

**À GUIA DE PREFÁCIO**  
**QUESTÕES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**  
**RELATIVAS À PRODUÇÃO DOS MATERIAIS E O MEIO**  
**AMBIENTE**

*Roberto C. Villas-Bôas*  
*CYTED-XIII*

---

**RESUMO E OBSERVAÇÃO**

Os materiais desempenham papel fundamental no desenvolvimento de uma nação e manutenção de sua participação na economia mundial. Não há nação desenvolvida que não tenha uma forte indústria minero-metalúrgica e/ou disponibilidade de acesso à mesma !

Contudo, qualquer material, sendo resultado de um processo de produção, possui no seu ciclo de transformação (extração, processamento, fabricação e manufatura) pelo menos um estágio no qual efluentes, quer sejam, sólidos, líquidos ou gasosos, são expelidos ao meio ambiente.

Este texto, à guisa de Prefácio, analisa alguns dos problemas ambientais e sociais ligados à extração e processamento de metais e/ou compostos químicos de origem mineral, de interesse às empresas, sociedade e profissionais de minas, químico ou metalúrgico, que lidem com os processos de produção e suas consequências, servindo de uma introdução à temática propriamente dos Indicadores de Sustentabilidade abordados ao longo do livro !

Várias versões deste texto encontram-se disponíveis, em Português, Espanhol e Inglês, servindo a várias finalidades e objetivos, adaptadas àquilo que se pretende discutir. Esta é mais uma delas !

*Roberto Villas Boas y Christian Beinhoff*, Editores

## 1. INTRODUÇÃO

A produção e utilização de materiais em geral e, em consequência, aquela de minérios e metais, obedecem, dentro de um determinado quadro de desenvolvimento industrial, os ciclos econômicos atuantes num, igualmente, determinado referencial de tempo. Tais ciclos já foram exaustivamente descritos na literatura e podem refletir tendências mundiais, locais ou, mesmo, geopolíticas.

Tendo em vista que a seleção de um determinado grupo de materiais depende do ciclo predominante nos países industrializados, estes determinarão, em maiores ou menores graus, os padrões de consumo de uma dada “commodity”, induzindo ao mercado adaptar-se a esta nova realidade.

Naquelas indústrias intensivas em materiais, duas estratégias surgem: há uma busca de materiais que venham a se adequar a uma dada tecnologia (caso da indução descrita no parágrafo anterior), ou, alternativamente, o desenvolvimento de tecnologia para o material disponível (caso em que o material em causa seja difícil de se comprar, ou a situação geopolítica esteja conflituosa).

Os materiais reciclados, cuja magnitude de uso nas indústrias varia de acordo com o estágio econômico de uma particular economia, necessita, como regra geral, de menos capital e gasto energético e mais mão-de-obra do que os empregados na extração primária, a partir do minério. Também, em geral, exigem menores custos de controle da poluição ! Entretanto, a reciclagem se torna mais intensa com o aumento da sofisticação da economia, pois que, então, quantidades apreciáveis de material a ser reciclado se tornam disponíveis !

Os materiais, durante os seus processos produtivos, produzem importantes alterações no meio ambiente: requerem energia para serem processados, terras nas quais se instalem suas fábricas, áreas de recebimento de dejetos resultantes dos processos produtivos, além de

expelirem gases e poeiras e requererem água e movimentação de terra!

Na verdade, já de há muito estes fatos são conhecidos, e algumas ações foram tomadas, aqui e ali, no sentido de minimizar as conseqüências de tais efeitos, deixando-os dentro de “ limites aceitáveis de tolerância ”, que variam de tempos em tempos.

Tal variabilidade é devida às pressões sociais, as quais forçam legislações, as quais promovem alternativas tecnológicas de processo, as quais, por fim, refletem-se na economia !

Naquilo que diz respeito à temática ambiental e extração mineral, duas questões surgem; a primeira, qual é o efeito relativo à produção, rejeito e uso dos materiais ? A segunda, quais são suas disponibilidades num futuro previsível ?

Este texto abordará a primeira questão, através da análise e comentário de algumas “commodities”.

Quanto ao aspecto social da atividade da mineração importam:

- os relativos à criação ou perda de empregos ;
- os relativos às novas oportunidades criadas a partir da atividade, bem como as perdas após finalizada ;
- à mineração em áreas urbanas e terras indígenas, ou de florestas nacionais ;
- o fechamento das minas ;
- os indicadores de sustentabilidade da atividade nos seus entornos ;

## **2. A RECUPERAÇÃO MÉDIA DOS METAIS E SUAS ETAPAS DE PRODUÇÃO**

Para que qualquer material seja produzido há etapas de produção nas quais rejeitos também são gerados. Estes rejeitos podem ser genericamente classificados em duas grandes categorias: perdas e efluentes.

- **Perdas** são definidas como aqueles rejeitos facilmente identificáveis a partir do material produzido, ou sejam, partes do material que vão se deixando para trás ao longo do processo produtivo.
- **Efluentes** são rejeições originadas destas mesmas etapas de produção inerentes à tecnologia utilizada dentro de cada etapa, mas não necessariamente identificadas ao material principal !

