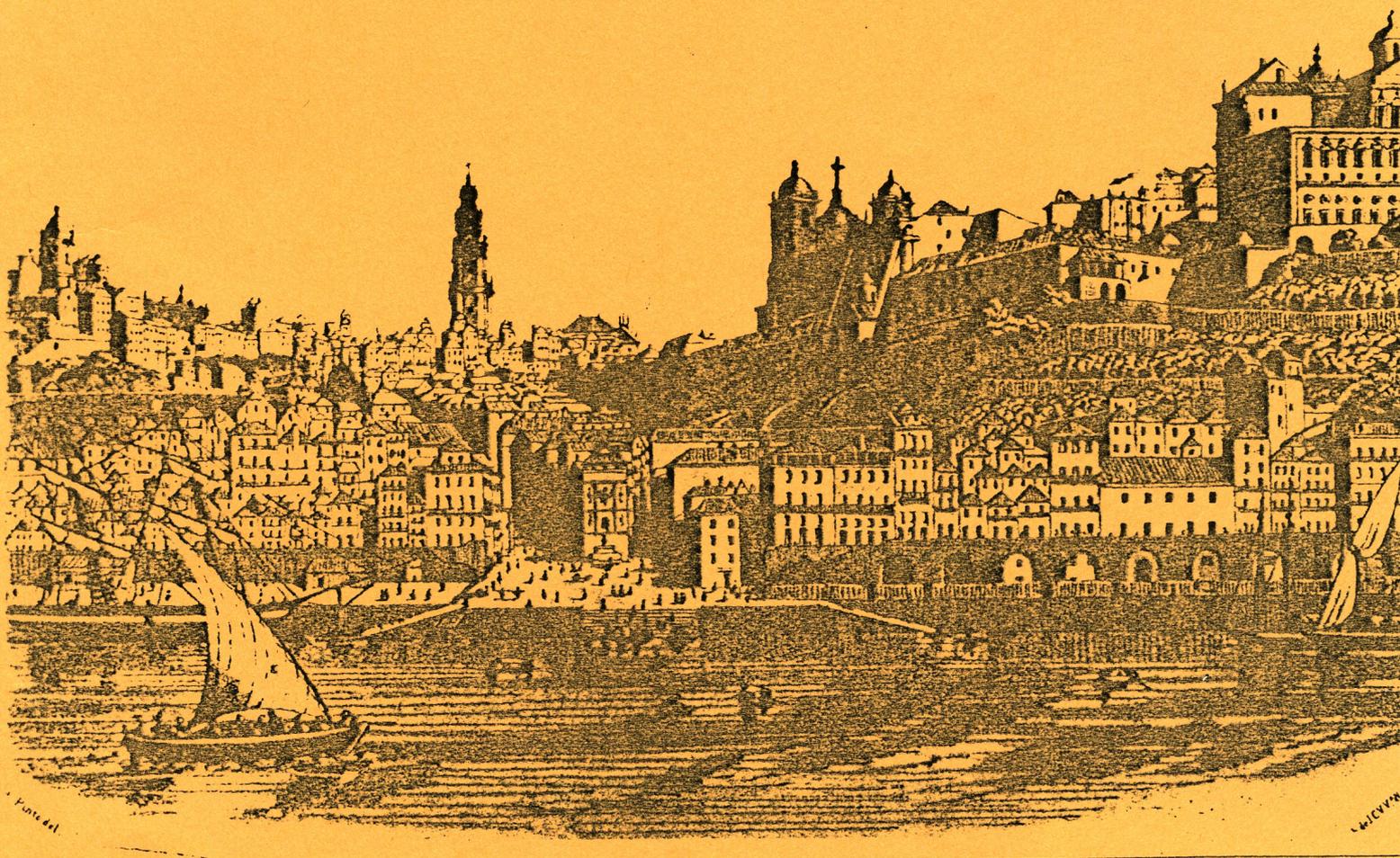


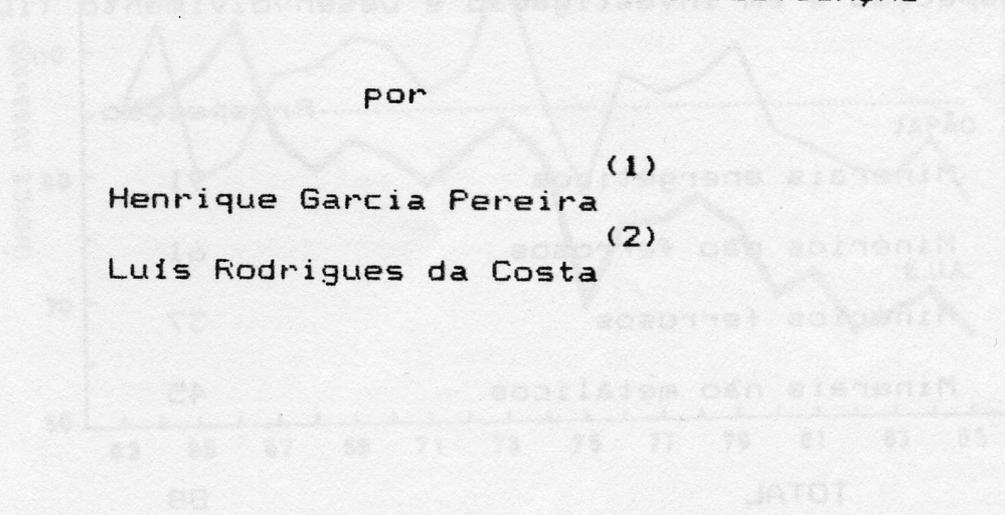
# ORDEM DOS ENGENHEIROS CONGRESSO

Porto \_\_\_\_\_ 88  
\_\_\_\_\_ 18/22 Janeiro \_\_\_\_\_



Engenharia Portuguesa-ANO 2000

A INDUSTRIA EXTRACTIVA FACE A MUDANÇA TECNOLÓGICA  
ALGUMAS CONSEQUÊNCIAS PARA O ENSINO E INVESTIGAÇÃO



(1)  
Henrique Garcia Pereira  
(2)  
Luís Rodrigues da Costa

RESUMO

Fazem-se em revista as especificidades e tendências modernas da indústria extractiva, especialmente no que se refere ao impacto das novas tecnologias no seu desenvolvimento futuro. Particularizando relativamente à utilização de computadores, detectam-se os campos de aplicação mais promissores, e analisam-se algumas consequências desta evolução tecnológica no ensino e investigação.

