

# **DO PLANEAMENTO MINEIRO AOS GEO-SISTEMAS: A ENGENHARIA DE MINAS DO PONTO DE VISTA DA MODELIZAÇÃO INTEGRADA DOS GEORRECURSOS E SUA BENEFICIAÇÃO**

*in memoriam* José Quintino Rogado

Henrique Garcia Pereira \*

## **A fase de arranque de uma visão integrada do Planeamento Mineiro (1960-1975)**

Foi no início dos anos 60 do século XX que o Planeamento Mineiro deu os seus primeiros passos no nosso país<sup>1</sup>, sob o impulso do Engenheiro José Quintino Rogado, Catedrático de Preparação de Minérios do Instituto Superior Técnico (IST) e Director Técnico da Companhia Mineira do Lobito (CML). Nessa época surgem as primeiras tentativas de modelização matemática dos recursos minerais metálicos a partir da Geoestatística (*vd.* CAIXA I). Para o Planeamento Mineiro, o resultado prático mais importante da Geoestatística consiste na avaliação do valor mais provável do teor de uma ‘espécie útil’ em blocos de exploração (quociente entre a massa do metal e a massa do bloco). Com a distribuição local dos teores nos blocos (e respectivo erro) fornecida pela Geoestatística, é possível parametrizar as reservas atendendo à dimensão do suporte de selecção e à informação disponível. Esta parametrização faz-se em função do *cut-off* (*vd.* CAIXA II), que é a variável crítica de decisão para o planeamento da exploração do georrecurso segundo critérios económicos bem estabelecidos que tomam

---

\* Com a colaboração de Carlos Madureira, Leopoldo Cortez, Amílcar Soares, António Jorge de Sousa, Jorge Ribeiro, José Saraiva e Júlia Carvalho.

<sup>1</sup> Antes dessa época, a “prospecção baseava-se na leitura dos sinais superficiais no terreno” (Alves, 2000a) e, no território nacional, “a paisagem mineira oitocentista perdurava” (Alves, 2000b). Nas pequenas ocorrências, “fizeram-se verdadeiros atentados à arte das minas” (Correia, 1945), na sequência do *boom* artificial decorrente da segunda guerra mundial. Nas ‘grandes’ explorações, como a Panasqueira e Aljustrel, utilizava-se no sector uma tecnologia estrangeira obsoleta e desajustada às especificidades dessas ocorrências, transposta sem critério e com atraso, a partir de outras instalações implantadas anteriormente nos países que dominavam essa tecnologia (uma honrosa excepção pode abrir-se para o método de exploração usado na Panasqueira, onde se experimentaram algumas soluções inovadoras que, atendendo à metalogénese estabelecida pelo Prof. Décio Thadeu, se ajustavam bem a este tipo de mineralização). Quanto às colónias, o panorama tecnológico das indústrias extractivas era (literalmente) ainda mais negro, com a mão de obra praticamente gratuita, com a dupla dependência, e com a facilidade de acesso a recursos valiosos, abundantes e exigindo apenas uma rudimentar valorização.

em conta a incerteza resultante do facto da informação ser obtida por amostragem (incluindo-se sempre, nas ‘reservas’, o erro de estimação correspondente a cada configuração amostral específica). Mas, para aplicar as técnicas da Investigação Operacional (em particular, o *scheduling* optimizante) ao Planeamento Mineiro, é necessário definir uma função objectivo, na qual surge forçosamente um termo que vai depender do processo de beneficiação utilizado pela Mineralurgia (vd. CAIXA III). De facto, o minério tal-qual modelizado pela Geoestatística não tem, na maioria dos casos práticos, valor de mercado. É pois necessário encontrar um processo mineralúrgico de beneficiação capaz de transformar o minério produzido pela mina num concentrado com as especificações exigidas pelas industrias a jusante (vd. CAIXA III). Os processos mineralúrgicos constituem assim uma etapa crucial na avaliação da economicidade de um empreendimento mineiro, visto que é do seu rendimento que depende a possibilidade de transformar o recurso *in situ* num produto comercializável.

Com vista a alimentar os modelos de Investigação Operacional com *inputs* funcionalmente coerentes, desenvolveu-se no IST uma visão inovadora do Planeamento Mineiro, baseada na Teoria dos Sistemas. Formalizou-se, a partir dessa perspectiva, o sub-sistema tecnológico em interacção com os sub-sistemas geológico e económico (vd. Fig. 1), atendendo às relações não-lineares entre o rendimento da beneficiação (dado pelos modelos mineralúrgicos, que traduzem as operações de Tratamento de Minérios) e o teor do tal-qual fornecido pela mina (dado pela Geoestatística, que modela a geologia da jazida em termos dos métodos de Exploração Mineira).