### **2.1. A Recuperação Média dos Metais**

Numa tentativa de sistematizar a análise dos impactos ambientais dos rejeitos oriundos da indústria minero-metalúrgica, tomem-se, por exemplo, os metais e conceituem-se, quantificando-as, as denominadas **perdas médias metálicas**.

É bem conhecido o fato de que as recuperações associadas aos minérios, desde a mina até o produto final, variam de economia para economia, de país para país, sendo as mesmas funções das tecnologias empregadas, das leis vigentes ou acatamentos voluntários de regulamentações ambientais e sociais, hoje em dia muito em voga, capacidade financeira das empresas, habilidade no trato industrial e ambiental e etc..; da mesma forma, são os impactos ambientais causados pela produção primária e secundária, através da reciclagem, dos metais !

Assim, dados sobre recuperações e perdas médias, de metal para metal, e, mesmo, de um mesmo metal de país para país, ainda quando utilizem tecnologias similares, podem apresentar variações

apreciáveis ! Isto se deve às denominadas “particularidades” do mundo mineral; a saber: a combinação ótima entre o teor de corte da jazida, ou seja o limite lavrável, e o compromisso entre recuperação e teor do concentrado, tornando cada jazida única nas suas características físicas e econômicas !

Outras variáveis mantidas iguais, tanto menor será o teor, ou pobre a qualidade do minério, tanto maior será o custo de recuperação do produto de interesse. À medida em que há uma escolha do teor do minério a ser minerado, há também uma escolha da massa total a ser extraída, bem como do total recuperado do produto; quanto menor o teor permitido, maior a massa extraída.

Dessa forma, a fixação do teor de corte em jazidas com graus irregulares de distribuição de teores poderá requerer várias seqüências de computações alternativas entre teores e massas, obviamente em função das hipóteses sobre os limites de lava.

Igualmente importante é a trabalhabilidade do minério, medida pelo custo da remoção física da rocha. Outros fatores, como acesso à mina, espessura e regularidade da zona mineralizada, dureza, presença de estruturas interferentes e etc.. são parâmetros de cômputo e decisão a considerar !

Variações quanto ao teor e trabalhabilidade de um corpo mineral, podem acompanhar-se mutuamente, e, mesmo, compensarem-se uma à outra ! Minérios de diferentes teores e custos, mas suficientemente similares em outras características que os tornem insumos do mesmo processo de beneficiamento poderão ser extraídos ou homogeneizados visando uma recuperação proveitosa ou, caso contrário, permanecerão como minérios paramarginais !

Uma remoção completa de todo o minério disponível na mina, ou lava total, nunca é conseguida, mesmo porque não almejada, tendo em vista que o custo de extração por unidade recuperada cresce continuamente e, em geral, aceleradamente,

quando tentativas são executadas para incrementar o percentual extraído !

No curto prazo, para uma dada usina de beneficiamento, o percentual lavrável dependerá, em boa proporção, do teor do minério; o método de lavra normalmente limita a recuperação do minério na boca da mina.

Igualmente, a tecnologia de processo. Como exemplo interessante tem-se, para a lixiviação de ouro, as recuperações mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Recuperações de Ouro por Processos de Lixiviação**

OPERAÇÃO	PARTÍCULA	RECUPERAÇÃO	TEMPO	CUSTO
Agitação	≤ 0,1 mm	90 a 95 %	>20h	IN+OP
Vat	≤ 10 mm	70 a 80 %	3 a 4 h	IN
Pilha	> 10 mm	40 a 60 %	3 a 4 s	IN+ OP

Onde,

IN = custos de investimento

OP = custos operacionais

h= hora

s= semana

Vejam-se, agora, algumas “commodities” minerais selecionadas, quanto às suas recuperações e teores, tal como mostrado na Tabela 2, onde MC equivale à massa do concentrado produzido referida àquela do minério total, em percentagem, e MR é a recuperação em massa, ou seja, aquilo recuperado da “commodity”, em questão, relativa à quantidade de minério na boca mina (“run of mine”). Estes índices percentuais, por si sós, fornecem a dimensão do problema ambiental enfrentado !

**Tabela 2 – Recuperação x teor para algumas “commodities”**

<b>MINÉRIO</b>	<b>RECUPERAÇÃO</b>	<b>TEOR</b>	<b>EMPRESA</b>
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (3%) Pirocloro	MC = 3,3% MR = 66%	60% Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> concentrado	CBMM
TiO <sub>2</sub> (1,5%) Ilmenita	MC = 2,2% MR = 81%	55% TiO <sub>2</sub> concentrado	RIB
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (17%) Cromita	MC = 28% 37 MR = 65%	46% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> concentrado	FERBASA
WO <sub>3</sub> (0,5%) Schelita	MC = 0,49% MR = 79%	75% WO <sub>3</sub> concentrado	TUNGST
SnO <sub>2</sub> (1,3%) Cassiterita	MC = 1,9% MR = 69,1%	48% Sn concentrado	RENISON
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (0,16%) Tantallita	MC = 0,22 MR = 70%	49%Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> concentrado	BERNIC

Outro exemplo bastante ilustrativo do sinergismo recuperação, teor, massa recuperada, movimento de terra para acesso ao corpo mineral, subprodutos gerados etc.. é o da produção de fertilizante fosfatado, a partir de rocha vulcânica, o qual, além dos problemas de manuseio de terra e solo e disposição de rejeitos, gera, no seu processamento, cinco vezes mais massa, em gesso, daquela do concentrado de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> produzido, ao reagir com ácido sulfúrico.