1 - INTRODUÇÃO

A indústria extractiva tem beneficiado relativamente pouco da revolução tecnológica dos nossos dias. Pode dizer-se que a nova era de desenvolvimento económico dos anos 80, baseada fundamentalmente numa incorporação cada vez maior de know-how no ciclo da produção, passou ao lado da actividade extractiva, especialmente no que se refere a certos segmentos do mercado, como por exemplo a produção de metais.

---

(1) Professor Associado do IST

(2) Assistente Convidado do IST. Chefe de Divisão da DGGM

Com efeito, a investigação tecnológica nas indústrias extractivas tem tido um papel menos importante do que em outros sectores, visto que as empresas têm privilegiado a defesa da competitividade através da prospecção e pesquisa de novas ocorrências, em detrimento da valorização das já conhecidas.

Um levantamento da situação conduzido pelos Battelle Laboratories para o USBM, no início da década de 70, evidenciava a seguinte estrutura na distribuição dos gastos em prospecção e em Investigação e Desenvolvimento (ID) :

	Prospecção	ID
Minerais energéticos	91	9
Minérios não ferrosos	61	39
Minérios ferrosos	37	63
Minerais não metálicos	45	55
TOTAL	88	12

Nas fases maduras do conhecimento geológico-mineiro de um determinado território, será de esperar um aumento da importância relativa da ID.

Esta via foi já empreendida pelas indústrias transformadoras, características da sociedade moderna, que tendem a reduzir (ou mesmo a abandonar) a utilização de matérias primas metálicas, recorrendo cada vez mais a materiais de substituição, com baixos custos de extracção mas alto valor acrescentado, incorporado através de sofisticados processos de valorização, de crescente complexidade.

No entanto, é óbvio que a sociedade moderna não pode deixar de ter uma importante base material para sustentar o peso cada vez maior das actividades terciárias. Mas essa base material deixou de ser o "carvão e o ferro", em que se baseou a revolução industrial do século XVIII, ou as indústrias químicas e petroquímicas do pós-guerra, assentes na energia barata. Os produtos da revolução industrial dos nossos dias são mais diversificados e com maior incorporação tecnológica, como os plásticos, os produtos cerâmicos, os derivados do silício e os metais "exóticos".

Como consequência desta evolução, a elasticidade do consumo das substâncias tradicionais tem vindo a diminuir, como mostra o gráfico da Fig. 1

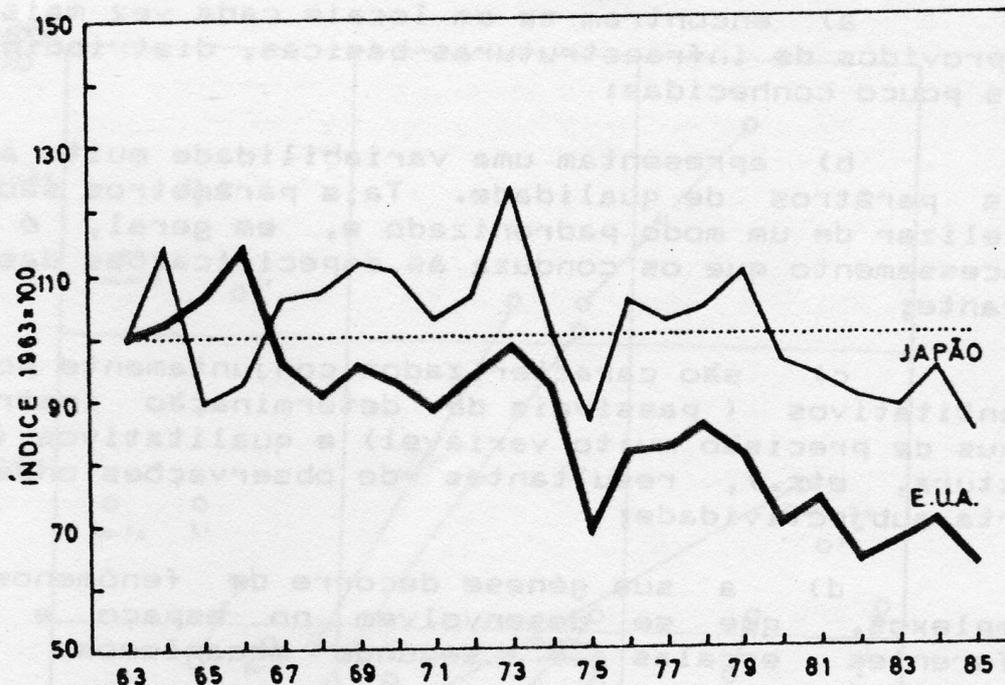


Fig. 1. Evolução do índice de consumo dos metais comuns (Cu, Pb, Ni, Zn) em percentagem do PNB para dois países industrializados ( Fonte : "La politique du gouvernement du Canada sur les minéraux et les métaux", Énergie, Mines et Ressources du Canada, 1987).

A rapidez da mutação tecnológica origina períodos de vida dos produtos cada vez mais curtos, impondo a pesquisa permanente de novos produtos e novas aplicações.

Os reflexos destes factos na industria extractiva são evidentes : é necessário flexibilizar e diversificar a produção para responder as solicitações do mercado.