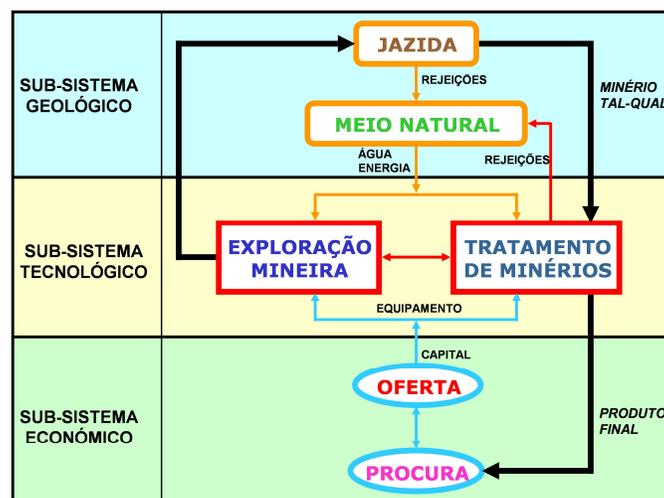


Fig. 1 – O processo de apropriação de georrecursos visto como um sistema em interacção

Esta visão sistémica da fileira mineral nos seus estágios mais a montante (e a respectiva modelização, desde o georrecurso *in situ* ao concentrado vendável) foi o contributo essencial do Professor Quintino Rogado para a Engenharia de Minas em Portugal, criando, no IST, uma escola de Planeamento Mineiro com especificidade própria e investigação original que promoveu importantes acções de inovação tecnológica neste domínio, assentes na combinação sinérgica Geoestatística/Mineralurgia (Rogado, 1975). Esta linha de investigação nasceu no Núcleo de Tratamento de Minérios (NTM) da Comissão de Estudos de Energia Nuclear do Instituto de Alta Cultura, criado em 1954 e sediado no Laboratório de Preparação de Minérios do IST (Rogado, 1959). Foi o NTM que deu origem, em 1975, ao Centro de Valorização de Recursos Minerais da Universidade Técnica de Lisboa (CVRMUTL).

Paralelamente, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), a ‘lavra’ (designação para os métodos de exploração de minas) encontrava-se completamente divorciada do ‘tratamento de minérios’ (mineralurgia). No primeiro destes domínios, pontuava o Professor Farinas de Almeida, ligado essencialmente à exploração dos carvões (a ‘mina por excelência’) e fortemente influenciado pela escola francesa das “*houillères*”. A área da mineralurgia era dominada pela figura incontornável do Professor Cerveira, gestor empirista e polivalente que encarnava o ‘empreendedor do Norte’, à escala das pequenas minas que abundavam na região em condições de intensiva diversidade, para uma miríade de ‘espécies úteis’. Dotado de uma intuição notável, encontrava por vezes soluções imaginativas para problemas mineralúrgicos difíceis<sup>2</sup>, embora sem atender à interacção do processo de tratamento com o fluxo de tal-qual vindo da mina (a qual só lhe interessava como ‘abastecedora de quantidade de metal’). E foi entre os Assistentes do Professor Cerveira que surgiu a personalidade singular de Carlos Madureira, criador da escola de Tratamento de Minérios do Porto, especializada em modelos mineralúrgicos. Com base no seu excepcional engenho, que combinava uma sólida preparação matemática (desenvolvida a partir da teoria do sinal e da cibernética) com um profundo conhecimento fenomenológico dos processos mineralúrgicos (onde introduziu pela primeira vez noções de cinética, ‘importadas’ da química), o Professor Madureira desenvolveu o conceito seminal de ‘libertação’ (o

---

<sup>2</sup> O diagrama de tratamento que concebeu para Vale de Arcas é um exemplo admirável desta excepcional intuição. De facto, a ideia de flutuar à cabeça a ganga, para depois recuperar a sheelite é, na verdade, uma solução criativa e economicamente viável, verdadeiramente ‘transgressora’ da sequência tradicional.

processo, apoiado na moagem, que permite a obtenção de partículas livres da ‘espécie útil’), para criar uma teoria inovadora sobre o problema fundamental da preparação de minérios (Madureira C. & Regueira, P., 1972a, Madureira C. & Regueira, P., 1972b, Madureira, 1978). Esta teoria viria a dar os seus frutos em termos práticos quando os seus ‘discípulos’ implementaram, na década seguinte, o seu *model-driven approach*.

Até ao 25 de Abril de 1974, a metodologia desenvolvida no NTM do IST foi aplicada essencialmente aos minérios de Ferro de Angola explorados pela Companhia Mineira do Lobito, para além de intervenções pontuais em Portugal<sup>3</sup>. Os grandes projectos de “Exploração dos Minérios Eluviais de Cassinga” e a das “Lavarias de Jamba e Tchamutete”, que decorreram de 1960 a 1968 sob a direcção do engenheiro Quintino Rogado, foram já executados segundo a perspectiva integrada de Planeamento Mineiro/Mineralurgia desenvolvida no NTM. Também a concepção do parque de minério e a instalação de amostragem do porto de Moçâmedes, que decorreu de 1966 a 1971, teve o apoio metodológico da equipa do Professor Quintino Rogado centrada no IST, que contava, nessa época com uma dezena de investigadores<sup>4</sup>.