## **2.2. As Etapas de Produção**

Num processo produtivo podem-se identificar quatro etapas, a saber extração, processamento, fabricação e manufatura, assim definidas:

- **a etapa de extração** envolve a lavra e o beneficiamento do minério, resultando como produto o concentrado comercial; nesta etapa, as perdas dependem do método de mineração empregado, seja ele a céu aberto, câmara e pilares, corte e enchimento, etc.. e das técnicas de beneficiamento, sejam elas gravíticas, flotação, e

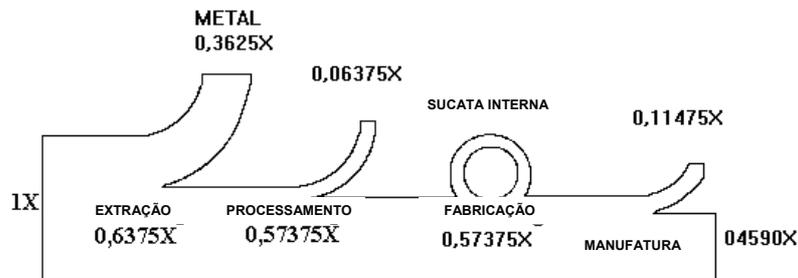
outras. Os efluentes gerados são COx e NOx, a partir das máquinas e equipamentos, as águas de processo, lençol freático contaminado, material particulado e movimentação de solo e terra.

- **a etapa de processamento** envolve as operações metalúrgicas e/ou químicas na conversão do concentrado em metal ou composto; as perdas dependem da tecnologia seguida e habilidades e tecnologias disponíveis (piro, hidro e/ou eletro); os efluentes são gases, COx, NOx, SOx, bem como líquidos, na forma de metais pesados contidos nas águas de processamento, e sólidos, tais como sedimentos e poeiras de metais pesados.
- **a etapa de fabricação** envolve aquelas operações destinadas ao fabrico de barras, chapas, etc...; as perdas neste caso são recirculadas “ad infinitum”, sem perdas do material; os efluentes são as águas servidas e gases industriais.
- **a etapa de manufatura** envolvendo a aplicação de operações mecânicas para a conformação dos metais, tais como estamparia e forja; as perdas são identificadas com as partes do metal resultantes de tais conformações que não produzam o produto desejado, sendo a reciclagem bem organizada e eficiente, mas não total; os efluentes são vapores de água e gases industriais.

Os dados sobre a “**recuperação média dos metais**” referentes às etapas de **extração** e **processamento** foram obtidos a partir de Hasialis e para a etapa de **manufatura** a partir de Mar. Chame-se a atenção para o fato de que os dados desta última referência são bastante antigos para os Estados Unidos, tendo sofrido alterações substanciais ao longo destes anos; entretanto, para aquelas partes do mundo que não estão utilizando “Best Available Technologies” os mesmos ainda podem ser representativos ! De qualquer maneira, o importante aqui é o argumento, qualquer que seja o número que o represente, o qual deverá ser pesquisado e levantado para cada caso específico.

Quanto aos dados fornecidos por Hasialis, representam valores médios e, como é natural, grandes variâncias existem para cada caso particular de interesse. Entretanto, mais uma vez, vale o argumento, deixando ao leitor a tarefa de indagar quais seriam os dados representativos para o seu próprio caso de interesse.

As etapas de produção estão representadas na Figura 1, que é um diagrama de Sankey, ou de tiras, envolvendo as quatro etapas descritas.



**Figura 1 – Diagrama de Sankey das Etapas de Produção**

Onde:

X = teor do metal no minério “in situ”: 1 X !

Le = as perdas do metal resultantes da etapa de extração: 0,3625 X !

Pe = é o produto, em metal, resultante da etapa de extração: 0,6375 X!

Lp = as perdas do metal resultantes da etapa de processamento: 0,06375 X !

Pp = é o produto, em metal, resultante da etapa de processamento: 0,57375 X!

Lf = as perdas do metal resultantes da etapa de fabricação: 0 X !

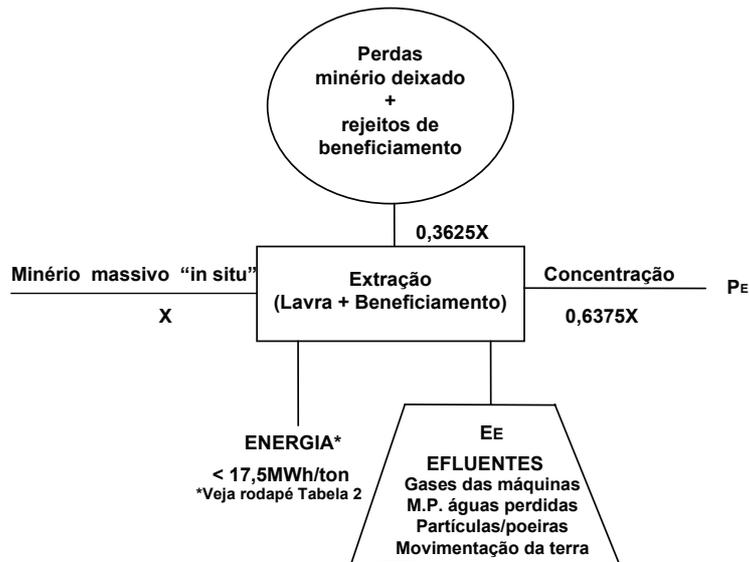
Pf = é o produto, em metal, resultante da etapa de fabricação: Pp !