## 2 - ESPECIFICIDADES DA INDUSTRIA EXTRACTIVA. CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS

Ao contrário das industrias transformadoras, que tratam uma matéria prima de qualidade rigorosamente constante ( e controlada por exigentes especificações) num local criteriosamente escolhido pelas suas características favoráveis, as industrias extractivas tem de se adaptar à variabilidade e acessibilidade dos recursos minerais.

Os Recursos Minerais apresentam algumas especificidades que condicionam, em larga medida, a sua exploração :

a) encontram-se em locais cada vez mais inóspitos e desprovidos de infraestruturas básicas, distribuindo-se segundo leis pouco conhecidas;

b) apresentam uma variabilidade muito acentuada nos seus parâmetros de qualidade. Tais parâmetros são difíceis de modelizar de um modo padronizado e, em geral, é necessário um processamento que os conduza às especificações das indústrias a jusante;

c) são caracterizados conjuntamente por parâmetros quantitativos (passíveis de determinação instrumental, com graus de precisão muito variável) e qualitativos (como a cor, a textura, etc.), resultantes de observações onde intervém uma certa subjectividade;

d) a sua génese decorre de fenómenos diversos e complexos, que se desenvolvem no espaço e no tempo, a diferentes escalas e segundo mecanismos ainda pouco conhecidos.

e) A sua exploração e utilização intensivas provocam importante impacto sobre o ambiente.

Na exploração dos recursos minerais intervém assim uma combinação delicada de três componentes : a vertente naturalista, que estuda e caracteriza os recursos "in situ", tem de articular-se harmoniosamente com a engenharia e a economia; os instrumentos de planeamento da exploração, no domínio da engenharia e da economia, tem de adoptar modelos que integrem as especificidades ditadas pela Natureza.

Mas a disponibilidade dos recursos, sendo uma condição necessária para o seu aproveitamento, não é suficiente. De facto, essa disponibilidade tem de ser apreciada em função dos custos de exploração, tendo em conta que as indústrias a jusante exigem matérias primas a preços competitivos, com qualidade e segurança de abastecimento. A procura constante do abaixamento dos custos de produção deve ser um objectivo permanente dos produtores de substâncias minerais, pois só assim podem enfrentar, com possibilidades de sucesso, as variações cíclicas geralmente associadas às cotações e preços dos minérios e minerais industriais.

Este duplo aspecto (disponibilidade / custos de produção) encontra-se hoje consagrado na generalidade das classificações dos recursos minerais, adoptadas por diferentes instituições.

No gráfico da Fig. 2 apresenta-se um ensaio de classificação dos principais recursos nacionais, segundo o nível previsual dos custos de produção e volume global disponível, avaliado pela vida estática de cada recurso.

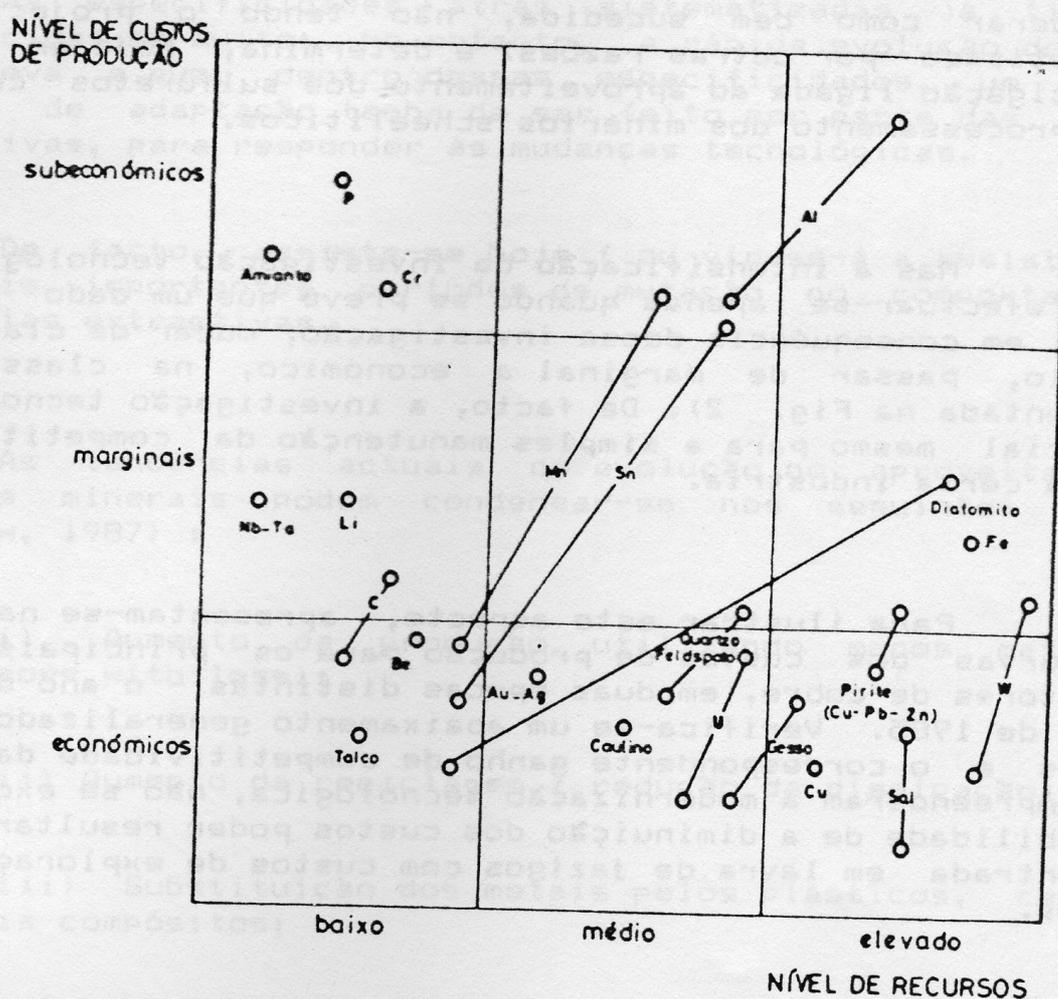


Fig. 2 - Ensaio de classificação dos recursos minerais nacionais com base nos custos de produção e no nível de disponibilidade (baixo < 15 anos, 15 < médio < 40 anos, elevado > 40 anos).

