo de maneira significativa para que haja um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e social e o meio ambiente.

Demonstrando a viabilidade prática de ações que estejam em consonância com o Desenvolvimento Sustentável, este trabalho apresenta o estudo realizado junto à Companhia Brasileira de Alumínio, na unidade de Itamarati de Minas, MG, cujo objetivo foi aumentar a recuperação de bauxita da usina e viabilizar usos para os materiais que eram tratados como rejeitos e encaminhados à barragem de rejeitos, aplicando a metodologia de Produção mais Limpa.

Primeiramente apresento a forma de operação e as conclusões obtidas com a operação da usina piloto de recuperação de finos, que permitiu aumentar a recuperação de bauxita. Em

¹ Verbete Revolução Industrial do Dicionário de Ciências Sociais.

seguida é apresentada a implantação da usina industrial. É feita então uma caracterização mineralógica dos rejeitos desta usina industrial, visando o estudo de possibilidade de outros usos para os mesmos. Constituídos principalmente de minerais pesados e lamas da ciclonagem, pode-se colocar os primeiros na especificação de mercado para aditivo na fabricação de cimento portland e ainda beneficiar as lamas de ciclonagem para eventual aproveitamento das argilas na fabricação de cerâmica vermelha.

Estudos deste tipo são fundamentais para agregar valor à jazida, na medida em que diminuem a geração de rejeitos e aumentam a recuperação do minério, trazendo benefícios não só para a empresa, mas também para a sociedade e o meio ambiente.

2. OBJETIVO

Pretende-se com a realização deste trabalho demonstrar como um instrumento preventivo de gerenciamento ambiental, a Produção mais Limpa, pode auxiliar as empresas de mineração no caminho para um desenvolvimento sustentável.

A fim de exemplificar uma ação prática nesta direção, é apresentado um estudo de caso realizado pelo autor junto à Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), visando aumentar a recuperação de bauxita e possibilitar o aproveitamento dos rejeitos então gerados pela usina de beneficiamento de bauxita de Itamarati de Minas, MG, constituídos principalmente de minerais pesados e lamas de ciclonagem. Para os minerais pesados, pretende-se verificar a sua utilização como aditivo na fabricação de cimento portland. As lamas de ciclonagem terão sua utilização verificada para fabricação de cerâmica vermelha.

Caso estes trabalhos se mostrem positivos, pretende-se demonstrar que a aplicação da metodologia de Produção mais Limpa pode trazer mais do que benefícios econômicos à empresa, que conseguirá aumentar a sua produção sem aumentar o consumo de matérias primas e diminuindo a geração de rejeitos, mas também benefícios sociais e ambientais, na medida em que aumenta a vida útil da jazida e diminui o impacto ambiental da disposição de rejeitos.

3. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi feita uma revisão bibliográfica acerca do conceito de Desenvolvimento Sustentável e de Produção mais Limpa, baseada principalmente em estudos realizados por instituições reconhecidas. Posteriormente, procurou-se relacioná-los com a atividade mineradora, por meio da discussão teórica e prática de um estudo de caso realizado pelo autor.

Este estudo de caso descreve a operação de uma planta piloto para a recuperação dos finos de bauxita, a implantação da usina industrial e a caracterização e estudo das possibilidades de aproveitamento dos rejeitos que então seriam gerados, com a introdução do circuito de finos de bauxita.

Os estudos em escala piloto foram realizados em uma usina montada ao lado da instalação de beneficiamento da CBA, em Itamarati de Minas, durante meu estágio de férias nesta empresa, entre julho e agosto de 2000. A primeira etapa foi a de dimensionamento da usina piloto, seguido da montagem e operação da mesma, por quatro meses (julho a outubro de 2000). Foram realizados 22 ensaios, mudando-se a configuração do circuito, a regulação dos equipamentos e a recirculação interna dos produtos (BERGERMAN, 2000 e CHAVES, BIGOGNO e CHIEREGATI, 2000).

Conforme os resultados iam sendo gerados, eram analisados e discutidos em conjunto pela equipe do Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP (LTM) e pela equipe da CBA, e eram sugeridas alterações para o circuito.

Após se chegar ao circuito final, considerado o mais adequado, procedeu-se ao dimensionamento e implementação da usina industrial, que foi montada no início de 2001 e está em operação desde então.

O passo seguinte do trabalho foi de amostrar os pontos de geração de rejeitos a fim de caracterizá-los e verificar possibilidades de uso. As amostras estudadas foram coletadas pela CBA e enviadas ao LTM. Foram realizados ensaios de ciclonagem e peneiramento nos equipamentos existentes no LTM. Amostras dos produtos obtidos foram enviadas ao laboratório da CBA em Itamarati de Minas para a realização de análises químicas. Realizaram-se também análises mineralógicas e de fluorescência de raios-x no Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP (LCT). No caso das amostras de lama, foram realizados testes cerâmicos, para

verificar esse possível aproveitamento, no Laboratório de Processos Cerâmicos do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP (LPC).

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O ser humano tem a sua história ligada ao uso e exploração de recursos minerais desde seu início. Primeiro utilizaram-se as pedras polidas e lascadas, período chamado de Idade da Pedra. Ao longo do tempo, ele passou a dominar o uso de metais e minerais energéticos, passando pelas idades do Cobre, Bronze, Ferro, Carvão (início da Revolução Industrial) e Petróleo (atualmente). Alguns autores indicam que os próximos anos poderão ser caracterizados como idade do átomo ou do urânio.

Apesar desta longa história de aproveitamento dos recursos minerais, é apenas após a Revolução Industrial, no século XVIII, que o consumo de bens minerais começa a crescer de maneira muito superior ao observado até então. Os recursos minerais passam a ser necessários para sustentar o desenvolvimento econômico das potências da época, sendo o acesso aos mesmos viabilizado pelo desenvolvimento tecnológico, aliado ao alargamento geográfico da expansão imperialista. Esta condição garantiu relativa tranquilidade quanto ao suprimento de matérias primas aos países desenvolvidos até o início do século XX, quando as guerras mundiais e o crescimento da população começam a impor novos desafios à garantia de suprimento dos mesmos.

Neste contexto, a mineração ganha importância devido à sua capacidade de suprir a humanidade em suas matérias primas, melhorar as condições econômicas e a qualidade de vida e ao mesmo tempo evitar impactos significativos tanto ecológicos como sociais, ou seja, conciliar os seus interesses econômicos com os interesses ambientais e sociais.

É nesta delicada relação que se iniciam os debates sobre o conceito de desenvolvimento sustentável, que seria uma forma de conciliar estes interesses conflitantes, de modo a garantir que a sociedade continue se desenvolvendo em harmonia com o meio ambiente e consigo mesma.

4.1.1. O CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Segundo CAVALCANTI (1996), é com o início da Revolução Industrial que começa a ser discutida a relação entre o desenvolvimento econômico e social e a capacidade de suporte do meio ambiente. Ela cita os seguintes autores e fatos principais que levaram ao surgimento e elaboração do termo Desenvolvimento Sustentável, resumidos na tabela 1.

Tabela 1. Principais autores e fatos que levaram ao surgimento e elaboração de termo Desenvolvimento Sustentável

Autor	Ano	Trabalho	Principais aspectos
R.T. Malthus	1798	Ensaio sobre a população	Faz projeções sobre a falta de alimentos devida ao crescimento exponencial da população no início da revolução industrial, que não seria acompanhada pela produção agrícola (cresceria em progressão aritmética).
David Ricardo	ca 1800	Teoria dos rendimentos crescentes	Prevê que com o fim de reservas de alto teor, a exploração mineral atingiria um ponto onde se tornaria inviável economicamente.
Jonh S. Mill	1848	Princípios de economia política	Propõe o estado estacionário do estoque de capital e da população, baseado na produtividade das terras e das minas.
W.S. Jevons	1865	The coal question: an inquiry concerning the progress of the nation and the probable exhaustion of our coal mines	Com a intensificação do comércio, o consumo de insumos aumentaria de forma que não poderia ser mantido de forma duradoura. Apresenta o princípio da equidade intergeracional, que diz as futuras gerações possam dispor dos mesmos recursos que a anterior
A.G. Pigou			Propõe a taxaço e incentivos para defesa da exploração de recursos não renováveis que se caracterizassem como imprudentes e precipitadas ou para estimular o investimento em formação de florestas.
Comissão presidencial para política de materiais – EUA	1952	Resources for freedom, foundation for growth and scarcity	Alerta para o aumento do consumo e importância dos recursos minerais para a economia dos EUA. Conclui pela necessidade do estabelecimento de planos para garantir as futuras necessidades do país.
Comissão de recursos para o futuro - EUA	1963	Scarcity and growth: the economics of natural resources availability	Testou as implicações da escassez de recursos minerais sobre o custo da extração e os preços das commodities entre 1870 e 1957. Mostrou que os preços vinham caindo, indicando que eles se tornaram menos escassos no período.
Clube de Roma	1972	The limits to the growth	Defende o estado estacionário da população, indicando a importância do controle populacional no terceiro mundo (neomalthusianismo).
Clube de Roma	1974	Mankind at the turnpoint	Prevê o risco de colapsos regionais em função da superpopulação, riscos nucleares e aumento da diferença entre ricos e pobres. Em 82 o clube rejeita a noção de limite físico, enfatizando que deveria ser dada atenção em direção ao crescimento, em especial com apoio ao países pobres.

Confederação das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Urbano	1972		Aponta que o problema dos países ricos está na poluição industrial e nos países pobres a má gestão dos recursos naturais, devido a pobreza. Aponta que as soluções dependem de políticas domésticas, mantendo o enfoque malthusiano.
W. D. Nordhaus e J. Tobin	1972/73	Is growth obsolete e World dynamics: measurement without data	Concluem que os bens minerais estavam se tornando menos escassos e que não haveria motivos para preocupação
Maurice Strong	1970	Ecodesenvolvimento	Apresenta uma concepção de desenvolvimento que negava a implicação de degradação de recursos naturais e previa, entre outros, “desmistificar a crença do progresso através da ciência e da tecnologia, alterar os padrões de consumo dos países industrializados e das elites do terceiro mundo”. Propunha que os recursos naturais fossem usados pelas populações locais
Simpósio de Cocoyoc - PNUMA	1974	Modelos de utilização de recursos, meio ambiente e estratégias de desenvolvimento	Trata os problemas ambientais sobre a ótica do terceiro mundo, tema pouco discutido em Estocolmo. Liga os problemas ambientais a pobreza do terceiro mundo e ao alto consumo dos países ricos.
Relatório de Dag-Hammarskso			Reformulação e aprofundamento da declaração de Cocoyoc. Enfatiza a importância de mudanças no campo.
Modelo mundial latino-americano da Fundação de Barriloche	1976	Catastrophe or a new society – a latin american world model	Caracteriza-se como uma reação ao pensamento do primeiro mundo de limite físico para o desenvolvimento. Afirma que os problemas do mundo são sócio-políticos e diz que o processo de deterioração ambiental é resultado de organizações sociais baseadas em valores destrutivos. Com relação aos recursos naturais, considera que a oferta permanecerá constante até 2060.
N. Porter e F.T. Christy	1977	Trends in natural resources commodities: statistics prices, out put, consupcion, foreign trade and employment in U.S., 1870-1977	Mais um trabalho na área de escassez e preços. Conclui que os preços das commodities estão caindo.
United State Council of environmental quality	1980	Global 2000 – report to the president	Tem conclusão otimista, de que o mundo estaria menos povoado, poluído, vulnerável e que o consumo de recursos naturais estaria mais equilibrado em 2000.
UICN, PNUMA e WWF	1980	Estratégia mundial para conservação	Foi o precursor do tema desenvolvimento sustentável, entendido como um meio para se alcançar a conservação.
Conferencia de Ottawa – UICN, PNUMA e WWF	1986		Apresenta um conceito de desenvolvimento sustentável que deveria responder a cinco quesitos: integração da conservação e do desenvolvimento, satisfação das necessidades humanas básicas, alcance da equidade e justiça social, provisão de autodeterminação social e da diversidade cultural e manutenção da integração ecológica.
Comissão mundial sobre o meio ambiente da ONU	1987	Nosso Futuro Comum (Relatório Brundtland)	Vasto estudo realizado por diversos países, do primeiro e terceiro mundo, sobre o futuro da humanidade. Apresenta um conceito de desenvolvimento sustentável.

De todas as iniciativas listadas, o Relatório Brundtland é considerado o principal

marco na consolidação do termo Desenvolvimento Sustentável. Por isso, farei uma análise um pouco mais detalhada deste relatório, visando extrair os principais conceitos abordados pelo mesmo.

Este trabalho foi realizado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, órgão ligado à Secretaria Geral da ONU. O mesmo foi realizado entre os anos de 1983 e 87, liderado pela Sra. Gro Harlem Brundtland, ex-primeira-ministra da Noruega e atual Diretora Geral da Organização Mundial de Saúde (OMS). Conforme Brundtland, este trabalho foi um pedido da Assembléia Geral das Nações Unidas à Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento para que preparasse uma “agenda global para mudança”, sendo os principais objetivos os seguintes (COMISSÃO, 1991):

- Propor estratégias ambientais de longo prazo para obter um desenvolvimento sustentável por volta do ano 2000 e daí em diante;
- Recomendar maneiras para que a preocupação com o meio ambiente se traduza em maior cooperação entre os países em desenvolvimento e entre países em diferentes estágios de desenvolvimento econômico e social e leve à consecução de objetivos comuns e interligados que considerem as inter-relações de pessoas, recursos, meio ambiente e desenvolvimento;
- Considerar meios e maneiras pelos quais a comunidade internacional possa lidar mais eficientemente com as preocupações de cunho ambiental;
- Ajudar a definir noções comuns relativas a questões ambientais de longo prazo e os esforços necessários para tratar com êxito os problemas de proteção e de melhoria do meio ambiente, uma agenda de longo prazo a ser posta nos próximos decênios, e os objetivos a que aspira a comunidade internacional.