$L_m$  = as perdas do metal resultantes da etapa de manufatura:  $0,11475X$  !

$P_m$  = é o produto, em metal contido, resultante da etapa de manufatura:  $0,459X$

$E_i$  = é o efluente gerado em cada uma das etapas de produção, mostrado nas figuras a seguir !

### 2.3. Identificando os impactos ambientais da etapa de extração



**Figura 2 – Entradas e saídas da etapa de extração**

A – Energia: podem-se visualizar as possibilidades de melhoras técnicas quanto à energia utilizada nesta etapa. Os dados estão em kWh (térmico), por tonelada de metal primário, onde:

$A_l$  = 10.175 kWh (térmico)/tonelada.

$C_u$  = 17.420 kWh (térmico)/tonelada.

Zn= 1.420 kWh (térmico)/tonelada.

B – Perdas:

Minério deixado “in situ”, o qual é função direta do método de lavra e do teor de corte selecionado; há possibilidade de melhoras !

Rejeitos do Beneficiamento, o qual é função da tecnologia empregada na etapa de processamento, pois os teores comerciais são insumos para tecnologias conhecidas; há possibilidades de melhoras !

C – Efluentes:

Na lavra, impactos originados das operações de acesso e movimentação de rochas e terra em geral; há possibilidades de melhoras em função do estabelecimento de medidas legais ou voluntárias que tenham em conta os custos de recuperação e as pressões sociais.

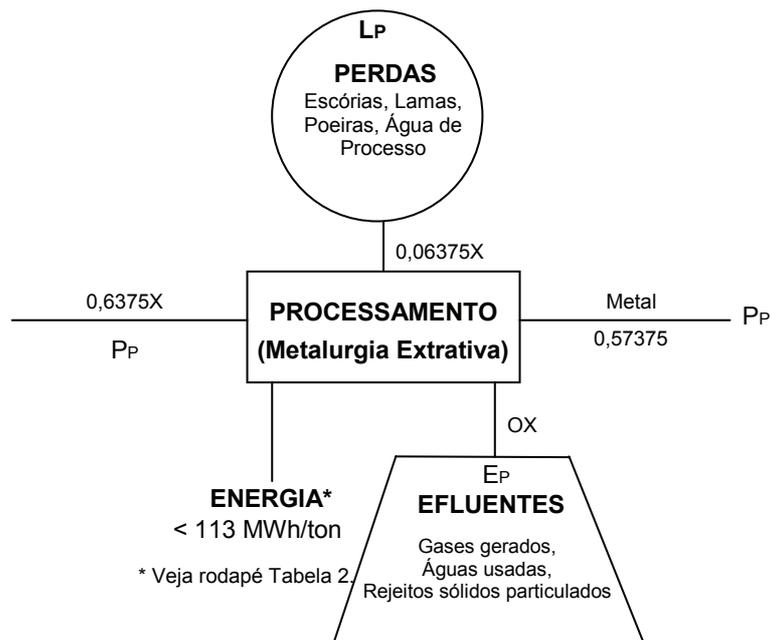
Na lavra, gases das máquinas e equipamentos, barulhos e vibrações; há possibilidades de melhoras.

Ainda na lavra, ruptura do lençol freático e outros regimes hidráulicos existentes; há poucas possibilidades de melhoras com os métodos de mineração empregados hoje em dia.

No beneficiamento de minérios, as águas de processo e poeiras, bem como disposição de rejeitos e controle de geração de ácidos e outros efluentes.

#### **2.4. Identificação dos Impactos Ambientais originados da Etapa de Processamento**

Com referência à Figura 3, a seguir.



**Figura 3 – Entradas/Saídas da Etapa de Processamento**

A - Energia: no uso de energia, há possibilidades de melhora de desempenho; os dados são em kWh(térmico)/tonelada.

Al: 35.384 kWh (térmico)/tonelada;

Cu: 26.520 kWh(térmico)/tonelada;

Zn: 17.560 kWh(térmico)/tonelada;

Mg: 103.000 kWh(térmico)/tonelada;

B. – Perdas:

As massas perdidas nesta etapa são função da tecnologia de processo utilizada, habilidades disponíveis e legislação. Há possibilidades de melhoras, especialmente nas áreas de recuperação de metais de

escórias, poeiras e outras massas descartadas ou desenvolvimento de novos processos tecnológicos baseados nos decréscimos das operações envolvidas e/ou equipamentos mais eficientes.

C. – Efluentes: gases de processamento, tais como CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, além das águas de serventia após eventual remoção de metais pesados destas águas de processamento. Emissão de particulados, ao longo do processo, além de rejeitos sólidos, outros que escórias, lamas etc... Há possibilidades de melhoras.