O aumento do volume de de um dado recurso será um trabalho essencialmente geológico-mineiro. O abaixamento dos custos de produção é um problema relacionado com a tecnologia do aproveitamento (mineiro ou mineralúrgico).

O gráfico apresentado na Fig. 2 evidencia os pontos fortes e as principais debilidades da nossa base de recursos : entre os primeiros encontram-se as mineralizações associadas aos sulfuretos complexos, as ocorrências de estanho e tungstênio, etc. ; as debilidades centram-se na insuficiência de combustíveis fósseis e na ausência de minerais agro-industriais. A análise do gráfico da Fig. 2 permite ainda a identificação dos recursos para os quais é mais útil a investigação tecnológica.

Também no nosso País se tem privilegiado a prospecção relativamente à investigação tecnológica como via de ampliação dos recursos exploráveis. Foi, contudo, a constatação da importância desta última que determinou a investigação do processo de beneficiação do minério de Moncorvo ( que tem de se considerar como bem sucedida, não tendo o projecto sido concretizado por outras razões) e determina, hoje em dia, a investigação ligada ao aproveitamento dos sulfuretos complexos e ao processamento dos minérios scheelíticos.

Mas a intensificação da investigação tecnológica não deve efectuar-se apenas quando se prevê que um dado recurso, possa, em consequência dessa investigação, mudar de classe (por exemplo, passar de marginal a económico, na classificação apresentada na Fig. 2). De facto, a investigação tecnológica é essencial mesmo para a simples manutenção da competitividade de uma certa indústria.

Para ilustrar este aspecto, apresentam-se na Fig. 3 as curvas dos custos de produção para os principais países produtores de cobre, em duas épocas distintas - o ano de 1981 e o ano de 1985. Verifica-se um abaixamento generalizado desses custos e o correspondente ganho de competitividade das minas que empreenderam a modernização tecnológica, não se excluindo a possibilidade de a diminuição dos custos poder resultar também da entrada em lavra de jazigos com custos de exploração mais baixos.

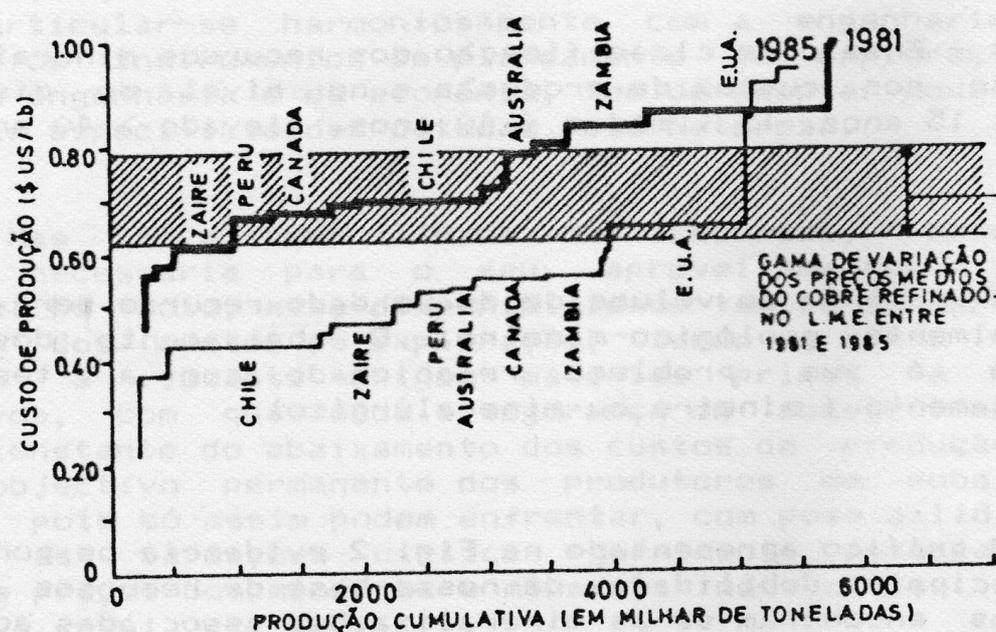


Fig. 3 - Custos médios de produção para os principais países produtores de cobre em 1981 e 1985 (Fonte : "La politique du gouvernement du Canada sur les minéraux et les métaux", Energie, Mines et Ressources du Canada, 1987)

### 3 - TENDENCIAS NA EVOLUÇÃO DAS INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

As especificidades atrás sistematizadas já tinham sido reconhecidas há muito; no entanto, a rápida evolução dos últimos anos leva a que, dentro dessas especificidades, um importante esforço de adaptação tenha de ser feito por parte das industrias extractivas, para responder às mudanças tecnológicas.

De facto, assiste-se hoje ( ou vir-se-á a assistir ) a um dos mais importantes períodos de mutação no comportamento das industrias extractivas.

As tendências actuais de evolução no aproveitamento dos recursos minerais podem condensar-se nos seguintes princípios (Bristow, 1987) :

- i) Aumento da produção utilizando menos matéria-prima (doing more with less);
- ii) Aumento da reciclagem / redução da dissipação;
- iii) Substituição dos metais pelos plásticos, cerâmicas e materiais compósitos;
- iv) Deslocação da dependência das matérias primas para a dependência tecnológica;
- v) Aumento da importância das questões ligadas ao ambiente;

O aumento da produção utilizando menos matéria-prima reflete o abaixamento dos consumos específicos, resultante do aperfeiçoamento na tecnologia de fabrico de materiais : menos estanho na folha de flandres, menos tungsténio no metal duro, novas ligas metálicas, miniaturização dos equipamentos e produção pelas técnicas "near-net shape" ( por exemplo, a substituição da técnica clássica pela da prensagem isostática de determinadas peças de forma complexa pode originar economias de matéria-prima que atingem 30 %). A utilização da tecnologia dos anos 30 no transporte de passageiros através do Atlântico, exigiria um peso de material 500 a 1000 vezes superior ao que é requerido, hoje em dia, pelo transporte aéreo, embora o custo energético da operação seja superior.