A importância da Companhia Mineira do Lobito na economia de Angola era extremamente significativa. De facto, o valor médio anual da produção de minério de Ferro no período 1968/1973 correspondia a 22.8 % da indústria extractiva e a 9.4 % do total das exportações, o que levava a que este produto se posicionasse em terceiro lugar (a seguir ao café e aos diamantes) no *ranking* da economia de Angola, durante a derradeira fase colonial, em que a produção dos concentrados de Ferro cresceu ao ritmo de 23% ao ano (Neto, 1991). E, ao contrário dos outros empreendimentos do sector

---

<sup>3</sup> Entre as quais se destacam as seguintes (Rogado, J. 1989):  
1954 - Concentração magnética de hematites (FERROMINAS)  
1955 - Flutuação de minérios de Cobre (EMIL)  
1955 – Concentração hidrogravítica de cassiterite (ESTANA)  
1963 – Projecto de exploração da mina de salgema (CLONA)  
1964 – Projecto de lavaria de cassiterite de St<sup>a</sup> Eulália (PEREIRA COUTINHO & ALLEN)

Estas intervenções excepcionais, no domínio da mineralurgia, contrastam com a indiferença generalizada (sublinhada em Rogado *et al.*, 1965) em relação à necessidade dos estudos prévios de beneficiação por parte da indústria mineira nacional. O espírito fechado e corporativo dessa indústria, enfeudada a multinacionais estrangeiras, estava em completa antinomia com a visão aberta e abrangente do Engenheiro Quintino Rogado, que propunha abordagens globais, de ‘vistas largas’, baseadas na inovação tecnológica e numa investigação metodológica original (e ‘heterodoxa’), que contestava as soluções convencionais do tipo “chave-na-mão”.

<sup>4</sup> Em particular, Georges Matheron deslocou-se a Angola em 1967 para lançar as bases da avaliação geoestatística das reservas do minério secundário de Cassinga, e proferiu, a propósito, uma conferência no IST, cujo conteúdo foi publicado na Técnica (Matheron, 1967)

primário, os projectos postos em prática pela CML não se baseavam em mão de obra intensiva (e barata), mas na tecnologia mais avançada para a época, incluindo moderna maquinaria onde se aplicavam já alguns princípios de automação (Fig. 2).

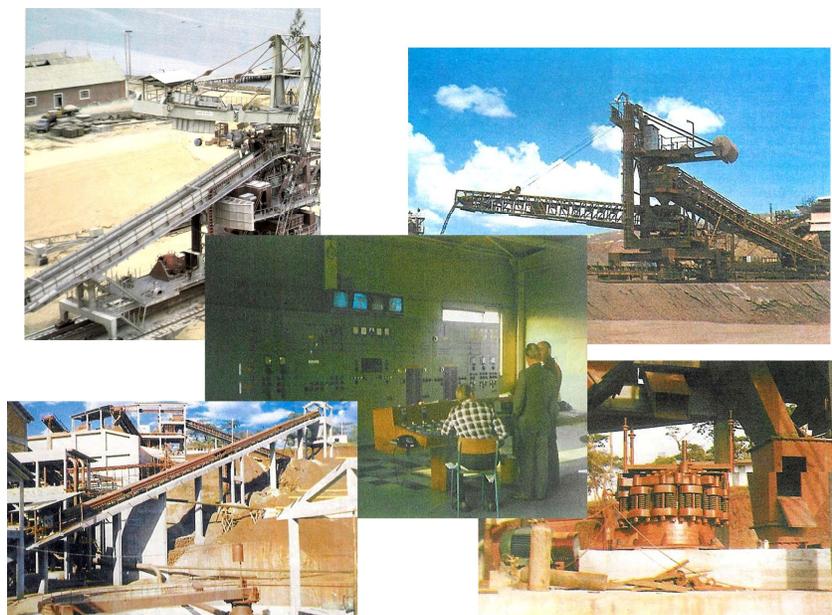


Fig. 2 – O empreendimento mineiro de Cassinga (Rogado, 1988)

Para apoiar os projectos de Cassinga, foi assim possível desenvolver metodologias inovadoras que respondiam a problemas reais do projecto minero-mineralúrgico. Essas metodologias eram testadas na vasta ‘base de dados’ da CML, resultante de uma amostragem consistente, tanto *in situ* como no minério sujeito a ensaios de beneficiação. Por outro lado, a investigação fundamental onde as metodologias assentavam era, na sua maior parte, financiada pela CML, por proposta do engenheiro Quintino Rogado. Em particular, mais de uma dezena de investigadores do NTM e quadros técnicos da CML deslocaram-se neste período às universidades europeias e empresas de desenvolvimento tecnológico onde germinavam os novos desenvolvimentos teóricos, em especial à École des Mines de Paris (para a Geoestatística e Amostragem) e à Université Libre de Bruxelles, École des Mines de Nancy, Laboratórios de Warren Spring, CRIBLA, STRIPA e Krupp (para a Mineralurgia). Nestes estágios e cursos de curta duração, que se alargaram também aos Estados Unidos (Universidade de Minesotta e McKee), havia a preocupação de abrir perspectivas para as metodologias mais avançadas em cada especialidade, sem no entanto abdicar do seu ajustamento aos casos reais de aplicação e da sua integração

criativa e articulada no *know how* nacional neste domínio. Esta primeira tentativa de ‘internacionalização endogenizante’ revelou-se muito profícua, não só no aspecto técnico (criando uma equipa qualificada na CML, capaz de conceber/executar projectos e dimensionar/operar/controlar instalações de elevado nível de complexidade), como na sua vertente científica (lançando um Seminário de Geoestatística e Automação no NTM, do qual emergiu, em 1970, a primeira disciplina de Geoestatística no curso de Engenharia de Minas do IST). De resto, cedo houve a preocupação em difundir internacionalmente os resultados da investigação efectuada no país neste domínio, com a participação generalizada nos mais importantes congressos dedicados a este tema (APCOM, PRIBRAM, CODATA, IAMG, IGC).