### 2.5. Identificação dos Impactos Ambientais originados na Etapa de Fabricação

Analisando-se a Figura 4, que mostra as entradas/saídas da etapa de fabricação, a seguir mostrada.

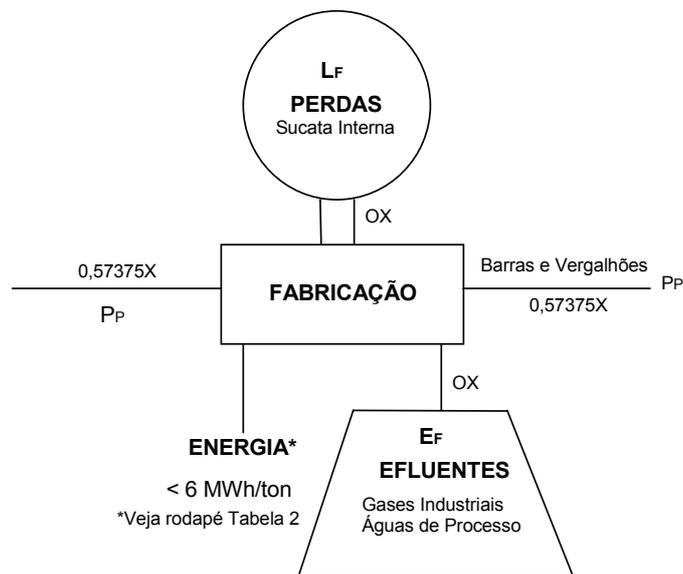


Figura 4 – Entradas/Saídas da Etapa de Fabricação

A. – Energia: utilização de energia, tal como mostrada pelos números a seguir, obtidos da referencia 16:

Al: 4.937 kWh(térmico)/tonelada;

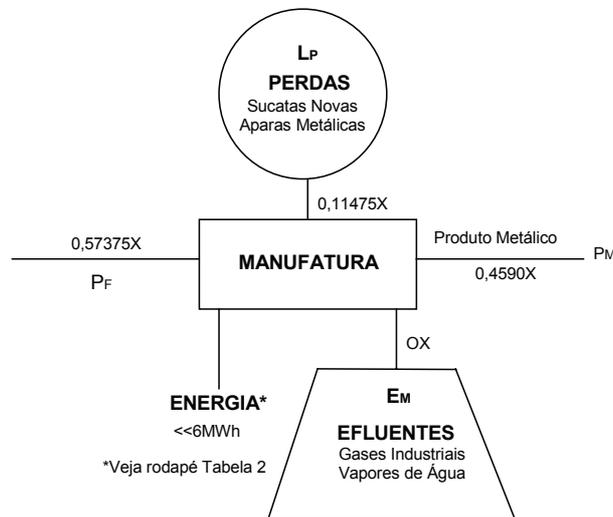
Cu: 5.970 kWh(térmico)/tonelada;

Zn: 1.492 kWh(térmico)tonelada;

B. – Perdas: geração da denominada “home scrap”, onde não há perdas, pois o reciclo é contínuo e constante. Entretanto, há possibilidades de melhoras, ou sejam, decrescimos, das massas geradas como perdas, com a utilização de operações e/ou equipamentos mais eficazes.

## 2.6. Impactos Ambientais Identificados oriundos da Etapa de Manufatura

Observando a Figura 5, a seguir mostrada.



**Figura 5 – Entradas/Saídas da Etapa de Manufatura**

A. – Energia: bastante variável dependendo do particular produto metálico obtido através de forja, estamparia, usinagem, etc.. Entretanto, bem menos do que qualquer das etapas de produção anteriores.

B. Perdas: são as denominadas “sucatas novas”, as quais são recicladas na produção secundária do metal em questão.

C. Efluentes: gases industriais e vapor d’água.

### **3. DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE**

Para que se tenha um apanhado geral do papel do profissional de operação e pesquisa imbuído do escopo do desenvolvimento sustentável no seu dia a dia operacional, favor ler Conard, dentre outros, onde a drenagem ácida, a remoção dos metais dos efluentes industriais, gerenciamento do arsênico, redução de poluentes gasosos e conservação da energia, destruição de cianetos, processamento dos rejeitos e reciclagem são matérias analisadas e discutidas, através de exemplos selecionados de técnicas hidrometalúrgicas, para um meio ambiente saudável.

Para os interessados em novas técnicas e assuntos de pesquisa em hidrometalurgia e processamento aquoso de materiais e minerais industriais, as revisões de Doyle e Duyvesteyn são indicadas, bem como aquela periodicamente publicadas pelo JOM como revisões de extração e processamento.

#### **3.1. Energia**

A Tabela 2 mostra a energia utilizada em cada etapa de produção.

**Tabela 2 – Energia utilizada em cada etapa de produção**

ETAPAS DE PRODUÇÃO	ENERGIA (MWh(térmico)/t*
Extração	< 17,5
Processamento	< 113,0
Fabricação	< 6,0
Manufatura	<< 6,0

\*dados, conforme mencionados, não são médias, neste caso, mas máximos, para uma classe selecionada de metais (Al,Cu,Zn,Mg e Ti).