O aumento da reciclagem / diminuição da dissipação traduz o crescimento do aproveitamento de sucatas e resíduos, introduzindo um novo factor no complexo ciclo de apropriação dos recursos minerais. A reciclagem tem uma considerável importância económica e, embora variável de metal para metal, pode representar uma fonte secundária importante. No gráfico da Fig. 4 encontram-se os níveis estimados de reciclagem para diversos metais.

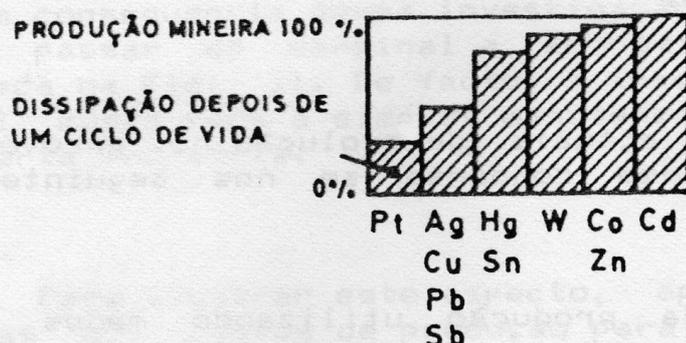


Fig. 4 - Dissipação após um ciclo de vida em % da produção de diferentes metais ( Fonte : "Rational use of potentially scarce metals", NATO Science Committee, 1976)

Embora taxas de reciclagem mais elevada sejam tecnicamente possíveis ( não obstante as baixas cotações actuais não favorecerem o esforço de reciclagem ), é, contudo, obviamente impossível anular a dissipação que sempre existe no ciclo de vida de cada metal.

A substituição dos metais por plásticos, cerâmicas e materiais compósitos traduz-se numa deslocação da procura para os "high tech metals" ( um conjunto muito amplo de substâncias usadas em pequenas quantidades em muitas aplicações especiais ), em detrimento dos "tradicionais" ferro, cobre, zinco e chumbo.

Uma consequência imediata desta deslocação da procura nos estágios iniciais da prospecção, é a necessidade de registar uma massa enorme de informação, proveniente de várias fontes e relativa a variáveis de diferentes tipos. Então, torna-se indispensável dispor de métodos expeditos de tratamento de dados que façam uma síntese útil e produzam, sob a forma gráfica, cartas polivalentes de recursos (Pereira et al, 1986)

Esta substituição dos metais por plásticos, cerâmicas e compósitos pode ser expressivamente traduzida por um exemplo trivial : há vinte anos, a quantidade de plástico usada num carro típico era de 2% ; os últimos modelos americanos contém já 20 % e as previsões para os anos 90 apontam para números da ordem de 30 %. Do mesmo modo, a utilização crescente de cerâmicas e fibras ópticas numa grande variedade de bens faz com que a proporção de metais decresça concomitantemente.

Esta tendência corresponde a um estágio superior de desenvolvimento, em que a importância relativa dos não-metálicos cresce, relativamente aos metálicos.

Pode mesmo usar-se, como índice da maturidade industrial de um país, o instante em que o valor dos não-metálicos se sobrepõe ao dos metais na economia nacional ( Bristow, 1987) . Esse "crossover point" deu-se no princípio do século nos Estados Unidos e no Reino Unido, e ocorreu em Espanha nos anos 70.

No nosso País, esta evolução aparece reflectida no gráfico da Fig. 5, mostrando a importância crescente do sector dos não-metálicos, em detrimento do dos metálicos ( o sector energético evidenciou sempre um peso limitado).

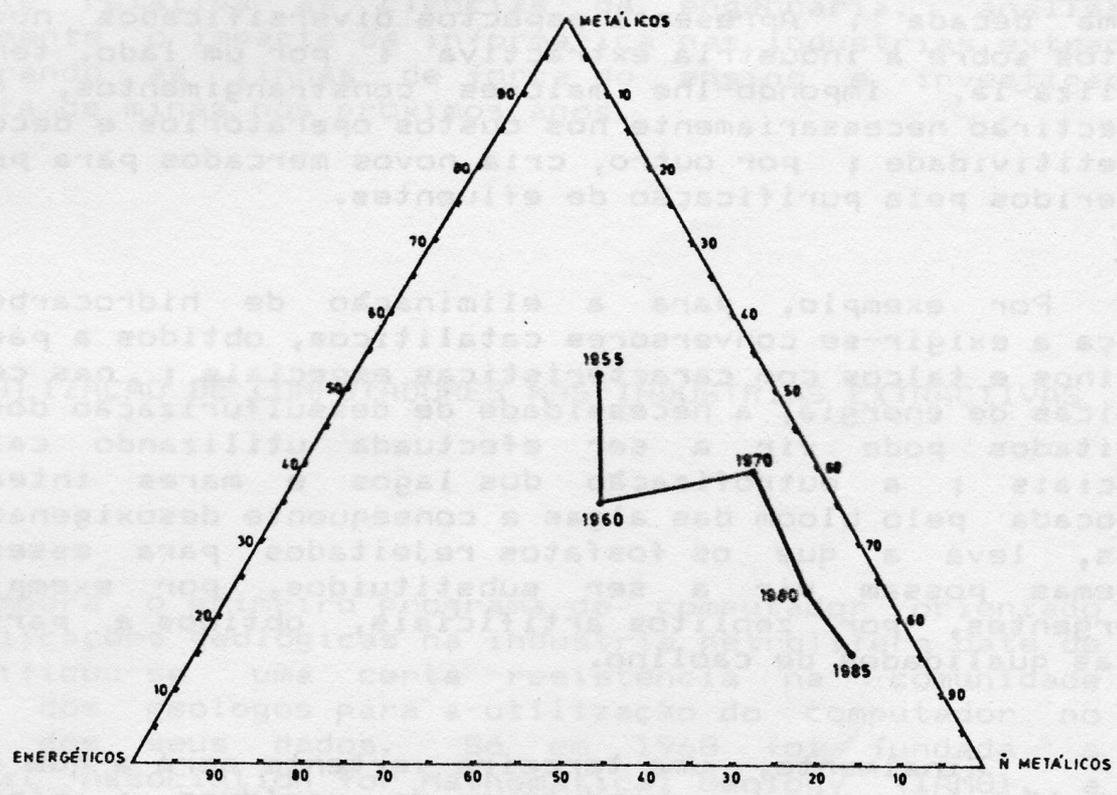


Fig. 5 - Evolução, em Portugal, da estrutura de produção das matérias-primas metálicas, não metálicas e energéticas