Ela cita a relação entre meio ambiente, que é o lugar onde todos vivemos, e o desenvolvimento, que é o que fazemos ao tentar melhorar o que nos cabe no lugar que ocupamos, mostrando que os dois termos são inseparáveis. É importante também ressaltar a sua visão a respeito do estreito vínculo entre pobreza, desigualdade social e deterioração ambiental, diretriz que norteia o trabalho e consolida um novo conceito, de que só será possível almejarmos uma sociedade ecologicamente equilibrada com a erradicação da pobreza, em contraste à idéia corrente na qual a solução para os problemas ambientais seria o controle do crescimento populacional.

O relatório apresenta a seguinte definição para o termo desenvolvimento sustentável (COMISSÃO, 1991): **“atender às necessidades do presente sem comprometer a**

possibilidade de as gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades”.

É colocado que o termo tem limites, impostos pelo estágio da tecnologia, da organização social e pela capacidade da biosfera de absorver os efeitos da atividade humana. Sendo assim, sempre serão possíveis novas eras de crescimento econômico, conforme as mudanças na tecnologia e nas organizações sociais.

No campo das mudanças sociais, é vista como uma necessidade à diminuição da pobreza e à mudança no estilo de vida dos mais ricos (tanto dos países ricos como dos pobres), de modo que este seja compatível com os recursos do planeta. Quanto a isso, é colocado que: “as necessidades são determinadas social e culturalmente, e o desenvolvimento sustentável requer a promoção de valores que mantenham os padrões de consumo dentro do limite das possibilidades ecológicas a que todos possam, de modo razoável, aspirar.”

Deste modo, os aumentos de população poderão ocorrer, porém em harmonia com o potencial produtivo variante do ecossistema.

Ao final de seu capítulo introdutório, é apresentado o seguinte resumo para o termo (COMISSÃO, 1991): “Afim, o desenvolvimento sustentável não é um estado permanente de harmonia, mas um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, a orientação dos investimentos, os rumos do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão de acordo com as necessidades atuais e futuras”.

Outro estudo importante, denominado: **Breaking new ground: the Report of the Mining, Minerals, and Sustainable Development Project**, aborda exclusivamente a questão do Desenvolvimento Sustentável e a mineração. Elaborado pelo International Institute for Environmental and Development (IIED) para o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), tendo sido patrocinado por mais de quarenta organizações, comerciais e não comerciais (empresas, organizações não governamentais e governos), o estudo apresenta além de uma revisão sobre o termo desenvolvimento sustentável, um panorama do setor mineral e os caminhos sugeridos rumo ao desenvolvimento sustentável. As conclusões do trabalho viriam a ser apresentadas no Encontro Mundial para o Desenvolvimento Sustentável em Johannesburg, em 2002. Neste trabalho, são apresentados os seguintes princípios para o Desenvolvimento Sustentável (IIED/WBCSD, 2002):

➤ **Esfera Econômica**

- Maximizar o bem estar humano;

- Garantir o uso eficiente de todos os recursos, maximizando as rendas;
- Procurar identificar e internalizar custos econômicos e sociais;
- Manter e melhorar as condições para empreendimentos viáveis.

➤ Esfera Social

- Garantir a todos uma distribuição justa dos custos e benefícios do desenvolvimento;
- Respeitar e reforçar os direitos fundamentais dos seres humanos, incluindo liberdade civil e política, autonomia cultural, liberdade social e econômica e segurança pessoal;
- Procurar garantir os benefícios às futuras gerações;

➤ Esfera Ambiental:

- Promover a responsabilidade sobre os recursos naturais e o meio ambiente, incluindo a remediação de passivos;
- Minimizar a geração de resíduos e acidentes ambientais ao longo da cadeia produtiva;
- Exercitar a prudência aonde os impactos são incertos ou desconhecidos;
- Operar com limites ecológicos e proteger áreas naturais críticas.

➤ Esfera do Governo:

- Garantir a democracia;
- Incentivar novos empreendimentos através de um sistema de regras claras e justas, além de oferecer incentivos;
- Evitar a excessiva concentração de poder através de mecanismos de verificação e controle;
- Garantir transparência provendo a todos o acesso a informações relevantes e confiáveis;
- Incentivar a cooperação de modo a construir confiança e dividir resultados e sucessos;
- Garantir que as decisões sejam tomadas nos níveis adequados.

Pelas visões de desenvolvimento sustentável, apresentadas nos dois relatórios analisados, podemos notar que começa a se formar um consenso em torno do seu significado. Para que a idéia de que as gerações atuais devem suprir suas necessidades de modo que as futuras também possam fazê-lo, começa a se mostrar vital que a sociedade aceite novos

paradigmas.

A questão principal é que apenas o desenvolvimento tecnológico não garantirá a nossa sustentabilidade. Serão necessárias ações no sentido de diminuir a pobreza, respeitar direitos dos seres humanos, internalizar custos sociais e ambientais na formação do preço, além de mudar a relação quanto ao meio ambiente, evitando inclusive que algumas áreas sejam ocupadas, caso existam dúvidas em relação a seu aproveitamento econômico e à sua preservação.

É importante destacar também que o crescimento populacional não está condenado, devendo este apenas ocorrer em harmonia com as possibilidades do planeta, que mudam em função de fatores tecnológicos e sociais.

Estas medidas exigem ações em todos os setores da sociedade, inclusive na Engenharia, responsável por exemplo pelo desenvolvimento de processos e implantação dos empreendimentos, que visam a sustentabilidade.

4.1.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A MINERAÇÃO

O Relatório Brundtland aborda a questão dos recursos não renováveis, como os minerais e os combustíveis fósseis, explicitando que o seu consumo reduz a quantidade de que disporão as futuras gerações. Por isso, os seus níveis de uso devem levar em conta a disponibilidade do recurso, de tecnologias que minimizem o seu esgotamento e a probabilidade de se obterem sucedâneos para ele. O desenvolvimento sustentável exige que o índice de destruição dos recursos não renováveis mantenha o máximo de opções para as futuras gerações.

O texto cita, no entanto, que a questão dos recursos minerais não energéticos ainda não chega a ser um problema, visto que segundo estudos realizado até a década de 80, como o Global 2000², nós só teríamos problemas de abastecimento no decorrer do século XXI, se o aumento no consumo fosse exponencial. Como tem se observado que o aumento do consumo de bens minerais não tem crescido em nível exponencial, a possibilidade de esgotamento só ocorreria em um prazo mais longo.

Sobre esta questão, o relatório do IIED/WBCSD (2002), p. 78, apresenta o tempo de exaustão das reservas mundiais. Mantendo-se os níveis de produção atuais, alguns minerais

² Global 2000 Report to the President, publicado pelo United States Council of Environmental Quality, em 1980.

poderiam faltar em um futuro recente, como por exemplo: Cobre: 28 anos, Chumbo: 21 anos, Níquel: 41 anos, Prata: 17 anos, Estanho: 37 anos e Zinco: 25 anos, apresentando reservas maiores: Carvão: 216 anos, Alumínio: 202 anos e Ferro: 132 anos.

Esta discussão da exaustão foi feita por CROWSON (1992). Ele aponta que os dados utilizados para definir quantos anos um bem mineral ainda pode ser explorado é baseado nas reservas³ de cada bem. Estas levam em conta apenas uma pequena parte dos recursos realmente disponíveis em uma área, visto que os custos para a avaliação destes recursos são altos (envolvendo sondagens e amostragens), sendo este trabalho feito apenas para delimitar uma reserva que justifique um certo investimento por um prazo de tempo variável, em geral de 10 a 20 anos. Assim, conforme essas reservas comecem a chegar ao seu fim, novos estudos são realizados e mais recursos podem então ser classificados como reservas. Por este motivo, ao longo dos anos, o que se tem observado é um aumento nas reservas de diversos bens minerais, mesmo com produções também crescentes.

Outra questão importante é o desenvolvimento de novas tecnologias, que permitem identificar novos recursos mais efetivamente, explorar jazidas com menores teores de corte, aproveitar depósitos complexos antes inexploráveis e um aumento no aproveitamento dos materiais recicláveis.

Um terceiro fator de importância é que o aumento de preços também incentiva a procura por novos recursos, maiores recuperações das jazidas em exploração, aproveitamento de depósitos de baixos teores e aumento da reciclagem. A estabilidade política e existência de regimes regulatórios também são muito importantes, pois permitem que o empreendimento não necessite de um retorno rápido do investimento, podendo diminuir o teor de corte do minério.

Podemos citar ainda a possibilidade de novos caminhos para a exploração mineral, como a exploração marinha, e a descoberta de reservas em áreas inóspitas, hoje com pouquíssimos dados geológicos disponíveis, como a região amazônica.

Levando em conta esses fatores (tecnologia, exploração, reciclagem e preço), o autor conclui que é improvável que exista uma falta de recursos não-renováveis em longo prazo, podendo sim existirem curtos períodos de tempo nos quais ocorra a interrupção no fornecimento de certos bens minerais.

Analisando os dados referentes à exaustão das reservas minerais, podemos ver que os elementos que têm pequenas reservas, como zinco, prata, níquel, mercúrio, cobre e ouro⁴, são os que apresentam plena capacidade de serem reciclados, tanto por suas propriedades como por não serem elementos consumíveis. Por outro lado, elementos que não podem ser reciclados, pois são consumidos em seus usos, como fosfato e potássio, apresentam, segundo CROWSON (1991), reservas para mais de 500 anos, tempo suficiente para que se pesquisem substitutos.

Uma medida prioritária citada pelo relatório Brudtland é a modificação na estrutura do comércio mundial de minérios, de modo que os países em desenvolvimento e exportadores tenham uma maior participação no valor adicionado ao uso dos minerais, e a melhoria do acesso desses países às reservas minerais, na medida em que sua demanda aumentasse. Esta preocupação se justifica, pois segundo dados do Banco Mundial, citados pelo relatório do IIED/WBCSD, cinquenta e um países em desenvolvimento têm suas economias fortemente dependentes da mineração. Nestes países vivem 3,5 bilhões de pessoas, dos quais 1,5 bilhões com menos de 2 dólares por dia.

O estudo do IIED/WBCSD (2002) levantou, junto à comunidade envolvida com a mineração, ao longo dos dois anos de mecanismos de consultas públicas, nove pontos principais a serem levados em conta pelo setor:

- Viabilidade do setor mineral;
- Controle, uso e gerenciamento do solo;
- Desenvolvimento econômico e minerais;
- Minerações e comunidades locais;
- Mineração, minerais e meio ambiente;
- Uma visão integrada do uso dos minerais;
- Acesso à informação;
- Pequenas minerações e minerações artesanais;
- Setor governamental: Regras, responsabilidades e instrumentos para mudanças.

São apresentados pelo IIED/WBCSD os principais passos a serem seguidos pelo setor

³ Segundo Yamamoto: Recursos Minerais que são viáveis economicamente no momento de sua determinação. Caso os parâmetros econômicos sejam alterados, as reservas minerais podem voltar à classe de recursos minerais até que retornem as condições favoráveis, ou então, permaneceram como recursos geológicos.

⁴ Minerais com menos de 50 anos de reservas para a produção atual, sem levar em conta os possíveis aumentos das mesmas com novas pesquisas, segundo CROWSON (1991) (p. 12) e IIED/WBCSD (2002) (p. 78).

mineral a fim de atingir o desenvolvimento sustentável:

- Entender o desenvolvimento sustentável: sugere-se um esforço em educação que foque o tema, incorporando o mesmo no currículo de escolas de mineração, aumentando o conhecimento por parte de empregados das empresas, agências governamentais, sociedade civil e outros atores;
- Criar políticas organizacionais e sistemas de gerenciamento: Muitas organizações não têm políticas de desenvolvimento sustentável e deveriam desenvolvê-las;
- Desenvolver cooperação com aqueles com interesses similares: Revisar ações de associações já existentes, formar novas associações e redes de contatos, especialmente pequenas minerações e artesanais, estabelecer protocolos de princípios (empresas, governos e organizações não governamentais) e desenvolver a capacidade de prevenir e responder a emergências;
- Desenvolver estruturas para ações efetivas em todos os níveis: locais, regionais e globais.

Pela análise dos dados levantados nestes três trabalhos podemos ver que a mineração tem vários desafios, de difícil equacionamento, para chegar ao desenvolvimento sustentável.

Serão necessários investimentos em pesquisa nas áreas de tecnologia, exploração, reciclagem e gerenciamento ambiental, para que a indústria se torne cada vez mais eficiente, aproveite melhor as possibilidades de suas reservas, gere o mínimo de efluentes, consuma o mínimo de recursos, propicie boas condições de trabalho, não cause impactos significativos no meio em que atua e que apoie o desenvolvimento das populações em nível local e regional.