No período de 1972-1975, em que foram avaliadas as reservas do minério itabirítico de Cassinga e efectuado o projecto de exploração, beneficiação e pelletização desse minério, incrementou-se fortemente a contribuição da equipa do IST para o aperfeiçoamento dos métodos de Planeamento Mineiro, que entretanto se tinham operacionalizado com as primeiras aplicações de programas de cálculo automático escritos em Basic e Fortran pelos colaboradores do Professor Quintino Rogado (e que ‘corriam’ no Time-sharing da Honeywell/BULL, no DEC 10 do LNEC e no IBM 360 do CCUL).

Foram assim efectuados os primeiros cálculos de reserva baseados na Geoestatística, em que às estimações era associado um erro, dependente não só da dimensão da amostra, como da sua localização espacial (Cortez, 1967, Pereira, 1971, Pereira *et al.*, 1971). Nestes trabalhos, usavam-se os jazigos da CML como ‘banco de ensaio’ para desenvolver os métodos propostos, que eram ilustrados em numerosos *case studies* reais, e validados pelo confronto com a prática industrial.

Com o surgimento do problema do tratamento de vários tipos de minério, a Geoestatística combinou-se com a Análise Multidimensional de Dados e Classificação Automática (*Cluster Analysis*) para o estabelecimento de tipologias espacialmente distribuídas com significado tecnológico (zonas da jazida com características diferentes, do ponto de vista da sua resposta à beneficiação<sup>5</sup>).

---

<sup>5</sup> Desenvolveu-se assim um algoritmo original, designado por Análise Vario-Grupal, que associava o variograma (que é o instrumento de detecção de estruturas espaciais da Geoestatística) à Análise Grupal (que é o método de *Cluster Analysis* para criar tipologias), com o objectivo de estabelecer um zonamento *fuzzy* das jazidas (Pereira *et al.*, 1975, Muge *et al.*, 1975).

## A fase de consolidação do Planeamento Mineiro (1975-80)

Neste período, caracterizado pela descolonização, a democratização e as nacionalizações, a indústria mineira portuguesa foi obrigada a uma profunda reestruturação. O modelo de desenvolvimento prevaiente exigia uma base nacional de matérias primas metálicas para alimentar (e mesmo ‘impulsionar’) a indústria pesada. Começou assim a contestar-se a ideia de um Portugal “pobre em recursos naturais”, passada pela ditadura para justificar a exploração das colónias. No que diz respeito aos georrecurso, fez-se um esforço sério no sentido de reavaliar as suas ocorrências e procurar tecnologias para a sua valorização, com o objectivo de conseguir alguma “substituição de importações”<sup>6</sup>. Lançam-se então, a partir de 1976, os grandes projectos de aproveitamento dos metais básicos de Aljustrel<sup>7</sup> (pela Comissão para o Lançamento do Programa de Aproveitamento Integrado das Pirites Alentejanas - CPP) e do Ferro de Moncorvo<sup>8</sup> (pela Ferrominas). Para além destes mega-projectos (para a escala da incipiente indústria mineira nacional), houve, na Secretaria de Estado de Energia e Minas, a preocupação de incentivar uma intervenção generalizada no sector minero-metalúrgico, de acordo com as propostas do Grupo de Coordenação para o Aproveitamento dos Recursos Mineiros Nacionais (GCARMN), criado com o objectivo de inventariar sistematicamente o nosso potencial em recursos minerais como base para um desenvolvimento económico que seguia, desfasadamente, as linhas mestras de uma “revolução industrial que o País tinha falhado na época própria”. Sobre a *vexata questio* das razões porque estes projectos não chegaram a ‘arrancar’ (ou vieram a ‘abortar’), encontram-se alguns elementos de resposta num clima internacional desfavorável para uma indústria que sempre foi ‘globalizada’, não deixando lugar para extemporâneos arremedos ‘nacionalistas’ num período de rápida mutação dos mercados mundiais de

---

<sup>6</sup> De facto, no período 1975-1978, a parte do défice da balança comercial correspondente a produtos de ‘base mineral’ cifrava-se numa média anual de 27.0 % para os combustíveis, 8.8 % para o ferro e 4.3 % para os não-ferrosos (calculado a partir de dados do INE).

<sup>7</sup> Quanto a Aljustrel, a ideia era dar uma utilização ‘mais nobre’ ao minério que até então alimentava os processos de produção de ácido sulfúrico da CUF/QUIMIGAL. De facto, estes processos, dirigidos para o S, só aproveitavam, por métodos hidrometalúrgicos, uma proporção ínfima dos metais básicos (Cu, Pb, Zn) e preciosos (Au e Ag) contidos nas reservas reconhecidas. Com o novo projecto (que nunca viria a desenvolver-se plenamente), pretendia-se obter concentrados diferenciais de Cobre, Chumbo e Zinco.