A deslocação da dependência das matérias-primas para a dependência tecnológica vem alterando a natureza da procura dos produtos da indústria extractiva, que se deslocam para materiais mais leves e sofisticados, com maior incorporação de valor acrescentado, proveniente de tecnologias de ponta. Para certas substâncias, torna-se mais importante o facto de dominar a tecnologia do seu processamento e valorização do que de dispor de um jazigo onde essa substância ocorra com "elevado" teor. Mas, quanto mais sofisticadas são as aplicações de um dado produto, mais estritas são as especificações impostas à matéria-prima a usar.

A consequência desta tendência nas ciências da engenharia é que os processos genericamente englobados na mineralúrgia ou "tratamento de minérios" (tradicionalmente baseados em operações simples de moagem e separação) exigem uma tecnologia cada vez mais complexa e diversificada, baseada num know-how intensivo, o qual contempla tanto o controle das propriedades dos materiais como a recorrência a métodos particulares, provenientes de diferentes domínios, como certos ramos muito especializados da física, da química e da biotecnologia.

Neste contexto, a mineralúrgia surge claramente como o primeiro elo da cadeia da tecnologia de materiais.

O aumento da importância das questões ligadas com o ambiente tem sido uma característica marcante da evolução da última década. Apresenta aspectos diversificados nos seus efeitos sobre a indústria extractiva: por um lado, tenderá a penalizá-la, impondo-lhe maiores constrangimentos, que se reflectirão necessariamente nos custos operatórios e decorrente competitividade; por outro, cria novos mercados para produtos requeridos pela purificação de efluentes.

Por exemplo, para a eliminação de hidrocarbonetos, começa a exigir-se conversores catalíticos, obtidos a partir de caolinos e talcos com características especiais; nas centrais térmicas de energia, a necessidade de dessulfurização dos gases rejeitados pode vir a ser efectuada utilizando calcários especiais; a eutrofização dos lagos e mares interiores, provocada pelo bloom das algas e consequente desoxigenação das águas, leva a que os fosfatos rejeitados para esses ecossistemas possam vir a ser substituídos, por exemplo nos detergentes, por zeólitos artificiais, obtidos a partir de certas qualidades de caolino.

Finalmente, uma terceira vertente será a que se liga às indústrias grandes produtoras de resíduos: cinzas de pirite, fosfogesso, resíduos de flutuação, etc., cuja deposição final coloca problemas que pressionam no sentido do seu aproveitamento integral.

#### 4 - REFLEXOS DAS TENDENCIAS ACTUAIS DAS INDUSTRIAS EXTRACTIVAS NO PROCESSO DE APROPRIAÇÃO DE RECURSOS

Em resumo, pode dizer-se que as tendências actuais que se verificam na evolução das industrias extractivas tem reflexos nas três componentes, atrás consideradas, do processo de apropriação dos recursos naturais:

- Exige-se um reforço importante da componente naturalista, para melhor caracterizar os inputs da industria extractiva.

- É necessária uma actualização premente da componente das ciências da engenharia, baseada em tecnologias cada vez mais complexas, no dominio da informática, modelização e processamento dos recursos naturais.

- A componente económica toma maior realce, em especial no que diz respeito à organização flexível da produção para responder a diferentes objectivos, e às técnicas de marketing.

Nos capitulos seguintes desenvolve-se em particular a componente relativa às ciências da engenharia, analisando-se especialmente o impacte da informática nas industrias extractivas, e procurando as linhas de força do ensino e investigação da engenharia de minas nos próximos anos.

#### 5 - A UTILIZAÇÃO DE COMPUTADORES NAS INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

Embora o primeiro programa de computador orientado para as aplicações geológicas na industria petrolifera date de 1958, verificou-se uma certa resistência na comunidade naturalista dos geólogos para a utilização do computador no tratamento dos seus dados. Só em 1968 foi fundada a International Association for Mathematical Geology (IAMG), a qual publica duas importantes revistas (Mathematical Geology, desde 1968, e Computers and Geosciences, desde 1975).

No que se refere às aplicações na indústria mineira, o passo crucial foi o estabelecimento de Congressos anuais ou bi-anuais, designados por APCOM (Application of Computers in the Mineral Industries), que vem a efectuar-se desde 1961. Nesses encontros, a comunidade mineira internacional dá conta da possibilidade de aplicação de métodos informáticos, especialmente nos domínios do cálculo de reservas de jazigos metálicos, da utilização da estatística no tratamento de dados da prospecção, da criação de modelos de desmonte, de exploração e de tratamento, etc. Quanto às aplicações nos não-metálicos, verifica-se apenas uma "importação" das técnicas de investigação operacional para otimizar a produção, sem atender às especificidades dos recursos a explorar.

A modelagem e simulação dos processos mineralúrgicos tem vindo a adquirir uma importância crescente, tendo-se atingido já um grau de conhecimento razoável de certas operações, como por exemplo, a moagem de bolas e a classificação. Outras operações, como a moagem autógena, tem tido um desenvolvimento mais lento, podendo contudo admitir-se que, nos próximos 10-15, anos se atingirá um bom nível de conhecimento de todas as operações importantes da mineralurgia (Linch, 1984).