Assim, o papel do engenheiro mineral, químico ou hidrometalurgista e mesmo do planejador ambiental é buscar processos que minimizem a energia consumida; dessa forma, do visto, a atenção deverá estar majoritariamente voltada à etapa de processo, seguida daquela da extração e, secundariamente, à fabricação e manufatura !

As eficiências das operações de processamento foram computadas por Chapman & Roberts, bem como em outras referências sobre o assunto, tais como Yoshiki-Gravelsins e outros e Forrest & Szekely.

Para os objetivos desta argumentação as eficiências energéticas totais na etapa de processamento, ou seja a energia usada pela etapa toda e não apenas aquela diretamente vinculada ao processo propriamente dito, comparada àquela termodinâmica, de Gibbs,  $\Delta G$ , a Energia Livre de Gibbs, para aquela mesma etapa de processamento, é que são de interesse, pois representam fortíssimas indicações onde buscar melhoras energéticas de processamento ! A Tabela 3 lista tais eficiências, para metais selecionados.

**Tabela 3 - Eficiência energética de alguns metais selecionados para a etapa de processamento.**

METAIS PRIMÁRIOS	EFICIENCIAS ENERGÉTICAS (%)
Al	13
Cu	1,4
Zn	5,5
Mg	6,1
Ti	4,1

Claro está que, de grande interesse, é a fonte de energia, seja ela baseada em hidrelétrica ou carvão, dado o efeito estufa. Forrest & Szekely analisaram em detalhe estes fatos.

### 3.2. Perdas

A Tabela 4 apresenta as perdas médias de metal ao meio-ambiente, para cada etapa de produção.

**Tabela 4 – Perdas médias de metal por etapa de produção**

ETAPA	Perdas Médias (ver texto)
Extração	0,3625 X
Processamento	0,06375 X
Fabricação	0
Manufatura	0,11475 X

Aqui, o engenheiro de processo e planejador ambiental deverá focar sua atenção para a etapa de extração, onde se concentram as maiores perdas, e, na seqüência, manufatura e processamento !

É, mais uma vez, importante salientar que os números apresentados, como são MÉDIAS de classes de substancias, apresentam grandes VARIANCIAS ! Então competirá ao engenheiro de processo ou planejador ambiental obter os números de interesse e referentes ao SEU particular metal e/ou substancia, dada que a argumentação, que nos interessa, é perfeitamente aplicável e válida como ferramental de estudo !

Não obstante, pode-se afirmar que, em geral, realmente são a mineração e o beneficiamento os grandes responsáveis pelas maiores perdas, em massa ! Assim, por exemplo, quando aplicáveis, as técnicas de lavra química, in situ, devem ser preferidas (obviamente levando-se em conta as variáveis permeabilidade, trabalhabilidade, solubilidade, etc..) quando o objetivo é a recuperação mássica máxima !

As perdas referidas à etapa de manufatura geralmente são processadas na recuperação secundária do metal e o são através, por exemplo, da aplicação de técnicas GER – Gross Energy Requirement -, ou sejam de análises da energia bruta utilizada nesta recuperação.

Na etapa de processamento, no entanto, várias melhoras vem sendo relatadas, à tempos, através de otimizações e modelagens de situações e produtos.

### **3.3. Efluentes**

Como visto, as descargas ao meio-ambiente podem sê-las sob várias formas, ou sejam sólidas, líquidas ou gasosas, possibilitando ao engenheiro ou químico excelentes oportunidades de desafios para superar, minimizando, estes descartes. A Tabela 5, a seguir apresentada mostra alguns dos mais salientes problemas carentes de soluções abrangentes, para cada uma das etapas de produção já referidas, comparando-os, em termos relativos, quer os mesmos se manifestem na terra, na água ou no ar. Esta comparação é referida aos padrões ambientais aceitos nos países da OECD, podendo, sempre é

importante salientar, variar enormemente entre países e grupos de metais.

**Tabela 5 – Comparação entre os impactos dos efluentes em cada etapa de produção**

PRODUÇÃO	TERRA	ÁGUA	AR
Extração	S	S	M
Processamento	MS	MS	S
Fabricação	B	B	S
Manufatura	B	B	B

B Impacto baixo

M Impacto moderado

S Impacto severo

Na identificação dos problemas específicos que cada uma das particulares indústrias que minerem e produzem metais enfrenta, sugere-se que o leitor busque em referências da Internet nos portais das Associações e Grupos de Estudo, que os há, para o Cobre, para o Chumbo e Zinco, para o Níquel, para o Alumínio, para os Metais Leves outros que o Alumínio, etc., além, à guisa de exemplo, na literatura.

Dessa forma, o papel do engenheiro de minas, metalúrgico, químico, hidrometalúrgico, do planejador ambiental, e outros, no desenvolvimento de processos robustos ambientalmente e socialmente, objetivos do desenvolvimento sustentável, estará focado, neste particular item dos efluentes, em :

- **na etapa de extração** : movimentação e distúrbios geodinâmicos, naturais ou antropogênicos, em maciços rochosos; erosão; águas de minas; regimes hidrogeológicos; drenagem ácida; disposição de rejeitos; recuperação de áreas degradadas, etc...

- **na etapa de processamento:** efluentes ácidos; metais pesados; disposição de sólidos; geração de gases, etc...