<sup>8</sup> Quanto a Moncorvo, pretendia-se alimentar a indústria portuguesa do aço (com a sua eventual expansão, prevista no Plano Siderúrgico Nacional) através de minério de ferro de origem nacional. Este projecto revelou-se inviável do ponto de vista técnico-económico para as circunstâncias da época, tendo sido abandonada a solução proposta no início da década de 70 do século XX pelos Professores Cerveira e Maia e Costa, da FEUP, que preconizavam uma siderurgia no Norte, financiada pelo grupo Champallimaud, produzindo aço de ‘menor qualidade’, adequado à construção.

matérias-primas minerais, em que os ‘choques petrolíferos’ agitavam a economia ocidental e em que a nossa integração na CEE estava eminente.

O CVRM teve alguma intervenção nestes projectos<sup>9</sup>, embora nem sempre as suas recomendações técnicas (que apontavam para soluções atípicas e metodologicamente inovadoras, relativamente ao *mainstream* convencional da época) tenham sido postas em prática, por dificuldades conjunturais de natureza económica e política (e por não se enquadrarem, em alguns casos, no cânone de desenvolvimento dominante).

Neste período, para além da organização de um Seminário Internacional de Geomatématica em Lisboa (Técnica, nº 451/52, 1979), iniciou-se também a exportação de *know-how* para o Brasil (incluindo *software*, cf. Pereira et al., 1977), tendo o Engenheiro Quintino Rogado dirigido vários estudos e projectos de avaliação geoestatística de reservas em importantes jazidas de fosfatos (Rogado *et al.*, 1976a), de Chumbo/Zinco (Rogado *et al.*, 1976b), de carvão (Rogado, 1977) e de ferro (Rogado, 1978).

### **O início da diversificação das aplicações (1980-1990)**

O passo crucial para o lançamento de uma linha de investigação visando a generalização e ajustamento dos modelos de planeamento mineiro a outros recursos naturais foi o projecto SAVARN (Sistema de Avaliação e Valorização de Recursos Naturais), financiado pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica (JNICT) de 1978 a 1982 (Rogado *et al.*, 1978). A partir desse projecto, o CVRM inicia uma consistente extensão do seu campo de aplicações, tanto no sentido horizontal (recursos hídricos, petrolíferos, florestais e marinhos) como vertical (prospecção<sup>10</sup>, metalurgia e modelos de apropriação<sup>11</sup>). Com base em analogias formais entre recursos, expressas nos modelos para a sua apropriação, surge claramente uma conceptualização sistémica da interdependência entre recursos, as tecnologias e o ambiente (com as preocupações

---

<sup>9</sup> Dessas intervenções, é de salientar relatórios técnicos (GCARMN, 1976, CVRM/PPP, 1977) e artigos científicos dos colaboradores do CVRM contendo sempre *case studies* ilustrativos que resultaram da investigação referente às Pirites de Aljustrel (Muge & Pereira, 1979, Rogado *et al.*, 1979, Cortez *et al.*, 1980) e ao Ferro de Moncorvo (Soares & Lourenço, 1978, Muge, 1982, Sousa, 1983), solicitada pela administração estatal.

<sup>10</sup> Na prospecção e inventariação de recursos potenciais, começa a utilizar-se, nesta fase, a detecção remota e a cartografia automática em colaboração com a Universidade de Nancy (Pereira & Royer, 1979)

<sup>11</sup> A ideia de integração vertical dos recursos minerais numa fileira de valorização começa a estender-se cada vez mais para jusante, extravasando a formulação inicial do planeamento mineiro, cuja função objectivo deixava de basear-se nas especificações das metalurgias e outras transformadoras, para passar a definir-se a partir do produto final, num *reverse engineering* do *output* para o *input* (Cortez *et al.*, 1978).

ecológicas que entretanto tinham chegado a Portugal<sup>12</sup>). A noção de fileira nos modelos verticais de valorização de recursos naturais (Fig. 3) é entrecruzada com um modelo horizontal das relações dos recursos entre si, e destes com o ambiente (Fig. 4)