4.2. PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Várias ações podem ser tomadas pelas empresas no sentido de contribuir para o Desenvolvimento Sustentável do planeta. Dentre estas, analisarei o conceito de Produção mais Limpa, que se refere a uma metodologia a ser adotada pelas empresas a fim de obterem uma maior produtividade, consumindo menos recursos e gerando uma menor quantidade de resíduos.

Na indústria mineral, este conceito pode ser aplicado com muitos benefícios. As etapas de extração e beneficiamento mineral consomem grandes quantidades de água, insumos e energia e geram efluentes sólidos, líquidos e gasosos. Um dos maiores problemas é

a geração de estéreis da lavra e rejeitos do beneficiamento, que precisam ser dispostos adequadamente, além do alto consumo de energia, água e insumos. Neste contexto, ações no sentido de mudar processos produtivos, visando minimizar o seu consumo de energia, água e insumos e geração de estéreis e rejeitos, podem colaborar para a diminuição do impacto ambiental da atividade mineral e contribuir para a melhoria de sua imagem perante a população.

4.2.1. O CONCEITO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

O Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (PNUMA), por meio de seu Departamento de Tecnologia, Indústria e Economia (PNUMA DTIE), iniciou em 1989 o Programa de Produção mais Limpa (PmaisL).

Segundo esse programa, é apresentada a seguinte definição de produção mais limpa: “É a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva para processos, produtos e serviços, para aumentar a eficiência e reduzir riscos para os humanos e o meio ambiente. A Produção mais Limpa pode ser aplicada a processos usados em qualquer indústria, produtos e variados serviços providos à sociedade. Para processos, a Produção mais Limpa resulta de um ou da combinação dos seguintes: conservação de matérias primas, água e energia; eliminação de matérias primas tóxicas ou perigosas; e redução na quantidade e toxidade de todas as emissões e resíduos gerados durante o processo produtivo. Para produtos, a produção limpa visa a reduzir os impactos ambientais, sobre a saúde e segurança dos produtos durante todo o seu ciclo de vida, da extração de matérias primas, pela manufatura e uso, até sua disposição final. Para serviços, a produção limpa implica na incorporação de preocupações ambientais no projeto e execução dos serviços.”

Fica claro pela análise da definição, que a PmaisL é uma forma de se tratar preventivamente a gestão ambiental, evitando a geração de resíduos e a poluição, com suas conseqüentes atividades de disposição, controle e remediação. Em outras palavras, consiste em ações que visem: diminuir o desperdício, a conservação de recursos naturais, a redução ou eliminação de substâncias tóxicas (presentes em matérias-primas ou insumos), a redução da quantidade de resíduos gerados por processos e produtos, e conseqüentemente, a redução de poluentes lançados para o ar, solo e águas.

O PNUMA diz que o termo PmaisL não é uma definição legal ou científica a ser cansativamente analisada ou submetida a disputas teóricas, tentando conferir um ar mais

prático e passível de implantação. O termo é similar ou complementar, em alguns casos, ao que algumas instituições chamam de eco-eficiência⁵, minimização de resíduos⁶, prevenção de poluição⁷ e produtividade verde⁸, com o complemento, enquanto se refere a “mentalidade de como produtos e serviços são produzidos com um mínimo impacto ambiental sob os limites atuais tecnológicos e econômicos.”

Outro conceito interessante apresentado na discussão da PmaisL é o de ecologia e metabolismo industrial, onde os sistemas industriais e as atividades econômicas relacionadas a um processo são estudados a fundo, e então verificadas suas relações entre elas e com sistemas naturais. Basicamente, eles tentam imitar a reciclagem de materiais e energia em um ecossistema. O controle dos fluxos de materiais e insumos é um aspecto essencial nesta análise.

Segundo esta idéia do metabolismo industrial, percebe-se que a empresa deve se esforçar em produzir com a mínima geração de resíduos possível e esforçar-se para que os resíduos gerados possam ser usados com matéria prima de outra indústria ou atividade, evitando a sua necessidade de descarte.

Também segundo o PNUMA (2003), todos esses termos compõem passos rumos à efetivação do desenvolvimento sustentável, levando em conta dois dos três pilares que compõem o desenvolvimento sustentável: crescimento econômico e balanço ecológico, não se referindo diretamente ao terceiro componente, a melhoria de condições sociais.

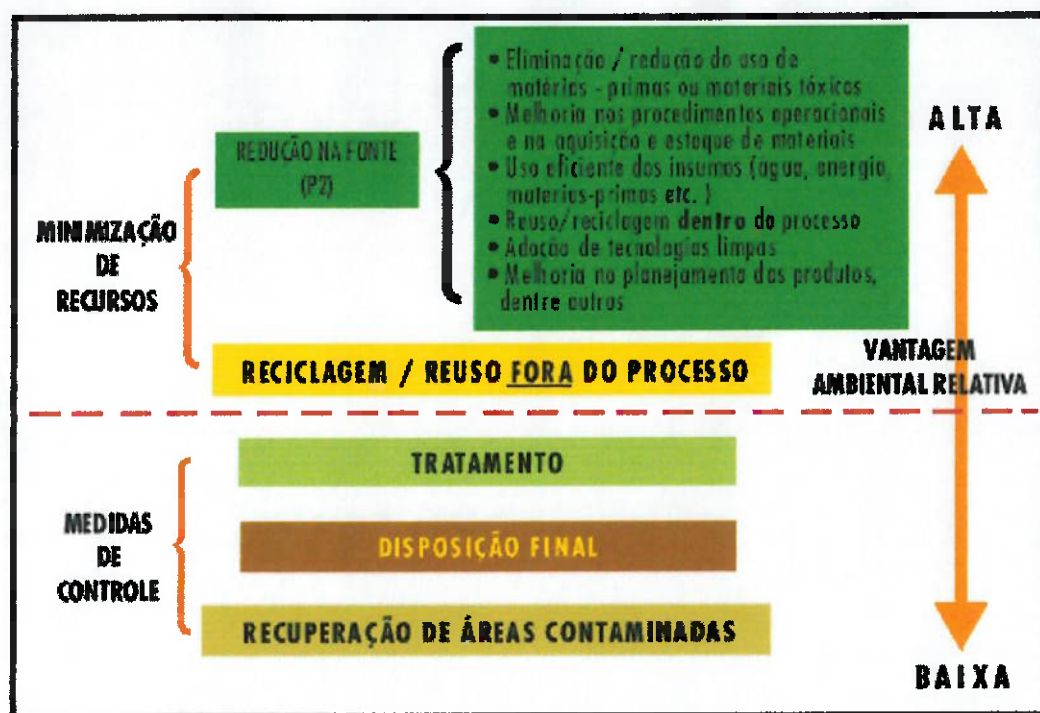
A figura 1 ilustra as etapas da Produção mais Limpa em comparação às medidas de controle ambiental.

⁵ Introduzido pelo World Business Council for Sustainable Development (www.wbcsd.ch) em 1992 e definindo entrega de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, enquanto reduzam progressivamente o impacto ecológico e a pressão sobre recursos, a um nível condizente com a capacidade de suporte do planeta.

⁶ Definido pela US Environment Protection Agency (EPA – www.epa.gov) e pelo Environment Canada (www.c2p2online.com) para designar o esforço visando prevenir a geração de poluentes.

⁷ Definido pela EPA como sinônimo de produção mais limpa.

⁸ Definido pelo Asian Productivity Organization (APO – www.apo-tokyo.org) como meio de se atingir a produção sustentável.



Extraído de: CETESB, 2001

Figura 1. Etapas da Produção mais Limpa em comparação a medidas de controle ambiental.

A PmaisL não nega o crescimento, apenas diz que para o crescimento ser sustentável, ele não deve ser considerado apenas como uma estratégia ambiental, pois incluiu considerações econômicas, onde os resíduos são vistos como produtos com valor econômico negativo. Sendo assim, ações visando a minimização de resíduos e consumo de insumos podem ser consideradas como aumento da produtividade e trazer benefícios econômicos ao empreendimento. A idéia é que o termo PmaisL seja uma estratégia em que todos ganhem. Ela protege o meio ambiente, o consumidor e o trabalhador, ao mesmo tempo em que aumenta a eficiência industrial, a competitividade e os lucros.

O PNUMA elaborou uma Declaração Internacional para Produção Limpa, assinada por uma série de países, empresas e entidades, no total de 401 até julho de 2003. O Brasil tem os seguintes signatários: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS)⁹ e Centro Nacional de Produção Limpa, ligado ao PNUMA.

Podemos perceber pela análise dos elementos citados, que o conceito de produção mais limpa tem muito a ajudar no desenvolvimento das empresas, tanto por reduzir os

⁹ Alcoa Alumínio S.A., Companhia Vale do Rio Doce, Companhia Siderúrgica Nacional, Holcim (Brasil) S.A., Petróleo Brasileiro S.A. e S.A. Indústrias Votorantim.

impactos ambientais das atividades desta, como por diminuir custos de produção, além das melhorias observadas junto à imagem da empresa e sua relação com a sociedade, que pode melhorar em função destas ações.

4.2.1. PRODUÇÃO MAIS LIMPA NO SETOR MINERAL

Todos os materiais, em seus processos produtivos, produzem importantes alterações no meio ambiente. Segundo VILLAS-BÔAS (2001), as alterações mais importantes são as seguintes: requerem energia para serem processados, terras para instalarem suas fábricas e unidades produtivas, áreas de recebimentos de rejeitos e estéreis resultantes dos processos produtivos, além de expelirem gases e poeiras e requererem água e movimentação de terra.

Estes impactos são diferenciados ao longo da cadeia produtiva dos materiais, que é dividido por VILLAS-BÔAS (2001) em extração, processamento, fabricação e manufatura.

A indústria mineral, envolvendo a extração e o beneficiamento mineral, gera uma série de impactos particulares em sua atividade, dos quais podemos citar (VILLAS-BOAS (2001) e FIGUEIREDO (2000)):

- Lavra: alteração do lençol de água subterrânea, geração de estéril, poluição sonora pela movimentação de máquinas, emissão de gases dos motores, geração de material particulado, que pode poluir o ar e as drenagens do entorno, vibrações, alteração da topografia original com possibilidade de instabilidade, possibilidade de ocorrência de drenagens ácidas, entre outros;
- Beneficiamento: principalmente a geração de rejeitos e resíduos químicos (no caso da flotação), emissão de poluentes atmosféricos, além do consumo de energia, água e reagentes.

Todos estes impactos da atividade mineral podem ser minimizados ou até evitados, com a execução de boas práticas operacionais e gerenciais, aliadas à implantação de sistemas de gestão ambiental. Os estéreis e rejeitos, no entanto, são um sério problema, que não têm como ser evitados, podendo no máximo ser dispostos corretamente, além do consumo de energia, água e reagentes.

São esses pontos que devem ser prioritariamente analisados dentro do conceito de produção limpa, ou seja, produzir o concentrado mineral, consumindo a menor quantidade possível de energia, água e reagentes e evitando ao máximo a geração de estéreis e rejeitos.

No plano específico do Tratamento de Minérios, acredito que a principal medida para

se implantar um procedimento de PmaisL é o de se conhecer a fundo todo o fluxograma da usina, com a utilização de balanços de massa, metalúrgicos, de água, de energia e consumo de insumos. Deve-se também estudar melhorias na recuperação do minério, além de identificar possíveis usos para os rejeitos e de diminuir o consumo de energia, água e insumos. Essas ações precisam ser complementadas por um eficiente planejamento de lavra, visando à minimização de perdas de minério aproveitável na jazida.

4.3. DISCUSSÃO

A produção limpa é uma ação preventiva que as empresas podem tomar, visando diminuir seu impacto sobre o meio e diminuir seus custos de produção, sendo mais um passo no caminho do desenvolvimento sustentável buscado pelas empresas.

No setor mineral, essa ação pode ser utilizada com o benefício de se tornar uma política da empresa, na qual há o monitoramento contínuo de seu fluxo produtivo, visando o aumento da recuperação do minério, identificação de possíveis usos para os rejeitos, além da diminuição do consumo de energia, água e insumos.

Além dos ganhos econômicos e ambientais que o setor ganharia, estas ações poderiam melhorar a imagem do setor perante a sociedade.

No enfoque dado a este projeto, buscou-se:

- 1) aumentar a recuperação de alumina aproveitável na usina. Com isto melhora-se a conservação de recursos mineral (aumenta-se a vida da jazida), preservando este recurso não renovável para as futuras gerações;
- 2) diminuir o volume de rejeitos lançados na barragem de rejeitos. Com isto, diminui-se o impacto ambiental e elimina-se a componente de custos correspondentes ao alteamento da crista da barragem;
- 3) transformar rejeitos em subprodutos e subprodutos em concentrados de utilização nobre.

5. ESTUDO DE CASO: COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO – MINA DE ITAMARATI DE MINAS

A Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), possui mina e usina de tratamento em Itamarati de Minas, MG. Nesta unidade ela desenvolve as atividades de lavra, tratamento de minérios, disposição de rejeitos e recuperação de áreas degradadas.

A usina iniciou suas atividades em 1992. Ela opera basicamente com dois tipos de minérios, um proveniente de Itamarati de Minas, originado da laterização de rochas gnáissicas, e outro proveniente das jazidas de Descoberto, originado da laterização de rochas anfíbolíticas.