A disponibilidade de modelos fiáveis possibilita a análise ex-ante da eficiência de diagramas, a comparação de diagramas alternativos, e o estabelecimento do controle de processo. Uma outra linha de progresso é o desenvolvimento de "instrumentos inteligentes", com o objectivo de caracterizar as partículas que integram os fluxos de processo.

Parece universalmente reconhecido que a banalização do micro-computador, no final dos anos 70, como estação de trabalho independente ou ligada a um main-frame, permitindo ao geólogo ou ao engenheiro de minas tratar os seus dados em PC sem passar pelo "Centro de Cálculo (onde a sua capacidade de intervenção era diminuta), veio trazer importantes benefícios aos utilizadores (McCammon, 1985). Esta evolução criou mercado para uma vasta gama de software, nos domínios da avaliação de jazigos, planeamento da exploração, modelagem de processos e operações mineiras ou metalúrgicas, avaliação económica de projectos, cartografia automática, etc.

Nos últimos anos, começam a desenhar-se dois novos domínios de aplicação dos computadores na indústria extractiva : trata-se da Inteligência Artificial e Robótica.

Quanto à Robótica, numa indústria em que o risco de morte é 3 vezes superior à média nacional nos Estados Unidos (Mining Engineer, September 87,p.843), parece existir um campo de aplicação privilegiado. No entanto, não existe ainda hoje uma linha de investigação coerente neste domínio, dada a variabilidade das condições de trabalho, que dificultam enormemente a própria automação dos processos. Ainda assim, tem-se verificado alguns progressos no telecomando de equipamento de remoção e carga, operando em cavidades de segurança inaceitável para o Homem.

Outro panorama se nos depara no que diz respeito à Inteligência Artificial (IA). Um dos primeiros sistemas periciais que "funcionou", isto é, que deu benefícios imediatos no campo para que foi criado, encontra-se no domínio da prospecção e avaliação de recursos minerais - trata-se do Sistema PROSPECTOR, criado na Universidade de Standford (Hart et al, 1978). Utilizando apenas o PROSPECTOR, foi encontrada uma nova jazida de Molibdénio no Estado de Washington (Campbell et al,1982).

No entanto, para além deste caso particular, os novos métodos de IA encontram-se ainda pouco divulgados junto da comunidade científica ligada às indústrias extractivas. Por exemplo, no "state of the art" publicado em 1979 sobre as tendências da utilização de computadores neste decénio ( Computer Methods for the 80' in the Mineral Industries, ed. Weiss,1979), não se encontra a menor referência à IA.

No APCOM de Londres, em 1984, não aparece ainda qualquer artigo relacionado com a IA. Só em State College, Pennsylvania ( 19 APCOM ) é que surgem as primeiras comunicações reportando aplicações da IA nas indústrias extractivas ( Catterjee et al, 1986 ; Fries et al,1986 ; Papacharalampos et al, 1986 ). No APCOM de Johannesburg, em Outubro de 1987, publicam-se já dezenas de artigos no domínio da IA.

A Inteligência Artificial é um dos campos mais promissores da utilização de computadores nas indústrias extractivas.

De facto, num domínio em que, para certos casos extremos de sondagens da indústria petrolífera, se pode chegar a registar 1000 variáveis diferentes por cada amostra localizada no espaço (Dickinson et al, 1986), há a necessidade premente de organizar esta torrente de informação segundo formas coerentes e úteis. A passagem da Base de Dados para a BASE DE CONHECIMENTOS, característica da IA, permite armazenar os dados sob uma forma inteligível, reduzindo a redundância, eliminando o ruído, e fazendo emergir as estruturas típicas do processo subjacente ao fenómeno descrito pelos dados. A intervenção do "perito" na concepção e actualização da Base de Conhecimentos exige sempre uma sólida base naturalista nas aplicações da IA à indústria extractiva.

Mas a intervenção do perito não se reduz ao estabelecimento da Base de Conhecimentos. Para construir o GERADOR DE INFERENCIAS, programa constituído por um conjunto de regras lógicas, capaz de retirar conclusões sobre um caso novo à custa da consulta da Base de Conhecimentos, o papel do perito, usando a sua experiência e recorrendo a raciocínios por analogia, é fundamental.

Os sistemas periciais, uma das mais importantes aplicações da IA, podem simular o comportamento do especialista (funcionando assim como memória institucional), desde que "assimilem" a sua lógica. Essa lógica, nas Ciências da Terra, é muitas vezes "vaga" (no sentido de Zadeh, 1973), o que significa que não se reduz às duas categorias binárias da algebra de Boole (verdadeiro ou falso), mas tem de integrar noções aproximadas, qualitativas, imprecisas. Por exemplo, a regra "IF X, THEN Y" pode ser substituída, na lógica vaga, por uma proposição do tipo "IF X is MOSTLY TRUE, THEN Y is FREQUENTLY FALSE".

A importância da IA nas indústrias extractivas provem exactamente da sua capacidade para integrar dados qualitativos (cuja importância na especificidade dos recursos naturais foi já evidenciada), segundo regras de uma lógica vaga, usada frequentemente pelo naturalista. Também a capacidade que existe, no domínio da IA, para adaptar o seu objecto a novas situações, segundo "redes de modelos" flexíveis, pode ser um importante instrumento no esforço de diversificação que tem de ser efectuado pelos profissionais ligados à exploração dos recursos naturais, para responder às solicitações de uma sociedade em rápida mutação.

## 6 - ALGUMAS CONSEQUENCIAS PARA O ENSINO E A INVESTIGAÇÃO

Das tendências anteriormente detectadas nas indústrias extractivas para responder aos desafios da sociedade do know-how, resultam algumas linhas de força que norteiam o repensar do ensino e investigação da engenharia de minas.