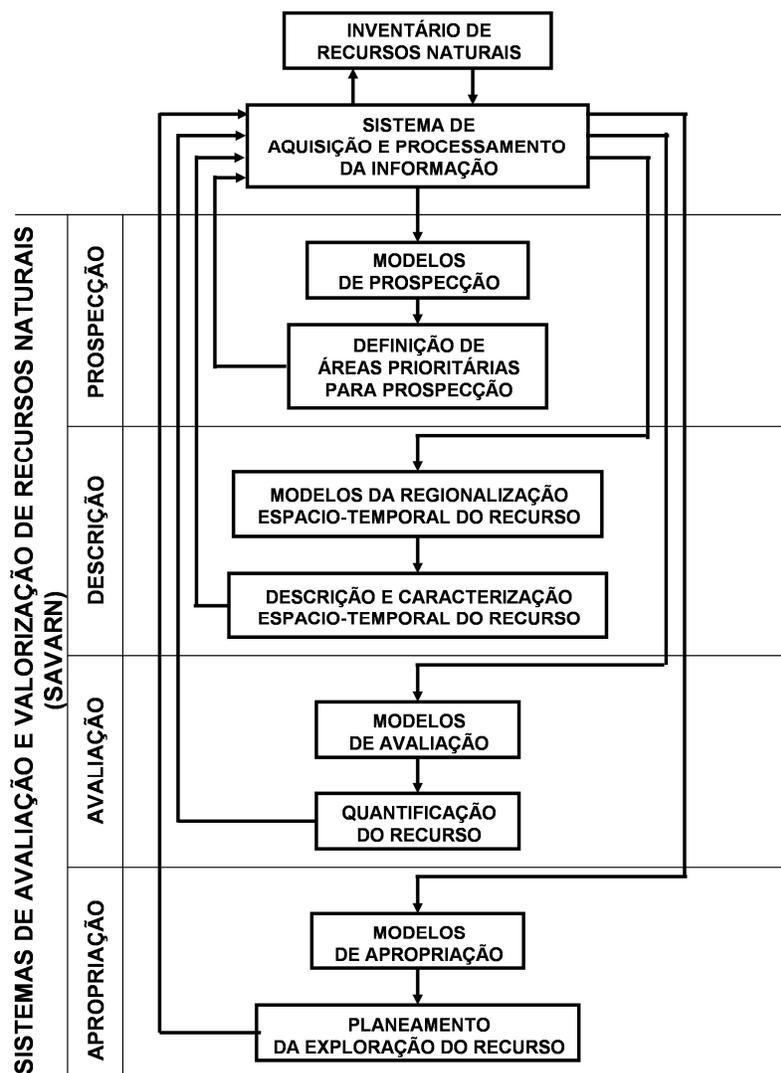


Fig. 3 – A estrutura básica do projecto SAVARN (Rogado *et al.*, 1978)

<sup>12</sup> A Liga para a Protecção da Natureza, criada em 1948, tinha ainda um carácter elitista e conservadorista. Só em 1981 foi criada a GEOTA e, em 1985, a QUERCUS, associações ambientalistas ‘modernas’, em que surge já, claramente expresso, o Novo Paradigma Ecológico (chamando a atenção para a interdependência entre o Homem e a Natureza). Como percursores desta preocupação ambientalista, podem apontar-se as contribuições de Afonso Cautela, com a sua ‘militância’ abrangente (Cautela, 1976), e de J.J. Delgado Domingos, num registo mais ‘científico’ (cujas intervenções nos *media*, a partir de 1976, foram recolhidas em Domingos, 1978).

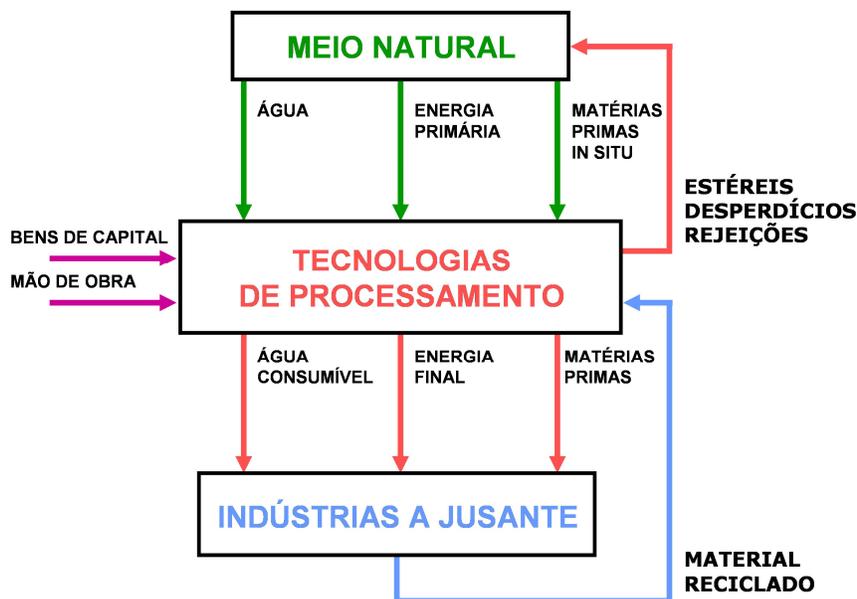


Fig. 4 - A interdependência entre os recursos (Rogado *et al.*, 1978)

No sentido de disseminar os resultados da investigação realizada no domínio dos modelos de avaliação e valorização de recursos naturais e cruzar o *approach* entretanto desenvolvido com o de grupos afins (Departamento de Sistemas, CAPS e CESUR do IST, LNETI, LNEC, Petrogal e FEUP), o CVRM organizou em Novembro de 1979 os “Encontros sobre métodos Quantitativos Aplicados às Variáveis Regionalizadas”, cujas actas, publicadas pelo INIC, constituíram um marco importante para a generalização das aplicações da Geoestatística em domínios exteriores ao planeamento mineiro (CVRM, 1983).

Nesta perspectiva de diversificação das aplicações, o CVRM iniciou neste período um esforço considerável de ajustamento dos seus modelos a outros recursos naturais: (i) águas subterrâneas, (ii) pescas, (iii) petróleo, (iv) rochas ornamentais.

(i) No domínio das águas subterrâneas, o CVRM integrou o grupo de trabalho que realizou em 1979 a 1983, no âmbito do acordo PNUD-UNESCO, o primeiro projecto de Planeamento e Gestão de águas subterrâneas realizado em Portugal (PROJECTO SETÚBAL - ESTUDO DO SISTEMA AQUÍFERO MIOPLIOCÉNICO DO TEJO E DO SADO). Neste projecto ajustou-se a estimação geoestatística de variáveis hidrogeológicas como a piezometria e a transmissividade aos modelos numéricos de simulação de fluxo subterrâneo, efectuando-se a respectiva calibração com base no

intervalo de confiança fornecido pela referida estimação (Ribeiro, 1984, Ribeiro & Muge, 1988a, Ribeiro & Muge, 1988b, Ribeiro, 1989).