No início dos trabalhos, a recuperação de usina era de 43,5%. Com os diversos estudos que foram realizados ao longo deste período, chegou-se à recuperação de 57% em 2000. Este valor, no entanto, poderia ser aumentado, segundo estudos de OBA (2000) e CHAVES (2000), com o aproveitamento dos finos de bauxita contida no que era então considerado rejeito e encaminhado à barragem de rejeitos.

Existe, também, dentro do que era então considerado como rejeito, alguns materiais que ainda podem ser utilizados, como os minérios pesados, de ferro e titânio, para a indústria de cimento e as lamas de ciclonagem, constituídas principalmente de argilas, que podem ser usadas como matéria prima na indústria de cerâmica vermelha.

5.1. O PROCESSO DE BENEFICIAMENTO MINERAL DA CBA

O objetivo do beneficiamento é o de enquadrar a bauxita nas especificações granulométricas e químicas do processo de fabricação de alumina, através do processo Bayer, que são os seguintes:

- granulometria: $< 2''$
- Al_2O_3 aproveitável: $> 40\%$
- SiO_2 reativa: $< 4\%$
- Fe_2O_3 : $< 18\%$

Após vários estudos, chegou-se à configuração básica da instalação de beneficiamento, que entrou em funcionamento em 1992, composta como a seguir, (BERGERMAN, 2000):

- pátio de estocagem de minério bruto: com 3.000 m^2 , permitindo a descarga de caminhões

em ponta de aterro e blending do minério ;

- instalação de britagem: dois britadores de impacto com capacidade para 100 t/h cada, com abertura de 2". A alimentação do silo de entrada é feita por pá carregadeira através da pilha de estoque ou diretamente por caminhões. Do silo ao britador, a alimentação é feita por um wobbler feeder, que deixa passar para um transportador de correia inferior, a fração <2". Após o britador, o minério é levado por transportador de correia ao lavador;
- instalação de lavagem: o minério é levado por transportador de correia diretamente da britagem para um scruber rotativo, cuja função é desagregá-lo e transformar a fração argilosa em lama. Do scruber o material passa por uma peneira primária com telas de 1" e ¼" (chamada PV-7). A fração > 1" passa por um rebritador de rolos com abertura de 1" e junta-se com a fração > ¼" e < 1" para alimentar um tambor rotativo de relavagem. Do tambor rotativo o material passa por uma peneira com telas de ¾" e ¼" (chamada PV-14), separando a fração > ¼" (minério) da < ¼" (minério + lama);
- recuperação de finos: o material < ¼" seguia para 3 peneiras horizontais com telas ¼" e 10 mesh Tyler. O material < 10 mesh Tyler era considerado como rejeito; e
- O produto maior que 10 mesh Tyler é disposto em duas pilhas de homogeneização através de um stacker.

Nesta configuração inicial, a recuperação era de 43,5%.

A usina sofreu várias alterações até o presente, como troca das malhas das peneiras PV-7 e PV-14 e a recuperação de finos, cujas alterações são descritas na tabela 2.

Tabela 2. Alterações na usina da CBA de Itamarati de Minas.

Ano	Atividade	Resultado
1994	Usina piloto que recebia o material menor que ¼" antes das peneiras horizontais (2 ciclones de 26" e classificador espiral	Sem efeito
1995	Troca das malhas da PV-7: primeiro deck metade 1" e metade 2". Troca das peneiras horizontais por três peneiras de alta frequência com tela 48# Tyler. Colocação de 2 ciclones de 26" para deslamar o material <1/4" vindo da PV 7 e 14.	Aumento da recuperação para 48,5%
1996	Tentou-se adicionar um ciclone de 15" para recircular o overflow do ciclone de 26".	Sem resultado
1996	Adicionaram-se duas peneiras de alta frequência visando diminuir sobrecarga sobre as existentes.	
1999	Troca dos ciclones de 26" por ciclones de 15" e troca das telas das peneiras de alta frequência de 48 para 40#.	Aumento da recuperação para 57%.

5.2. APROVEITAMENTO DOS FINOS DO BENEFICIAMENTO

No início de 2000 iniciou-se mais um estudo no sentido de recuperar os finos, porém desta vez o objetivo era a recuperação do material -40 mesh Tyler (undersize das peneiras de alta frequência).

Até este momento, ambos os minérios eram beneficiados juntos (cinquenta por cento de cada), visto que apesar de serem diferentes, os resultados no beneficiamento só apresentam diferenças para a fração -40 mesh Tyler. No caso do minério de Descoberto, denominado Anfíbolítico (ou mina 2), a bauxita está liberada nesta fração, mas contaminada por minerais de ferro e titânio. Já no minério de Itamarati, denominado Gnáissico (ou mina 1), existe uma grande quantidade de sílica, parte liberada e parte intercrescida com grãos de bauxita. Como o desejo era o de aproveitar justamente essa fração mais fina, os dois minérios precisaram ser tratados separadamente (OBA, 2000). Estudos realizados por CHAVES (2000) mostraram que o aproveitamento dos finos de bauxita poderia ser viabilizado, porém devido à heterogeneidade da jazida, os resultados obtidos em laboratório se mostravam muito díspares, conforme a amostra enviada. Por isso, tais testes deveriam ser conduzidos junto à usina industrial, com a implantação de uma usina piloto.

Como este material contém ferro, sílica e lama (argilas), que são indesejáveis na metalurgia, foi proposta uma usina piloto, com as seguintes etapas:

- ciclone de 6" com o objetivo de deslamar o material.
- 3 espirais de Reichert, com o objetivo de separar o ferro (produto pesado) e a sílica (produto médio).
- separador magnético de alta intensidade, com o objetivo de separar bauxita de frações finas de ferro e sílica.

O dimensionamento da planta piloto se encontra no ANEXO A. Os dimensionamentos foram baseados em CHAVES, vol. 1 (1996). A foto 1 mostra a usina piloto, montada ao lado da usina industrial.



Foto 1. Usina piloto

Os ensaios em escala piloto foram realizados durante os meses de junho a setembro de 2000, testando-se os dois minérios e diferentes configurações do circuito e regulação dos equipamentos, conforme a tabela 3.

Tabela 3. Regulagens da usina piloto

Equipamento	Variável
Ciclone deslamador	Inclusão no circuito
	Exclusão do circuito (alimentação com lama)
Espiral rougher	Partição dos produtos (regulagem do equipamento)
	Alimentação com ou sem lama
	Recirculação dos médios
Espiral Cleaner	Partição dos produtos (regulagem do equipamento)
	Recirculação dos médios
Terceira espiral	Partição dos produtos (regulagem do equipamento)
	Inclusão/exclusão do circuito
	Recirculação dos médios
Separador magnético	Modelo (alta intensidade ou alto gradiente)
	Velocidade de rotação do carrossel
	Intensidade do campo

Foram realizados 22 ensaios, dos quais dois com o minério de Itamarati e o restante com o minério de Descoberto. Em meu estágio na CBA eu tive a oportunidade de acompanhar 10 desses ensaios. Após estes, a própria equipe da CBA, já treinada, realizava os ensaios e nos enviava os dados para tratamento em São Paulo. A prática operacional consistia em deixar o circuito estabilizar-se e então iniciar a amostragem incremental. Eram retirados 10 incrementos dos seguintes fluxos:

- undersize da peneira de alta frequência;
- overflow e underflow do ciclone de deslamagem;
- pesados, médios, leves e lamas da primeira espiral;
- pesados, médios e leves da segunda espiral;
- pesados, médios e leves da terceira espiral; e
- magnético, médio e não magnético do separador magnético.

A amostragem era cronometrada. Eram medidos os pesos úmidos e secos das amostras, e com esses valores calculadas a vazão de sólidos e porcentagem de sólidos na polpa de cada fluxo. Esses valores eram tabulados e a partir das médias e desvios padrões dos mesmos, eram excluídos os incrementos discrepantes. Os demais incrementos eram misturados, homogeneizados e encaminhados para a análise química e análise granulométrica (em alguns casos) no laboratório da CBA. Finalmente, estabelecia-se o balanço de massas e metalúrgico do ensaio, com base em um software que hierarquiza os valores em termos de

confiabilidade das medidas, avaliadas pelo desvio padrão das medidas em relação aos valores médios (“Balmart”¹⁰).

Conforme os resultados iam sendo gerados, eram analisados e discutidos em conjunto (equipe da EPUSP e da CBA) e eram sugeridas alterações para o circuito. Desta maneira o circuito passou por sucessivas evoluções até chegar ao ponto atual:

- verificou-se a impossibilidade de operar sem o ciclone deslamador. As lamas têm um efeito muito nocivo sobre a seletividade da separação na espiral;
- verificou-se a não necessidade de recircular os médios da primeira espiral. Estes carregam uma quantidade significativa de minerais pesados e perde-se pouca alumina aproveitável, de modo que podem ser encaminhados diretamente ao rejeito;
- verificou-se a conveniência de recircular os médios da segunda espiral. Com a regulação cuidadosa do corte entre médios e leves, esta última fração pode ter o seu teor de alumina aproveitável sensivelmente elevado. Isto implica entretanto em perdas de alumina aproveitável nos médios, que precisam ser recirculados;
- verificou-se que não há necessidade de uma terceira espiral. A recuperação de bauxita nesta é baixa, assim como a rejeição de sílica, o que não justifica a sua presença no circuito;
- acertou-se o ponto de corte do separador magnético agregando a fração chamada internamente de “fracamente magnética” aos não magnéticos e aumentando com isso a recuperação de concentrado.

Visto que os resultados se mostraram positivos, procedeu-se ao projeto da modificação da usina industrial, aquisição dos equipamentos e sua montagem para operação contínua. A usina de recuperação de finos foi dimensionada, conforme apresentado no ANEXO B, para alimentação de 20 t/h, com os seguintes equipamentos:

- arranha de 6 ciclones de 6”;
- 6 espirais duplas para o estágio rougher;
- 5 espirais duplas para o estágio cleaner;
- uma bomba de 8x6” para alimentação dos ciclones;
- um separador magnético de carrossel, de alta intensidade, modelo CF-5;
- uma bomba de 2x1 ½ “ para recirculação dos médios;

¹⁰ Programa desenvolvido pelo estudante Paulo Fernando de Toledo Damasceno e apresentado como trabalho de formatura ao Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP em 1992.

- um cone desaguador para o produto magnético;
- uma peneira desaguadora, para o acabamento deste produto;
- um classificador espiral para o desaguamento dos produtos médio e pesado;
- um transportador de correia para o empilhamento dos produtos.

Foi adicionada também mais uma peneira de alta frequência, visando diminuir a sobrecarga sobre as existentes. O dimensionamento foi baseado em CHAVES, vol 1 (1996) e CHAVES, vol. 2 (1996). A foto 2 ilustra a usina industrial.



Foto 2. Usina Industrial

Com esta alteração obteve-se mais um aumento na recuperação da usina, de 2% (equivalente a 29.000 t/ano de bauxita lavada com 40% de Al_2O_3 aproveitável), passando o mesmo para 59%, o que representa 870.750 t/ano de concentrado de bauxita lavada, para uma alimentação da usina de 1.505.000 t/ano. Atualmente a usina de beneficiamento se encontra

operando como mostrado na figura 2. Quando o minério de Itamarati (Gnáissico) é beneficiado, o separador magnético é desligado.