Técnicas específicas, como possíveis soluções para os problemas apresentados, estão disponíveis na literatura. O engenheiro de processo, por exemplo, as encontrará na literatura para biosorção, extração líquido-líquido, eletrorecuperação de soluções diluídas, membranas, etc., bem como nas suas versões mais recentes, encontradas nas revistas e livros especializados.

A Tabela 6 lista alguns dos impactos ambientais associados a um grupo selecionado de ramos industriais metálicos, os quais utilizam BAT – Best Available Technology – ou seja, a melhor tecnologia disponível no mercado.

**Tabela 6 – Maiores impactos ambientais, para um grupo seletivo de indústrias**

<b>METAL</b>	<b>IMPACTO</b>
Al	lama vermelha; HF;CO <sub>2</sub> ; voláteis de piche; lineamentos dos potes eletrolíticos; cianetos
Cu	SO <sub>2</sub> ; fumos metálicos; metais pesados
Zn	SO <sub>2</sub> ; oxihidroxidos de ferro; Cd; metais pesados
Mg	CHCAs; dioxina
Ti	FeCl <sub>3</sub> ; cloretos voláteis; CO <sub>2</sub>
Ni	carbonila; metais pesados; poeiras e particulados
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	gesso; água; radiação (quando presente)

#### **4. OS MINERAIS COMO SOLUÇÕES AMBIENTAIS**

Até agora, discutiram-se os metais sob o ponto de vista de efeitos sobre o meio ambiente relacionados às suas extrações, processamentos, fabricações e manufaturas.

Vale a pena lembrar, nem que seja para efeitos de Ordenamento Territorial Mineiro, que serão referidos mais adiante, que os minérios e minerais que os constituem não podem ser vistos como vilões apenas, mas também como soluções ambientais diretas.

Pressões sociais intensas e conseqüentes legislações mais estritas forçam que a disposição de rejeitos e o tratamento de águas, por exemplo, sejam mais eficazes e controlados; dessa forma a utilização de bentonitas, cal, soda cáustica, hidróxido de magnésio, zeolitas, etc.. são realidades de mercado, bem como abrem amplas perspectivas de pesquisa e desenvolvimento.

#### **5. ALGUMAS OBSERVAÇÕES**

Desde que este texto foi originalmente escrito, a literatura técnica se enriqueceu em exemplos específicos de propostas de soluções para cada caso relatado. Entretanto, nada que significasse alterações na argumentação relatada, razão pela qual, para ganhar tempo, apenas lapidamos um pouco o original, acrescentando-lhe apenas o essencial.

De fato, desde a Rio – 92 e, agora, com a realização da Rio + 10, em setembro de 2002 em Johannesburgo, na África do Sul, as preocupações das indústrias mínero-metalúrgicas globais tem sido tentar provar suas participações no contexto da produção mundial, buscando safarem-se das pechas de vilãs poluentes.

Os grandes desafios para a sustentabilidade da indústria mínero-metalúrgica, e outras, além da condição básica de contorno enfatizada por Brundtland, no clássico “Nosso Futuro Comum“, qual

seja de um amplo acordo político para sua viabilização, promovido e patrocinado pelos G-7, continuam sendo :

- minimização dos fluxos de massas
- minimização da utilização de energia
- minimização dos impactos ambientais
- maximização da satisfação social

Com efeito, um grande projeto, financiado por umas 30 e poucas das maiores empresas de mineração do mundo, conhecido como MMSD, cuja descrição encontra-se na Internet, e cujos resultados, para o caso brasileiro, foram descritos por Barreto mostra que ainda está-se longe da meta do desenvolvimento sustentável que se almeja.

Temas como Fechamento de Minas, Ordenamento Territorial para a Mineração, Patrimônio Cultural Geológico-Mineiro, Indicadores de Sustentabilidade para a Industria Extrativa Mineral, Geodinamica Antropogênica, passam a constituírem-se em temáticas de extrema relevância ao engenheiro, químico ou planejador ambiental.

## **6. FECHAMENTO DE MINAS**

Tal como hoje realizadas as atividades relativas ao fechamento da mina, do ponto de vista técnico, concentram-se numa operação unitária desenvolvida ao largo e ao longo da sua extração , a começar do projeto o qual aborda as questões ambientais e sociais da comunidade circunjacente e afetada durante a vida da mina.

Aspectos conceituais, bem como práticos de experiências com sucesso ou fracassadas foram recentemente discutidas e reunidas em livro. Embora os aspectos técnicos do fechamento possam ser

equacionados, embora ainda hoje custosos, os aspectos sociais e comunitários longe estão de sê-los !

Em passado recente as operações de lavra eram reunidas em quatro operações unitárias, a saber :

- limpeza, ou acesso, à mina ;
- carregamento de detonantes, para romper o bloco de minério ;
- transporte, dos blocos assim originados, até a boca do britador primário ;
- recuperação da área degradada, deixando-a apropriada para sua posterior utilização ;

Entretanto, quão apropriada é apropriada ?

Aqui entram as novas propostas e discussões sobre o fechamento de mina.

## **7. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE**

Serão discutidos, ao longo deste livro, vários aspectos relativos às características dos indicadores, tais como :

- relevância ;
- transparência e clareza ;
- facilidade de entendimento dos mesmos ;
- credibilidade ;
- e fundamentados em dados existentes e de fácil observação e aquisição ;

É de relevância que a informação seja temporal e que possa agir de imediato, quando requerido !