Se a responsabilidade mais importante do formador de engenheiros é transmitir aos formandos a capacidade de emitir "engineering judgments" (Dougherty et al, 1986), os quais consistem essencialmente numa série de aproximações razoáveis, ditadas simultaneamente pelos dados e pela experiência, pode dizer-se que essa capacidade pode ser simulada, durante o tempo de formação, através de programas de inteligência artificial, em que, perante dados reais, o estudante ensaia diferentes soluções até ganhar sensibilidade aos parâmetros, às hipóteses simplificadoras, e às aproximações.

Para além de uma sólida formação naturalista de base, enriquecida pela compreensão da utilidade dos conceitos apreendidos, é necessário fortalecer a componente informática nos cursos de engenharia de minas, de modo a que o estudante se treine na concepção e implementação de modelos flexíveis, que possam sempre ser alterados e utilizados em outras aplicações.

Recentemente tem-se vindo a esboçar uma abordagem sistémica do problema da optimização global do processo mineiro-mineralúrgico (Rogado, 1985), a qual se espera venha a desempenhar um papel central no planeamento mineiro.

As áreas de investigação mineralúrgica devem tratar alguns problemas em aberto, anteriormente detectados, como por exemplo, os modelos de moagem-libertação, de moagem autógena, ou a modelagem dinâmica de circuitos de moagem-flutuação.

O que é mais importante não é a mera utilização do computador como simples instrumento de cálculo, mas sim a sua aplicação como instrumento de experimentação simbólica, de modo a desenvolver a criatividade e a compreensão dos algoritmos utilizados e dos processos representados, os quais podem posteriormente ser generalizados a outros casos de aplicação.

Por exemplo, a tendência detectada no capítulo 3 da passagem dos metálicos para os não-metálicos como objecto primordial das indústrias extractivas, pode ser acompanhada, desde que se aproveite o know-how existente sobre os primeiros, adaptando-o às novas condições.

De facto, toda uma disciplina nova, a Geoestatística (Matheron, 1965), foi edificada com base na experiência de aplicação da teoria das Funções Aleatórias na indústria mineira. Existe todo um capital acumulado de conhecimentos, especialmente no que diz respeito aos modelos aplicáveis à exploração metálica.

A variável regionalizada por excelência é o teor e todo um conjunto de desenvolvimentos teóricos foi construído com base nas necessidades manifestadas pela prática industrial: a geoestatística não-linear para estudar reservas recuperáveis, usando um teor de corte; a simulação condicional para controlar a variabilidade do teor à entrada da lavaria; a geoestatística não-estacionária para tratar os casos em que o teor apresenta "deriva", etc.

De facto, em termos de investigação aplicada, o passo crucial para responder à diversificação do objecto das indústrias extractivas é a generalização do caso mono-variável ao caso multi-variável, incorporando concomitantemente a informação pericial, fornecida pelo naturalista sob a forma de variáveis qualitativas.

Parece, pois, que o "capital" de conhecimentos acumulado em 20 anos de experiência da aplicação da geoestatística, mesmo em Portugal (Pereira, 1971), pode ser aproveitado, atendendo às mutações da indústria extractiva, desde que se faça uma adaptação para o caso vertente dos não-metálicos.

Por outro lado, os modelos próprios da geoestatística podem ser generalizados, sem dificuldade, a outros domínios exteriores à indústria mineira, tomando em conta a variável tempo e adaptando-os às características específicas de cada domínio. Por exemplo, assiste-se hoje a uma explosão dos campos de aplicação da teoria das Variáveis Regionalizadas: petróleo, águas, fluidos geotérmicos, poluição, abundância de espécies em ambientes marinhos, etc.

## 6 - REFERENCIAS

- Bristow, C. - "Society's changing requirements for primary raw materials", Industrial Minerals, Feb 1987, pp. 59-65
- Campbell, A. , Hollister, V. , Duda, R. , Hart, P. - "Recognition of a hidden mineral deposit by an Artificial Intelligence program", Science vol. 217, Sep 1982, pp. 927-929
- Chatterjee, P. , Scheck, D. , Holguin, S. - "Artificial Intelligence / Expert Systems applied to formulate and evaluate coal mine permit applications" - 19 APCOM, Pennsylvania, 1986, pp. 785-801
- Dickinson, R. , Jones, C. , Wagstaff - "MWDATANET - acquisition and processing of down-hole and surface data during drilling", Transactions of the IMM, Section B , vol. 95, Aug 1986, pp. B140-B148
- Fries, E. , Welsh, J. - "Expert systems and real-time monitoring" - 19 APCOM, Pennsylvania, 1986, pp. 802-808
- Dougherty, E. , Ershaghi, I. - "What is the current role of computers in petroleum engineering education, and what should it be?" - Journal of Petroleum Technology, Feb 1986, pp. 197-207
- Hart, P. , Duda, R. , Einaudi, M. - "PROSPECTOR - a computer-based consultation system for mineral exploration" - Mathematical Geology, vol. 10, No. 5, 1978, pp. 589-610
- Linch, A. - "Computers in mineral processing - the first twenty-five years" - 18 APCOM, London, 1984, pp. 1-10
- Matheron, G. - "Les variables regionalisées et leur estimation" - Masson, Paris, 1965, 305 p.
- McCammon, R. - "Computer applications and activity increase " - Geotimes, Oct 1985, pp. 15-16
- Pacharalampos, D. , Koch, G. - "Automatic rock-type classification from satellite data : developing an expert system" - 19 APCOM, Pennsylvania, 1986, pp. 809-815
- Pereira, H. - "Aplicações da Geoestatística" - Técnica, No.407, 1971, pp. 403-416
- Pereira, H. , Sousa, A. - "Painel sobre aplicações da Análise de Dados", Encontro Nacional de Engenheiros de Minas, Fortimão, 1986, 11 p.
- Rogado, J. - "As variáveis mineralúrgicas no planeamento mineiro" - Técnica, Nov 1985, pp. 17-23
- Zadeh, L. - "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes" - IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, vol. SMC-3, No 1, Jan 1973