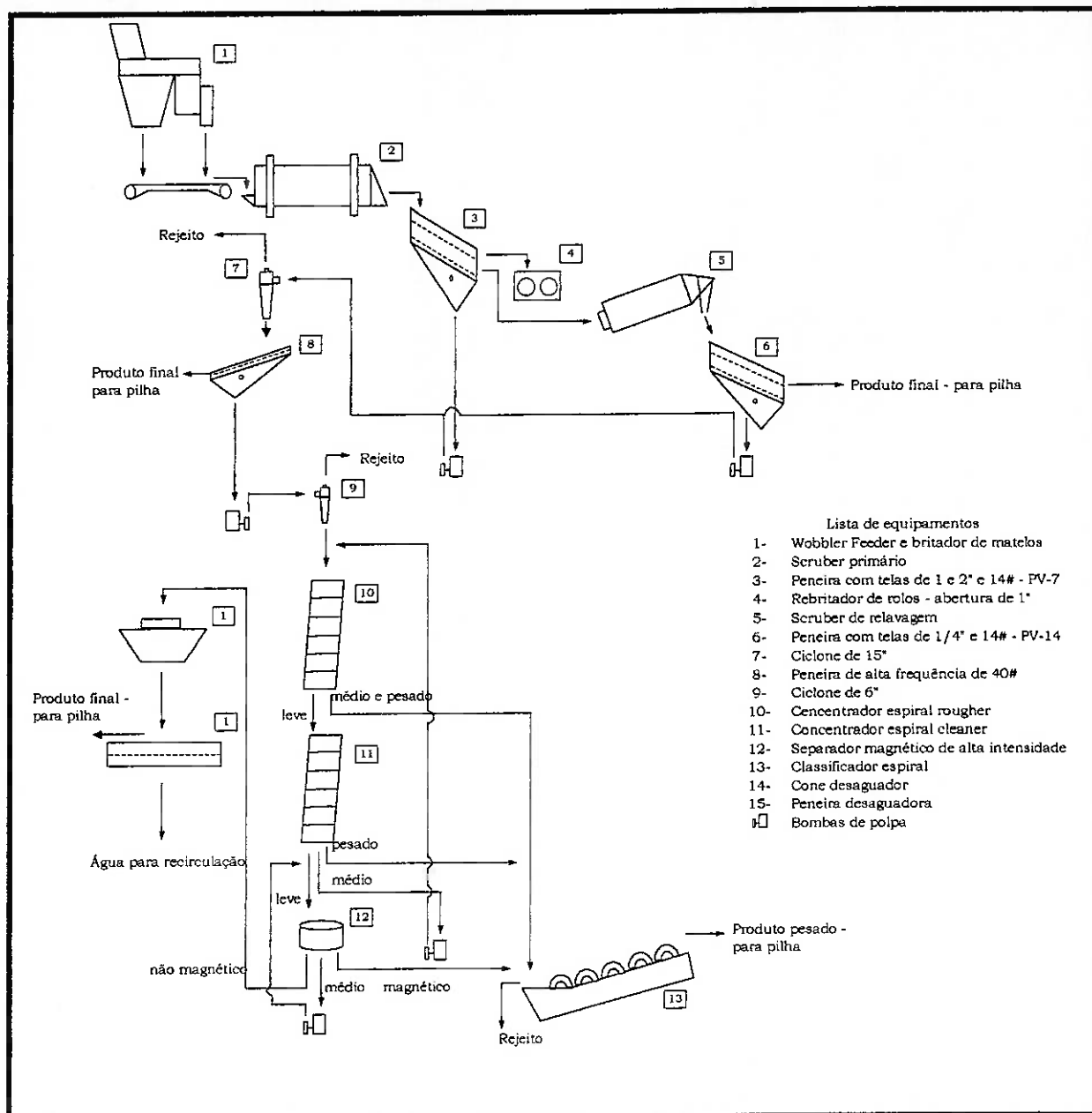


Figura 2 – fluxograma itamarati com circuito de finos

Como se pode observar, os rejeitos atualmente gerados são os seguintes: overflow do ciclone de 15" e do ciclone de 6", overflow e underflow do classificador espiral. O concentrado de bauxita é obtido nos seguintes fluxos: produto maior que 14 mesh Tyler da PV-14, oversize da peneira de alta frequência (+40 mesh Tyler) e retido na peneira desaguadora.

5.3. APROVEITAMENTO DOS REJEITOS DO BENEFICIAMENTO

5.3.1. POSSIBILIDADE DE UTILIZAÇÃO DOS REJEITOS

Faz-se, a seguir, uma breve descrição das propriedades mais importantes que os rejeitos gerados devem ter a fim de se possibilitar os seus usos como matérias primas de outros processos industriais.

5.3.1.1. MINERAIS PESADOS COMO ADITIVO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO

Segundo PETRUCCI (1995), o cimento portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Esses silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica.

O cimento portland resulta da moagem do clínquer, obtido pelo aquecimento até fusão incipiente (aproximadamente 30% da fase líquida) de mistura de calcário e argila convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que a cal se combine com os compostos da argila, sem que após o aquecimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial. Após a queima é adicionada pequena quantidade de gesso, a fim de regularizar o tempo de início das reações do aglomerante com a água.

Os principais componentes do cimento portland são: cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), magnésia (MgO), álcalis (Na_2O e K_2O) e sulfatos (SO_3).

O óxido de ferro (Fe_2O_3), geralmente trazido com a argila que é adicionada ao cimento, aparece em quantidades entre 0,5 a 6% combinado com outros óxidos presentes. Este óxido, desde que em quantidades não muito elevadas, é útil pelo seu papel de fundente, desenvolvendo uma ação mais energética do que a alumina. Acredita-se que os teores relativamente altos de óxido de ferro e alumina possam facilitar a produção comercial de um cimento com porcentagem de cal suficientemente alta para converter toda a sílica em silicato tricálcico, sem que resulte cal livre em quantidade inconveniente.

5.3.1.2. ARGILAS PARA CERÂMICAS

Segundo SANTOS (1975), a argila é um material natural, terroso, de granulação fina,

que geralmente adquire, quando umidecido, certa plasticidade¹¹. Quimicamente, as argilas são formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. Designa ainda o nome argila um grupo de partículas do solo cujas dimensões se encontram entre uma faixa específica de valores, em geral menor que 0,002 ou 0,005 mm, conforme a escala utilizada (Associação Brasileira de Normas Técnicas, International Society of Soil Science, U.S. Department of Agriculture, entre outros).

Existem argilas de grande importância nas prospecções geológicas, na agricultura (principais responsáveis pela fixação no solo de fertilizantes), em mecânica dos solos e em grande número de indústrias, como a de petróleo, metalúrgica, borracha, cimento, alimentos, papel e cerâmica.

A caracterização de uma argila envolve várias etapas e é relativamente complexa. Segundo SANTOS, para a caracterização de uma argila, é necessário determinar as seguintes propriedades: textura, composição mineralógica, íons trocáveis, propriedades micrométricas, propriedades do sistema argilas + água, propriedades físico-mecânicas em função da temperatura e propriedades tecnológicas específicas, mensuráveis em laboratório.

No caso das argilas que pretendemos aproveitar de Itamarati de Minas, indicações preliminares, baseadas no aproveitamento das argilas da região por outras empresas, indicam que estas podem ter possível uso para cerâmica vermelha, termo usado no Brasil para designar a utilização de argilas para fabricação de materiais para construção civil, tais como tijolos, telhas, ladrilhos de piso, manilhas, elementos vazados, cerâmica refratária e outros de menor importância ou de materiais mais modernos, como agregados leves de argila expandida piroplasticamente. Por esse motivo, analisaremos os ensaios necessários para verificarmos esse seu possível uso.

Como uma das demandas mais frequentes dos laboratórios que estudam argilas é a verificação de sua utilização para cerâmica vermelha, foi desenvolvida no Instituto de Pesquisas Tecnológicas a seqüência de ensaios denominada: "Ensaio preliminares para Fins Cerâmicos", que visa prever os usos de argilas industriais (cerâmicos e não cerâmicos) a partir de ensaios cerâmicos simples. Esse ensaio preliminar não exclui a identificação dos argilominerais nem os ensaios mais completos, visando os usos industriais específicos, mas usa a abordagem cerâmica, com equipamentos não sofisticados.

¹¹ Segundo SANTOS, por plasticidade entende-se a propriedade de o material úmido ficar deformado (sem romper) pela aplicação de uma tensão, sendo que a deformação permanece quando a tensão aplicada é retirada.

Em resumo, os estágios a serem seguidos são os seguintes:

- a) preparação e beneficiamento da argila: lavagem (se necessária), secagem, moagem e moldagem dos corpos de prova;
- b) classificação preliminar da argila em um grupo quanto ao uso cerâmico (pela cor após queima a 950°C, 1250°C e 1450°C dos corpos de prova): cerâmica vermelha, cerâmica branca ou refratários sílico-aluminosos (etapa I);
- c) classificação da argila, dentro de um determinado grupo, em um dos subgrupos, pela comparação dos valores numéricos das características cerâmicas medidas em argilas de uso industrial corrente (etapa II);
- d) composição mineralógica da argila, determinada pelos ensaios de análise química, capacidade de troca de cátions, análise térmica diferencial, difração de raios-x, microscopia eletrônica de vários tipos e espectroscopia no infravermelho visando caracterizá-la como uma possível argila industrial (etapa III); e
- e) ensaios completos específicos para usos tecnológicos visando comprovar as previsões feitas nas etapas I, II e III.

5.3.2. ESTUDOS REALIZADOS PARA O APROVEITAMENTO DOS REJEITOS

Foram coletadas pela equipe da CBA amostras dos concentrados pesados (rougher e cleaner dos classificadores espirais e produto magnético) e das lamas (overflows dos ciclones de 15" e 6"). No caso das lamas, foram coletadas amostras em dias diferentes, referente aos dois minérios beneficiados. As amostras foram enviadas ao LTM, recepcionadas e quarteadas a úmido em quarteador de polpa.

5.3.2.1. MINERAIS PESADOS COMO ADITIVO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO

Os rejeitos pesados deste ensaio foram submetidos à difração de raios-x e fluorescência de raios-x. Os resultados são apresentados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4. composição mineralógica dos rejeitos

mineral	pesados da primeira espiral	pesados da segunda espiral	produto magnético
ilmenita	predominante	predominante	predominante
hematita	predominante	predominante	predominante
magnesita	predominante	predominante	predominante
gibbsita	possível presença	presente	presente
goethita	possível presença	possível presença	possível presença
anatásio	-	possível presença	possível presença

Tabela 5. análise semi-quantitativa por fluorescência de raios-x dos rejeitos

substância	pesados da primeira espiral (%)	pesados da segunda espiral (%)	produto magnético (%)
Al ₂ O ₃	3,46	4,51	15,0
TiO ₂	28,3	27,6	11,2
Fe ₂ O ₃	63,4	62,7	62,1
P.F.	1,42	1,88	9,40

Obs.: Os seguintes elementos apresentaram apenas traços ou concentrações menores que 1%: SiO₂, P₂O₅, SO₃, K₂O, CaO, Sc, V₂O₅, Cr₂O₅, MnO, CuO, ZnO, Ga₂O₃, ZrO₂, Nb₂O₅, BaO, Ce₂O₃ e HfO.

O produto foi encaminhado para testes quanto à sua utilização como aditivo na fabricação de cimento em uma fábrica localizada na região de Cantagalo, cujo calcário local tem baixa concentração de ferro, necessitando assim de complementação deste. A foto 3 mostra a pilha onde é depositado o concentrado de minerais pesados da usina da CBA.



Foto 3. Pilha de concentrado minerais pesados.

5.3.2.2. ARGILAS PARA CERÂMICAS

Com uma das alíquotas, realizou-se uma análise granulométrica por peneiramento e cicloclassificação. A granulometria teve que ser realizada visto que devido a problemas operacionais da usina, que trabalha sobrecarregada, muitos grossos estavam indo para os overflows dos ciclones. Nos casos em que muita massa ficou retida na fração +200 mesh Tyler, procedemos ao peneiramento nas malhas 35, 65 e 150 mesh Tyler.

Para correção do diâmetro de corte do cicloclassificador, foram determinadas as densidades das amostras -200 mesh Tyler no picnômetro.

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Resumo da análise granulométrica das lamas da ciclonagem.

Malha (mesh Tyler)	Abertura (mm)	OF HC 6" – gnáissico % retida acumulada	OF HC 15" – gnáissico % retida acumulada	OF HC 6" – anfíbolítico % retida acumulada	OF HC 15" – anfíbolítico % retida acumulada
35	0,412	0,90	0,00	0,00	0,00
65	0,210	17,52	0,00	0,00	0,00
150	0,104	48,50	0,00	0,00	0,00
200	0,074	66,04	5,69	16,13	6,73
Ciclo I	0,040	74,73	9,54	19,58	13,10
Ciclo II	0,030	76,77	12,32	21,30	17,3
Ciclo III	0,021	77,97	14,95	23,67	20,98
Ciclo IV	0,014	79,36	18,46	27,43	25,54
Ciclo V	0,010	80,60	22,24	30,98	29,86
Overflow	-0,010	100,00	100,00	100,00	100,00

Obs.: OF: Overflow e HC: Ciclones.

Os overflows dos ciclones de 6" foram encaminhados para caracterização tecnológica, no LCT. Foram realizadas análises de fluorescência por raios-X e difração de raios-X. Os resultados são apresentados nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7. Overflow dos microciclones - OF do ciclone de 6" – minério gnáissico

Análise (valores em %)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PF
Fluorescência por raios-x	20,7	33,5	24,0	<0,10	0,13	0,24	<0,10	<0,10	1,57	0,29	20,7
Difração de Raios-x	Detectada a presença de gibsita (Al(OH) ₃), caulinita (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), hematita (Fe ₂ O ₃) e pseudorutilo (Fe ₂ Ti ₃ O ₉).										

Tabela 8. Overflow dos microciclones - OF do ciclone de 6" – minério anfíbolítico

Análise (valores em %)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PF
Fluorescência por raios-x	16,6	35,4	25,4	<0,10	<0,10	0,13	<0,10	<0,10	1,37	0,27	22,60
Difração de Raios-x	Detectada presença de caulinita (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), gibsita (Al(OH) ₃) e grenalita (Fe ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄).										

Para os testes de queima do material, preparamos os quatro materiais, peneirando o mesmo em malha 200 mesh Tyler e classificando em microciclone, obtendo um overflow aproximadamente menor que 5 µm. Este material foi seco e desagregado. Foram prensadas 8 pastilhas de cada amostra, com aproximadamente 10 g cada com uma pressão de 10 t. Foram realizadas queimas a 900, 950 e 1000°C em um forno Liedberg Blue do LPC. As pastilhas eram pesadas e medidas (quatro medidas para a altura e três para o diâmetro) antes e depois da queima. Foram realizados também testes de absorção de água, deixando a pastilha queimada por duas horas em água fervendo e de porosidade aparente, medindo-se o peso da pastilha na água. Todo este trabalho foi realizado no LPC. Com esses dados, foram calculados os parâmetros apresentados na tabela 9.