Entretanto, como ocorre freqüentemente, os melhores indicadores, sugeridos, em geral, não possuem dados para sustentá-los ou torna-los viáveis. Há necessidade de sistemática coleta de dados e análise crítica dos mesmos.

Há, disponíveis, algumas fontes de informação e dados, tais como ( não exaustivas, é claro ) :

- Sustainable Community Roundtable  
[http://www.olywa.net/roundtable/;](http://www.olywa.net/roundtable/)
- Simple Living Network <http://www.sl.net.com/>
- Interagency Working Group on Sustainable Development Indicators <http://www.sdi.gov/>
- Environmental and Sustainable Development Indicators Initiative ( ESDI) <http://www.nrtee-trnee.ca>
- Sustainable Development Criteria and Indicators for Minerals and Metals <http://www.nrcan.gc.ca/mms/sdev/sdrcrit>

## **8.REFERÊNCIAS**

- Malenbaum, W. (1978) World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000; in University of Phyladelphia Publication Series, U.S.A.
- Tilton, J.E.(1986) Atrophy in Metal Demand; Materials and Society, vol.10, nº 3.
- Waddell, L.M. and Labys, W.C. (1988) Transmaterialization: Technology and Materials Demand Cycles; Materials and Society, vol. 12, nº 1.
- Villas Boas, R.C. (1987) Strategic Ores: Worldwide and Brazilian Prospectives; Second Southern Hemisphere Meeting on Minerals Technology, Proceedings, Rio de Janeiro.

- Anon, (1993) *Materials and Environment, where do we Stand, Minerals Today, our Materials World: A Special Edition*, U.S.B.M., April, 1993
- Villas Bôas, R.C. (1976) *Aluminium: Why Search for New Production Routes? Proceedings of the IV National Meeting a Minerals Processing*, São José dos Campos, Brasil.
- Corry, A. V. & Kiessling, O.E. (1938) *Grade of Ore, Works Progress Administration, National Research Project, Mineral Technology and output per Man Studies*, USBM, Report E-6, August, p. 114.
- Bahr, A. and Priesemann, Th. (1988) *The Concentration of Gold Ores, Workshop Rare and Precious Metals*, Castelo Ivano, Università di Trento, Italy.
- Benvindo da Luz, A. et all (1990); *Manual de Usinas de Beneficiamento, publicação avulsa*, CETEM, Rio de Janeiro.
- Ottley, D.J. (1979) *Technical Economic and other Factors in the Gravity Concentration of Tin, Tungsten, Blondion and Tantalum Ores*, *Minerals Sci. Engng.*, vol. 11, nº 2, pp. 99-121.
- Beever, M.B. (1982) *Materials, Technology Change and Productivity*, *Materials & Society* vol. 6, nº 4.
- Beever, M.B. (1976) *The Recycling of Metals: I - Ferrous Metals; II - Non-Ferrous Metals*, *Conservation & Recycling*, vol. 1.
- Chapman, P.F. and Roberts, F. (1983) *Metal Resources and Energy*, Boston, MA: Butterworth.
- Mar, J.W. (1981) *Testimony at Hearings of the Subcommittee on Science, Technology and Space of the Comittee on Commerce, Science and Transportation of the Senate*, Washington. D.C., U.S.G.P.O.
- Hasialis, M.D. (1975) *Improvements in Minerals Recovery, National Materials Policy. Proceedings*, National Academy of Science, Washington, D.C.

- Yoshiki-Gravelsins, K.S. et al.(1993) Metals Production, Energy and the Environment, Past I: Energy Consumption, JOM, pp. 15-20, May.
- Conard, B.R. (1992) The Role of Hydrometallurgy in Achieving Sustainable Development, Hydrometallurgy, 30, pp. 1-28, Elsevier, Amsterdam.
- Doyle, F.M. & Duyvesteyn, S. (1993). Aqueous Processing of Minerals, Metals, and Materials, 1993 Review of Extraction Processing, JOM, pp. 46-54, April.
- Nicol, M.J. (1993) Progress in Electrometallurgy Research and Applications, 1983 Review of Extractive & Processing, JOM, pp. 55-58, April.
- Hancock, G.F. (1984) Energy Requirements for Manufacture of some Non-Ferrous Metals. Metal Technology, vol. 11, vol. 11, July, pp. 290-299.
- Whitter, W. and Hoskins, C. (1984) Energy Required to Process Ingots semis, and finished products, Metals Technology, vol. 11, July, pp. 307-307.
- Forrest, D. & Szekely, J. (1991) Global Warming an the Primary Metals Industry, JOM, pp. 23-30, December.
- UNIDO. (1987) Pollution Problems and Solutions in the Non-Ferrous Metals Industry, First Consultation on the Non-Ferrous Metals Industry, ID/WG. 470/3, Budapest-Hungary.
- UNEP. (1993) Environmental Management of Nickel Production: A Technical Guide. Paris, (Technical Report, 15).
- Harries-Rees, K. (1993) Minerals in Waste and Effluents Treatment, Industrial Minerals, pp. 29-39, May.