(ii) No domínio dos recursos aquáticos e pesqueiros, o CVRM colaborou em 1986-87 com o Instituto Nacional de Investigação das Pescas (INIP) no tratamento de dados específicos do meio aquático, tanto em barragens como no mar (Zona Económica Exclusiva). Desta colaboração, que implicou o desenvolvimento de *software* dedicado, resultaram modelos da cadeia alimentar em barragens (Pereira & Brogueira, 1988, Muge & Cabeçadas, 1989) e aplicações da geoestatística à avaliação de *stocks* pesqueiros (Pereira & Soares, 1989).

(iii) No domínio da modelização de reservatórios petrolíferos, o CVRM desenvolveu em colaboração com a PARTEX o primeiro projecto financiado pela CEE na área da avaliação de reservas de petróleo (DEVELOPMENT OF A GEOMATHEMATICAL MODEL OF OIL RESERVOIRS, 1987-1990). Neste projecto, baseado nos campos do Médio Oriente onde a Partex tinha participação, estabeleceu-se um zonamento dos reservatórios e calculou-se o *oil in place* a partir de modelos geomatemáticos, ajustados às especificidades dos recursos petrolíferos (Pereira et al., 1989, Pereira et al., 1990, Pereira & Soares, 1992, Pereira et al., 1993). A partir deste projecto, a investigação nesta área incrementou-se fortemente nos anos 90 do século XX com a criação do Centro de Modelização de Reservatórios Petrolíferos do IST (CMRP), onde emergiram importantes avanços teóricos e práticos ( Soares & Costa e Silva, 1992, Soares, 1992, Soares et al., 1996).

(iv) No domínio das rochas ornamentais, reconhece-se, a partir de 1988, a importância deste recurso (quando, também em Portugal, na esteira dos países mais desenvolvidos, o valor dos minerais industriais excedeu o dos metais). Mas essa importância económica, aliada a uma exploração desregrada, arrastava consigo um enorme impacto ambiental, especialmente sobre a paisagem. Assim desenvolveram-se projectos no sentido de prever *ex ante* o valor das rochas ornamentais, com vista ao planeamento racional do seu aproveitamento, extraindo apenas os blocos que podiam ser absorvidos pelo mercado e deixando *in situ* os restantes (Pereira & Costa, 1988, Pereira et al., 1992, Pereira et al., 1993)

Para além destas aplicações, houve contributos importantes na área da mineralurgia, tanto no CVRM – onde foi concebido e implementado um *package* de simulação de circuitos complexos envolvendo as principais operações de tratamento de minérios (Durão, 1993) - como no grupo do Prof. Madureira da FEUP, que desenvolveu investigação persistente na modelização de distribuições granulométricas de sistemas particulados (Madureira *et al.*, 1988).

No domínio estrito do planeamento mineiro, surgiu neste período a possibilidade de adaptar os modelos de avaliação de reservas ao grande jazigo polimetálico (Cobre, Estanho, Zinco) de Neves-Corvo, descoberto em 1977, e que entrou em produção no final da década de 80. Trata-se (tratava-se) de uma das maiores e mais ricas ocorrências de minério de Cu a nível mundial, que conduziu à mais importante mina de metais básicos da Europa (e que foi o ‘canto do cisne’ da indústria mineira nacional, depois de ter sido considerada a “jóia da coroa” de um putativo renascimento da indústria mineira europeia, *cf.* Wood, 1989). Dada a escala e a complexidade do empreendimento, os métodos geoestatísticos de avaliação e planeamento tiveram de ser criativamente ajustados às especificidades da ocorrência, que se encontra em massas heteróneas e morfologicamente entrelaçadas, a mais de um quilómetro de profundidade (CVRM, 1982, CVRM, 1984, Rogado *et al.*, 1984, CVRM, 1987, Soares *et al.*, 1990, Soares *et al.*, 1993).

Foi também neste período (em 1986) que foi lançado, pelo Professor Quintino Rogado, um Curso de Mestrado em Georrecursos, o qual foi um dos primeiros a ser aprovado no IST. Tratava-se (trata-se) de um curso transversal, dirigido a alunos com diferentes formações de base (Engenharia, Geologia, Biologia, Geografia...), em que as metodologias de modelização (Geoestatística, Análise Multidimensional de Dados, Análise de Imagem, Investigação Operacional) são aplicadas a uma vasta gama de recursos naturais.

### **Os Geo-Sistemas (1990-2000)**

Na última década do século XX a questão ambiental está no cerne de um certo ‘bloqueamento’ das indústrias extractivas, cuja ‘imagem’ predadora é prevalecente, com o testemunho de uma Terra desventrada (“*The Endangered Earth*”, titulava a *Time*, na capa do seu primeiro número de 1989, cf. Fig. 5) e com a massa enorme de rejeitados a que uma exploração casuística deu origem (cf. Fig. 6).