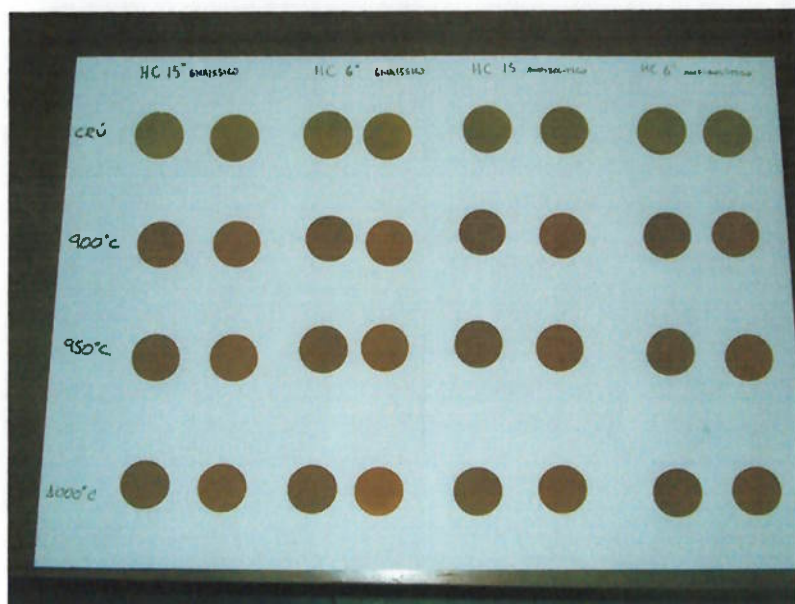
Tabela 9. Resultados dos testes cerâmicos.

Amostra	Perda ao fogo (%)			Retração linear (%)			Absorção de água (%)			Porosidade aparente (%)			Densidade aparente (g/cm ³)		
	900	950	1000	900	950	1000	900	950	1000	900	950	1000	900	950	1000
HC 15" gnáissico	16,6	18,2	17,8	5,3	6,0	6,4	31,1	30,0	33,4	49,3	49,7	51,5	1,69	1,75	1,76
HC 15" anfíbolítico	18,6	20,5	20,0	5,9	6,5	6,9	31,3	31,8	41,6	50,7	52,6	58,4	1,72	1,75	1,74
HC 6" gnáissico	17,1	18,9	18,2	5,0	5,7	6,1	39,0	33,5	35,1	56,4	53,3	53,6	1,72	1,79	1,76
HC 6" anfíbolítico	18,8	20,4	19,8	5,7	6,4	6,8	34,1	35,5	42,9	53,1	53,8	58,6	1,69	1,73	1,73
média	17,8	19,5	19,0	5,5	6,1	6,6	33,9	32,7	38,3	52,4	52,3	55,5	1,71	1,73	1,75

Obs.: Todas as amostras ficaram vermelhas em todas as queimas.

A foto 4 mostra as pastilhas antes e após as queimas nas três temperaturas analisadas.

Foto 4. Pastilhas utilizadas para os testes cerâmicos antes e após a queima.



5.4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quanto aos ensaios para a recuperação da bauxita, os testes em planta piloto foram positivos, gerando um produto não magnético com 40% de alumina aproveitável, que representa 8,75% da alimentação da planta piloto e um aumento na recuperação global de bauxita de 2%, o que equivale a 29.000 t/ano de ganho de produção.

Os resultados da caracterização dos pesados (pesado da espiral rougher, pesado da espiral cleaner e produto magnético) apresentaram altas concentrações de ferro e titânio, aproximadamente 62% de ferro e 28% de titânio, com exceção ao titânio do produto magnético, que é de 11%. Os testes realizados na fábrica de cimento, utilizando este material ao invés do minério de ferro normalmente usado, se mostrou positivo, não alterando as propriedades do cimento produzido e inclusive gerando alguns benefícios quanto à temperatura de queima e a moabilidade do clínquer.

O titânio age como fundente do clínquer, ou seja, o forno pode trabalhar em temperatura mais baixa que a clinquerização ocorre. A operação a temperatura mais baixa gera economia significativa de combustível (menor quantidade de óleo precisa ser queimada) e aumenta a vida dos refratários que revestem o forno (operando a temperatura mais baixa,

eles duram mais). A economia operacional da fábrica de cimento também é, portanto, significativa. O aproveitamento deste rejeito evita o lançamento de 25.000 t de material na barragem por ano.

Os testes de cerâmica apresentaram resultados muito positivos. As pastilhas queimadas adquiriram uma cor vermelha, apresentando boa resistência e bons resultados nos índices analisados.

Podemos comparar os valores obtidos com os apresentados por SOUZA (1975), p. 205 para as argilas brasileiras utilizadas para cerâmica vermelha. Os dados obtidos foram analisados com base nos valores médios das quatro amostras, visto que são muito parecidas mineralogicamente, tendo apresentado conseqüentemente resultados muito próximos neste teste. Para queima a 950°C, tivemos uma absorção de água de 32,7%, apenas um pouco acima dos valores padrões para cerâmica vermelha. A porosidade aparente média foi de 52,3%, também um pouco acima dos valores padrões. A densidade aparente foi de 1,73 g/cm³, bem na faixa apresentada para as argilas brasileiras. Em princípio, temos uma argila apta para a fabricação de telhas, lajotas e tijolos extrudados (“tipo baiano”).

O aproveitamento deste material evitará o lançamento de 445.000 t de rejeitos por ano na barragem, o equivalente a 75% dos overflows dos ciclones de 6” e 15”.

Analisando a usina globalmente, conseguimos os seguintes benefícios:

- aumento da produção de bauxita lavada de 841.750 para 870.750 t/ano;
- diminuição na quantidade de material enviado para a barragem na ordem de 25.000 t/ano, referente aos minerais pesados que atualmente já estão sendo aproveitados;
- verificou-se a possibilidade de utilização para a maior quantidade dos rejeitos atualmente gerados, referentes às argilas, o que poderá evitar um lançamento futuro de 445.000 t/ano, caso este aproveitamento seja feito.

Teremos, portanto, já considerando o aproveitamento das argilas, uma redução na quantidade de rejeitos da ordem de 504.000 t/ano, restando uma geração de rejeitos de apenas 130.250 t/ano, ou menos que um quinto do que era gerado antes da implantação da usina de finos (634.250 t/ano). Com isso, obteremos um significativo aumento de produção, assim como da vida útil da barragem, consumindo a mesma quantidade de matérias primas, sem aumentar o consumo de água da usina e com um pequeno aumento do consumo de energia elétrica, referente apenas à instalação das bombas, peneira desaguadora, classificador espiral e separador magnético.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou a importância da aplicação do conceito de Produção mais Limpa pelas empresas, que assumem assim uma postura pró-ativa em relação ao gerenciamento ambiental, conseguindo aumentar a sua produção, com a manutenção do consumo de matérias-primas e redução do volume de rejeitos gerados.

O estudo de caso comprovou a viabilidade do aproveitamento de finos de bauxita, dos minerais pesados para a fabricação de cimento portland e das argilas, para a fabricação de cerâmica vermelha. Os resultados dos ensaios em escala piloto foram positivos. Foi implementada a usina industrial que já está promovendo a recuperação dos finos de bauxita e dos minerais pesados. Este concentrado de minerais pesados vem sendo usado como aditivo na fabricação de cimento portland, trazendo inclusive benefícios em comparação ao material que era anteriormente utilizado. O aproveitamento das argilas, no entanto, ainda depende de um estudo de viabilidade econômica de seu processo industrial, uma vez que necessita de um sistema de espessamento e filtração do material, além das instalações de moldagem e queima.

Com o aumento do aproveitamento do minério e a diminuição do volume de rejeitos, obtêm-se não só benefícios econômicos para a empresa, mas também benefícios para o meio ambiente e para a sociedade, na medida em que permite um equilíbrio entre as necessidades dos seres humanos e o meio ambiente, sendo este um aspecto prioritário para se chegar ao Desenvolvimento Sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARONI, M. Ambiguidades e deficiências do conceito de desenvolvimento sustentável. **Revista de Administração de Empresas**. V. 32, n. 2, p. 14-24, abr/jun. 1992.
- BERGERMAN, M.B. **Relatório de estágio de férias. Companhia Brasileira de Alumínio. Mina de Itamarati de Minas**. 2000. /Apresentado a empresa/.
- CAVALCANTI, R. N. **A Mineração e o Desenvolvimento Sustentável: casos da Companhia Vale do Rio Doce**. 1996. 432p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo, 1996.
- CHAVES, A.P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. São Paulo: Signus editora, 1996. v.1.
- CHAVES, A.P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. São Paulo: Signus editora, 1996. v.2.
- CHAVES, A.P. **Relatório dos trabalhos experimentais – ensaios de beneficiamento do undersize das peneiras de 40#**, São Paulo, APChaves, 2000. / Relatório Interno/.
- CHAVES, A. P.; BIBGOGNO, N.G.; CHIEREGATI, A. C., **Relatório de operação da usina piloto de Itamarati de Minas**, 2000. / Relatório Interno/.
- COMISSÃO Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991. 430 p.
- COMPANHIA de tecnologia e de saneamento básico. São Paulo. **Manual para implementação de um programa de prevenção à poluição**. 4. ed. São Paulo : CETESB, 2002. 16 p.
- CONSELHO Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Guia da Produção mais Limpa. Faça você mesmo**. Disponível em: <www.pmaisl.com.br>. Acesso em 16 de out. de 2003.
- CROWSON, P. **The infinitely finite**. Rio Tinto Zinc. Londres: 1992
- FIGUEIREDO, B.R. **Minérios e ambiente**. São Paulo: Editora da Unicamp, 2000.
- FUNDAÇÃO Getúlio Vargas. **Dicionário de Ciências Sociais**. Rio de Janeiro. 1986.
- INTERNATIONAL Institute for Environmental and Development; World Business Council for Sustainable Development. **Breaking new ground: the report of the minning, minerals, and Sustainable Development Project**. Londres: Earthscan.

2002.

- OBA, C.A.I. **Caracterização dos rejeitos de Bauxita de Itamarati e Descoberto**, São Paulo, APChaves, 2000. / Relatório Interno/.
- PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1995. 307p.
- PROGRAMA das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Departamento de Tecnologia, Industria e Economia. Grupo de trabalho para a Produção mais Limpa na Industria. Paris. Apresenta os programas desenvolvidos pela entidade. **Cleaner Production. key elements**. Paris. Disponível em: <<http://www.uneptie.org>>. Acesso em: 07 de out. de 2003.
- SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas aplicadas às argilas brasileira**. São Paulo: Edgard Blucher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1975. 2v.
- VILLAS-BÔAS, R. A produção dos materiais e o meio ambiente. In: BARRETO, M.L. **Ensaio sobre a sustentabilidade da mineração no Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. p. 43-64.
- WORLD Business Council for Sustainable Development, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Cleaner Production and Eco-efficiency. complementary aproachs to Sustainable Development**. 1996. 12p. Disponível em: <<http://www.cebds.com/>>. Acesso em 16 de out. de 2003.
- YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 226 p.

ANEXO A – DIMENSIONAMENTO DA PLANTA PILOTO

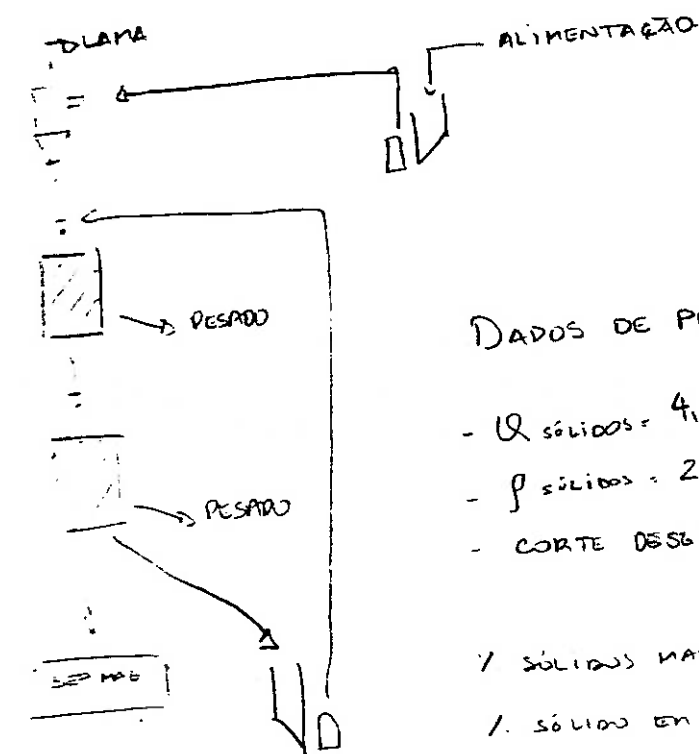
DIMENSIONAMENTO DA USINA PILOTO DE ITAMARATI DE MINAS - CBA MAIO DE 2000

- CAPACIDADE DA USINA PILOTO: SERÁ ENCAMINHADO PARA A USINA PILOTO O UNDERSIZE (-40# TYLER) DE UMA DAS 10 PENEIRAS EXISTENTES NO CIRCUITO.

US PENEIRAMENTO 15 A 30 t/h MÉDIA: 22,5 t/h (sólidos)

ALIMENTAÇÃO USINA PILOTO: $\frac{22,5}{5} = 4,6$ t/h DE SÓLIDOS

- FLUXOGRAMA USINA PILOTO:



DADOS DE PROJETO (ALIMENTAÇÃO):

- Q sólidos = 4,6 t/h = 1,58 m³/h
- ρ sólidos = 2,9 t/m³
- CORTE DESEJADO: 25 μ m

% SÓLIDOS MASSA: 16,5 %

% SÓLIDOS EM VOLUME: 6,35 %

Q POLPA: 27,88 t/h \rightarrow 23,28 m³/h ÁGUA

Q SÓLIDOS: 4,6 t/h \rightarrow 1,58 m³/h

24,81 m³/h

- DIMENSIONAMENTO DOS CICLONES ("TEORIA E PRÁTICA DO ② TRATAMENTO DE MINÉRIOS, VOLUME 1", ARTHUR PINTO CHAVES, 1.ª ED, 199.

• PELA FIGURA 1, P. 209, DIÂMETRO DO CICLONE \times d_{95} , TEMOS:
 $d_{95} = 25 \mu\text{m} \Rightarrow$ CICLONS DE 2 A 6" (2, 3, 4, 5 ou 6")

• PELA FIGURA 2, P. 206, DIÂMETRO DO CICLONE \times CAPACIDADE, TEMOS:

CICLONE 3" : 16 USGPM = $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$

CICLONE 4" : 25 USGPM = $5,7 \text{ m}^3/\text{h}$

CICLONE 6" : 65 USGPM = $14,8 \text{ m}^3/\text{h}$

• ESCOLHA DO CICLONE:

CICLONE DE 6" : $d_{\text{CORTE}} = d_{\text{BÁSICO}} \times f_{\text{DENSIDADE}} \times f_{\text{SÓLIDOS}} \times f_{\text{PRESSÃO}}$

obs.: $d_{\text{CORTE}} = 25 \mu\text{m}$ (OADO)

$d_{\text{BÁSICO}} = 40 \mu\text{m}$ (Fig 1, p. 209)

$f_{\text{DENSIDADE}} = 0,9$ (Fig V, p. 210)

$f_{\text{SÓLIDOS}} = 0,80$ (Fig VI, p. 210)

$f_{\text{PRESSÃO}} = \text{VARIÁVEL}$

Logo $\Rightarrow 20 \cdot 40 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot f_p \Rightarrow f_p = 0,87$

PELA FIGURA VII, P. 211, PRESSÃO : APROX. 20 psig

CICLONE DE 4" :

obs.: $d_{\text{CORTE}} = 25 \mu\text{m}$

$d_{\text{BÁSICO}} = 35 \mu\text{m}$ (Fig 1, p. 209)

$f_{\text{DENSIDADE}} = 0,9$ (Fig V, p. 210)

$f_{\text{SÓLIDOS}} = 0,8$ (Fig VI, p. 210)

Logo $\Rightarrow 37 \cdot 35 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot f_p \Rightarrow f_p = 0,99$

PELA FIG. VII, P. 211, PRESSÃO : 10 psig

CICLONE DE 3": OBS.: 2 CICLONES

OBS.: $d_{corte} = 25 \text{ mm}$

$d_{basico} = 28 \text{ mm}$ (Fig I, p. 209)

$f_{densidade} = 0,9$ (Fig VI, p. 210)

$f_{r. sólidos} = 0,8$ (Fig VI, p. 210)

Logo $d = 25 \cdot 28 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot d_p \Rightarrow d_p = 1,24$

Por Fig. VII, p. 211, pressão: $-3,5 \text{ psi}$.

DENTRE AS OPÇÕES ANALISADAS, O CICLONE DE 6" APRESENTA MELHOR PRESSÃO DE OPERAÇÃO PARA AS CONDIÇÕES DADAS.

PRECISAMOS ENTÃO CORRIGIR A CAPACIDADE DO CICLONE:

- PELA FIG. II p. 206, $Q = 14,8 \text{ m}^3/\text{h}$

- PELA FIG. III p. 206, $f = 1,4$ PARA $p = 20 \text{ psi}$.

- PELA FIG. IV p. 207, $f = 1,01$ PARA $\% \text{ SOL VOLUME} = 6,35\%$

Logo, $Q = 14,8 \cdot 1,4 \cdot 1,01 = 20,92 \text{ m}^3/\text{h} = 92,10 \text{ USGPM}$.

MINHA NECESSIDADE É: $24,81 \text{ m}^3/\text{h} = 109,44 \text{ USGPM}$.

PELA FIG. 24 p. 220, TEMOS A SEGUINTE ENTRADA E VÓRTEX FINDER PARA O CICLONE ESCOLHIDO:

ENTRADA: $1,3 \text{ sq in}$

VÓRTEX FINDER: $1 \frac{3}{4}$ "

$p = 20 \text{ psi}$

$Q = 92 \text{ USGPM}$

OU

ENTRADA $2,2 \text{ sq in}$

VÓRTEX FINDER: $1 \frac{3}{4}$ "

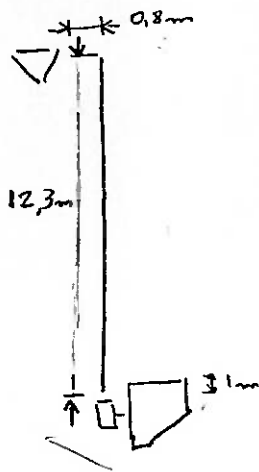
OU

ENTRADA $1,5 \text{ sq in}$

VÓRTEX FINDER: $2"$

- DIMENSIONAMENTO DAS BOMBAS

(4)



$$Q_{pp} = 24,81 \text{ m}^3/\text{h} = 27,88 \text{ t/h} = 6,90 \text{ l/s}$$

$$Q_{sól} = 3,58 \text{ m}^3/\text{h} = 4,6 \text{ t/h}$$

$$Q_{água} = 23,28 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{PRESSÃO DE DESCARGA} = 20 \text{ psi}$$

$$\% \text{ SÓLIDOS PESO} = 16,5\%$$

$$d_{50} = 122,7 \mu\text{m}$$

$$\% \text{ SÓLIDOS VOLUME} = 6,35\%$$

$$\rho_{\text{sólidos}} = 2,9 \text{ t/m}^3$$

a) CÁLCULO DO d_{50} DO MATERIAL

$$\text{GRANULOMETRIA} \quad - 48 + 65 \mu \quad - 65 + 100 \mu \quad - 100 + 150 \mu \quad - 150 + 200 \mu \quad - 200 \mu$$

$$\% \text{ MASSA} \quad 16,1 \quad 23,1 \quad 19,1 \quad 2,6 \quad 39,1$$

$$\% \text{ ACUMULADO} \quad 16,1 \quad 39,2 \leftarrow 19,1 \rightarrow 58,3 \quad 60,9 \quad 100,0$$

$$147 \mu\text{m} \leftarrow 43 \rightarrow 104 \mu\text{m}$$

$$58,3 - 50 = 8,3\% \rightarrow 8,5\% - x$$

$$19,1\% - 43 \mu\text{m}$$

$$x = 18,7 \mu\text{m}$$

$$\therefore d_{50} = 104 \mu\text{m} + 18,7 \mu\text{m} = 122,7 \mu\text{m}$$

$$\boxed{\text{Logo: } d_{50} = 122,7 \mu\text{m}}$$

b) CÁLCULO DAS VELOCIDADES

$$V = \frac{1273 \times Q_{pp}}{d^2} = \frac{1273 \times 6,90}{d^2 - \text{mm}}$$

$$V_D = FL \cdot \sqrt{2gD \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right)} = 0,91 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0 \left(\frac{2,9 - 1,12}{1,12} \right)} = 5,08 \cdot \sqrt{D} - \text{m}$$

$$FL = 0,91 \quad \left\{ \begin{array}{l} \% \text{ sól vol.} = 6,35 \\ d_{50} = 0,122 \text{ mm} \end{array} \right.$$

(Fig. 20 p 101)

$$d_{\text{POLPA}} = \frac{27,88}{2481} = 1,12 \text{ t/m}^3$$

c) ESCOLHA DA TUBULAÇÃO:

$$2'' : D = 50,8 \text{ mm} = 0,05 \text{ m} \Rightarrow v = 3,40 \text{ m/s}, v_0 = 1,13 \text{ m/s}$$

$$1 \frac{1}{2}'' : D = 38,1 \text{ mm} = 0,038 \text{ m} \Rightarrow v = 6,05 \text{ m/s}, v_0 = 0,99 \text{ m/s}$$

$$2 \frac{1}{2}'' : D = 63,5 \text{ mm} = 0,0635 \text{ m} \Rightarrow v = 2,17 \text{ m/s}, v_0 = 1,28 \text{ m/s}$$

UTILIZAREMOS TUBULAÇÃO DE $2 \frac{1}{2}''$, QUE TEM BOA RELAÇÃO v/v_0 , COM $v > v_0$, MAS NÃO MUITO MAIOR.

d) CARGA GEOMÉTRICA.

$$h = 12,5 - 1 = 11,3 \text{ m.c.p.}$$

e) CARGAS DISTRIBUÍDAS E SINGULAR

$$12,3 + 0,8 \text{ m DE TUBO} = 13,1 \text{ m}$$

$$\downarrow \text{COTOVELO (TAB. 1 P. 113)}, R = 4d = 0,9 \text{ m eq.}$$

$$\downarrow \text{REGISTRO (TAB. 1 P. 113)} = 1,5 \text{ m eq.}$$

$$\text{TUBO NOVO (TAB. 2 P. 114)} \Rightarrow f = 1,0$$

$$\text{PERDA DISTRIBUÍDA: } D = 63,5 \text{ mm} \quad Z = 15 \text{ m} / 100 \text{ m}$$

$$(\text{FIG 27 P. 114}) \quad v = 2,17 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{SL}} = 0,08 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{COMPRIMENTO EQUIVALENTE: } 13,1 \text{ m} + 0,9 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 15,5 \text{ m}$$

$$H_f = \left(\frac{15}{100} \right) \cdot 15,5 \cdot 1,0 = 2,33 \text{ m c.p.}$$

f) CARGA TOTAL

$$\text{PRESSÃO DE DESCARGA: } 20 \text{ PSI} = 14,1 \text{ m.c.a.}$$

$$H = \frac{11,3 + 2,33}{\text{ER}} + 14,1 = 28,44 \text{ m.c.a.} = 93,33 \text{ ft.c.a.}$$

$$\text{ER: } d_{50} = 0,12 \text{ mm}$$

$$f. \text{ 200 - } P_{500} = 16,57$$

$$\beta = 2,9$$

$$\text{FIG. 97 P. 94} \quad \text{ER} = 0,95$$

g) ESCOLHA DA BOMBA

$$Q_p = 24,81 \text{ m}^3/\text{h} = 109,23 \text{ USGPM}$$

$$H = 93,33 \text{ ft.c.a.}$$

$$\text{BOMBA } S < 4 \times 14''$$

$$1200 \text{ RPM}$$

$$\eta = 30\%$$

$$(\text{FIG 29 P. 116})$$

$$\text{ESFERA MÁXIMA } 13/16''$$

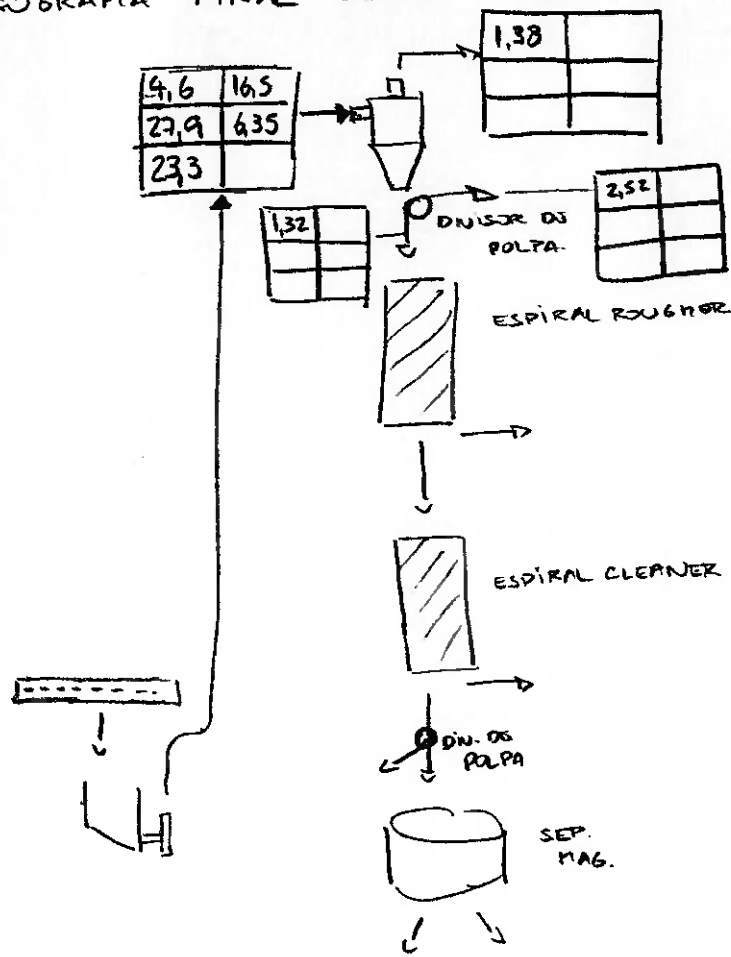
MOTOR:

$$\text{BHP} = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{102 \cdot \eta \cdot \text{ER}}$$

$$\text{BHP} = \frac{6,9 \cdot 28,44 \cdot 1,12}{102 \cdot 0,30 \cdot 0,95} = 7,56$$

MOTOR DE 10 hp

- FLUXOGRAMA FINAL USINA PILOTO



LEGENDA

$Q_{sól}$ (t/h)	% SÓLIDO PASSO
Q_{pp} (t/h)	% SÓLIDOS VOL.
$Q_{água}$ (t/h)	

Obs.: O UF DO CICLONE DEVE SER CONTROLADO DE MODO A ALIMENTAR A ESPIRAL COM QUANTIDADE SUFICIENTE DE MATERIAL PARA QUE O LEITO FIQUE CHEIO.

O CONCENTRADO DA ESPIRAL CLEANER DEVE SER REGULADO PARA ALIMENTAR O SEP. MAG. SEM SOBRECARGA - LQ.

ANEXO B – DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO INDUSTRIAL

DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE FINOS

CBA - ITAMARATI DE MINAS

SETEMBRO DE 2000

OVERFLOW

ALIMENTAÇÃO

20,0	121,2
10,3	101,2
3,7	103,9
25,7	30



2,3	96,0
2,4	91,7
0,9	92,6
20,0	39,0

UNDERFLOW

13,7	27,2
6,5	9,5
6,8	16,3
26,4	28,2

20,7	31,8
65,0	12,5
8,0	20,5
25,0	28,2



ESPIRAL ROUGHER

LEV. 1

13,2	86,0
20,0	68,8
6,6	75,4
23,0	26,1

PESADO + MÉDIO

3,5	5,8
60,0	2,5
1,3	3,7
10,3	42,0

P/CLAS. ESP.

ESPIRAL CLEANER

LEV. 2

13,5	78,9
13,1	65,4
5,2	20,6
31,3	24,7

PESADO

0,7	1,2
60,0	0,5
9,3	0,3
13,2	14,0

P/CLAS. ESP.

MÉDIO

3,0	6,0
50,0	3,0
1,2	4,2
12,0	28,8



MAGNÉTICO

3,8	
25,5	30,3

→ P/CLAS. GSA

MÉDIO

4,2	21,2
2,0	20,5
1,3	20,5
30,0	20,5

→ P/COND. G PGN. GSA

3,5	
20,0	30,0

LEGENDA:

t/h SÓLIDOS	L/h PULPA
% SÓLIDOS PESO	m³/h ÁGUA
m³/h SÓLIDOS	m³/h PULPA
% AL. APPROX	% Fe ₂ O ₃

Obs.: ESTE FLUXOGRAMA FINAL É BASEADO NO ENSAIO J8.

1) ESPIRAIS ROUGHER

$$Q_{sól} = 20,7 \text{ t/h}$$

CAPACIDADE DE CADA ESPIRAL: 2 t/h/calha

10 CALHAS \Rightarrow 6 ESPIRAIS
DUPLAS
ou
4 ESPIRAIS
TRIPLAS
(20% RESERVA)

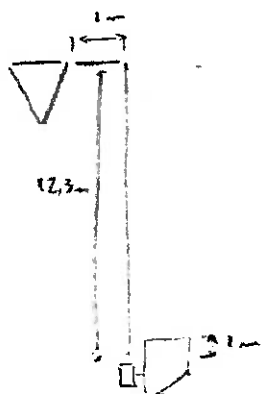
2) ESPIRAIS CLEANER

$$Q_{sól} = 17,2 \text{ t/h}$$

CAPACIDADE DE CADA ESPIRAL: 2 t/h/calha

9 CALHAS \Rightarrow 5 ESPIRAIS
DUPLAS
ou
3 ESPIRAIS
TRIPLAS
(11% DE RESERVA)

3) BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DOS CICLONES



$$Q_{pp} = 108,9 \text{ m}^3/\text{h} = 30,3 \text{ l/s} =$$

$$\% \text{ sólidos volume} = \frac{6,89 \text{ m}^3/\text{h sól}}{108,9 \text{ m}^3/\text{h pp}} = 6,3\%$$

$$\rho_p = \frac{121,1 \text{ t/h pp}}{108,9 \text{ t/h pp}} = 1,11 \text{ t/m}^3$$

$$d_{50} = 122,7 \mu\text{m}$$

a) CÁLCULO DAS VELOCIDADES

$$V = \frac{1273 \times Q_{pp}}{d^2} = \frac{1273 \times 30,3}{d^2} = \frac{38571,9}{d^2}$$

$$V_0 = FL \sqrt{2gD \left(\frac{\rho_s - \rho_p}{\rho_p} \right)} = 0,91 \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot D \left(\frac{2,9 - 1,11}{1,11} \right)} = 5,08 \sqrt{D}$$

$$FL = 0,91 \left\{ \begin{array}{l} \% \text{ sól. vol} = 6,3\% \\ d_{50} = 0,122 \text{ mm} \end{array} \right.$$

(Fig. 20 p. 101, CHAUSS VOL 1)

b) ESCOLHA DA TUBULAÇÃO.

$$D = 3'' = 76,2 \text{ mm} = 0,08 \text{ m} \Rightarrow V = 6,64 \text{ e } V_0 = 1,43 \text{ m/s}$$

$$D = 4'' = 101,6 \text{ mm} = 0,1 \text{ m} \Rightarrow V = 3,74 \text{ e } V_0 = 1,60 \text{ m/s}$$

$$D = 5'' = 127,0 \text{ mm} = 0,13 \text{ m} \Rightarrow V = 2,39 \text{ e } V_0 = 1,83 \text{ m/s}$$

ESCOLHEMOS O TUBO DE 4''.

c) CARGA GEOMÉTRICA

$$h = 12,3 - 1 = 11,3 \text{ m.c.p.}$$

d) CARGAS DISTRIBUÍDAS E SINGULARES

$$12,3 + 1 = 13,3 \text{ m DO TUBO}$$

$$1 \text{ COTOVELO (TAB. 1. P. 113. CHAVES VOL. 1)}: 1,5 \text{ m}$$

$$1 \text{ REGISTRO (TAB. 1. P. 113. CHAVES VOL. 1)}: 2,2 \text{ m}$$

$$\text{TUBO NOVO (TAB. 2. P. 114. CHAVES VOL. 1)}: f = 1,0$$

$$\text{PERDA DISTRIBUÍDA (Fig. 27 P. 114. CHAVES VOL. 1)}: D = 102 \text{ mm}$$

$$\gamma = 3,7 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{sol}} = 0,13 \text{ m}^3/\text{min}$$

COMPRIMENTO EQUIVALENTE: 17,0 m.

20/100

$$H_f = \left(\frac{20}{100} \right) \cdot 17 \cdot 1,0 = 3,4 \text{ m.c.p.}$$

e) CARGA TOTAL:

$$\text{PRESSÃO DE DESCARGA: } 20 \text{ psi} = 14,1 \text{ m.c.a.}$$

$$H = \frac{11,3 + 3,4}{\text{ER}} + 14,1 = 29,57 \text{ m.c.a.} = 97,01 \text{ ft.c.a.}$$

$$\text{ER (Fig. 17 P. 94. CHAVES VOL. 1)}: d_{50} = 0,12 \text{ mm}$$

$$\% \text{ sól. > 200} = 16,5$$

$$f = 3,0$$

$$\text{ER} = 0,95$$

f) ESCOLHA DA BOMBA:

$$Q_{\text{pp}} = 108,9 \text{ m}^3/\text{h} = 479,5 \text{ USGPH}$$

$$H = 97,01 \text{ ft.c.a.}$$

$$\text{(Fig. 28. P. 115. CHAVES VOL. 1) BOMBA } 8 \times 6 \times 13''$$

$$\eta = 55\%$$

$$N = 950 \text{ RPM}$$

$$\text{BOMBA } 6 \times 6 \times 15''$$

$$\eta = 50\%$$

$$N = 1100 \text{ RPM}$$

$$\text{BOMBA } 16 \times 14 \times 34''$$

$$\eta = 76\%$$

$$N = 500 \text{ RPM}$$

$$\text{P/ A BOMBA } 8 \times 6 \times 13''$$

$$\text{MOTOR: } \text{BHP} = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{102 \cdot \eta \cdot \text{ER}} = \frac{30,3 \cdot 29,57 \cdot 1,1}{102 \cdot 0,55 \cdot 0,95} = 18,49 \text{ hp}$$

4) CICLONE DE DESLAMAGEM.

(4)

O MESMO DIMENSIONAMENTO DA PLANTA PILOTO.

CADA CICLONE DE 6" : 92,10 USGPM

PARA MINHA NECESSIDADE: $Q = 108,9 \text{ m}^3/\text{h}_{pp} = 479,49 \text{ USGPM}$

$$n = \frac{479,49}{92,10} = 5,2 \Rightarrow 6 \text{ CICLONES DE 6"}$$

5) SEPARADOR MAGNÉTICO

$$Q_{pp} = 70,6 + 207,4 = 278 \text{ m}^3/\text{h} = 1222,8 \text{ USGPM}$$

$$Q_{sol} = 13,5 + 4,2 = 17,7 \text{ t/h}$$

SEPARADOR MAGNÉTICO ALTA INTENSIDADE GRIZ $\phi 916 \text{ mm}$: 354504/

LOGO, FOI SELECIONADO UM SEPARADOR MAGNÉTICO DE $\phi 916 \text{ mm} = 36"$ E 1 m.

6) CONE DESABUADOR - PRODUTO NÃO MAGNÉTICO

$$Q_{sol} = 3,5 \text{ t/h} \quad \text{c/ } 5\% \text{ sol. pesa} = 1,25 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{pp} = 70 \text{ t/h} = 67,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho = 2,8 \text{ t/m}^3 \quad \rho_{pp} = \frac{70}{67,8} = 1,03 \text{ t/m}^3$$

$$d_{qs} = 0,21 \text{ mm}$$

CORREÇÃO DA DENSIDADE:

$$\frac{d_{s2} - d_p}{d_{s1} - d_p} = \frac{2,8 - 1,03}{2,65 - 1,03} = 1,06$$

PELA FIG. 11.10 ZSI (CHAPOS VA. 2), TEMOS

$$\left. \begin{array}{l} d_{qs} = 0,21 \text{ mm} \\ \% \text{ sol.} = 5\% \end{array} \right\} V_t = 4 \text{ ft/min}$$

$$V_t \times \text{CORREÇÃO} = 4 \times 1,06 = 4,22 \text{ ft/min} = 77,54 \text{ m/h}$$

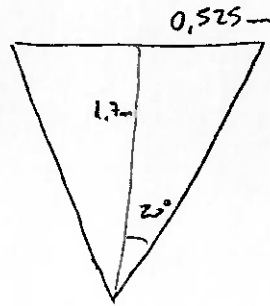
$$S = \frac{Q}{V_t} = \frac{67,8}{77,54} = 0,87 \text{ m}^2$$

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = 1,05 \text{ m}$$

COMO O MATERIAL É FINO, USAREMOS UM ÂNGULO DE 40° OU 20° A PARTIR DA GERATRIZ.

$$\tan 20^\circ = \frac{0,525}{h} \Rightarrow h = 1,70m$$

(5)



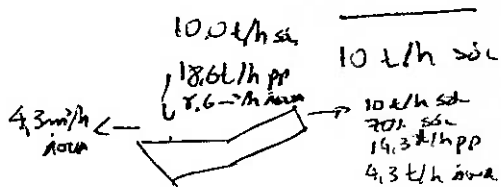
7) CLASSIFICADOR ESPIRAL DESAGUADOR

PESADOS + MÉDIOS: 1ª ESPIRAL: 3,5 t/h sól. 60% sól. peso = 5,8 t/h PP

PESADOS 2ª ESPIRAL: 0,7 t/h sól. 60% sól. peso = 1,2 t/h PP

MAGNÉTICO: 5,8 t/h sól. 50% sól. peso = 11,6 t/h PP

18,6 t/h PP



TAB. 3 p. 246 (CHAVES VOL 2): 0 ESPIRAL: 24" → 1 t/h/RPM 6A16 RPM
30" → 1,7 t/h RPM 5-13 RPM

LEVO, USAREMOS UM ESPIRAL DE 30", COM 10 RPM, MODELO SP,
COM POTÊNCIA DE 2 HP

8) PENEIRA DESAGUADORA DO NAU MAGNÉTICO

$$Q_{\text{sól.}} = 3,5 \text{ t/h}$$

$$\% \text{ sól. peso} = 65\%$$

$$p = 2,8$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\text{PP}} = 5,38 \text{ t/h} \\ Q_{\text{sól.}} = 1,25 \text{ m³/h} \end{array} \right\} Q_{\text{PP}} = 3,13 \text{ m³/h}$$

$$Q_{\text{PP}} = 3,13 \text{ m³/h} = 13,78 \text{ USGPM}$$

TAB. 6 p. 256 CHAVES VOL 2

$$\text{CORRETO DA DENSIDADE: } \frac{2,8}{1,5} \cdot 1,87$$

$$\frac{3,5}{1,87} = 1,87 \text{ t/h sól.} \rightarrow 3 \text{ t/h água} = 1 \text{ m³/h água}$$

PENEIRA MUITO PERUENA

USAREMOS: 1 PENEIRA INTENSIVO DEUTERUS SCREEN
10 S LR 24 DE INDRAS