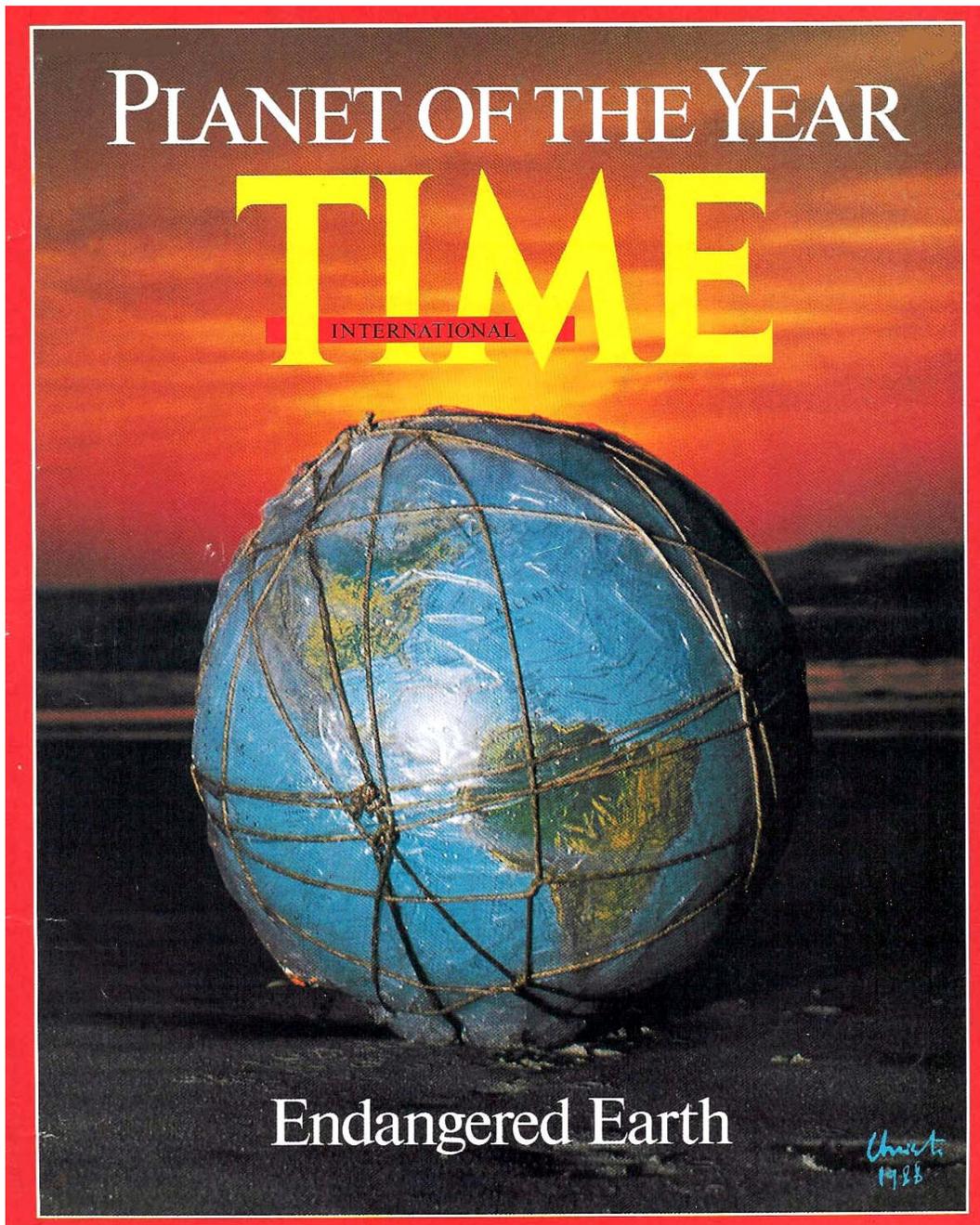


Fig. 5 – A Time dá honras de capa ao ambiente



Fig. 6 – Pedreira na região de Borba-Vila Viçosa

Para esta imagem ‘negativa’ contribuíram, num primeiro tempo, as ‘previsões’ do Clube de Roma (Meadows, 1972), com as suas profecias milenaristas de ‘esgotamento’ próximo de certos recursos. Num segundo tempo, quando a história se encarregou de desmentir tais profecias<sup>13</sup>, o relatório «Limits to Growth» tornou-se um exemplo significativo de como um ‘falso alarme’ pode ter consequências virtuosas.

De facto, a desmaterialização do mundo contemporâneo, a emergência de tecnologias ‘limpas’, o desfazer do antigo dualismo Homem-Natureza e a valorização da sociedade do conhecimento são factores que jogam no sentido da ecologização dos recursos naturais<sup>14</sup>, que deixam de ser considerados como fonte de meras *commodities* inertes e anódinas, cotadas ao peso, para se tornarem ‘entidades-veículo’, constituindo-se em produtos finais (designados por ‘amenidades’ em economia ambiental) ou em produtos intermédios cujo valor depende de ‘atributos especiais’, exigidos por indústrias e serviços de conteúdo cada vez mais simbólico.

É neste contexto que surge o conceito de Geo-Sistema, que migrou da geografia (Rougerie & Beroutchachvili, 1991) como síntese das analogias formais entre diferentes recursos naturais e como representação da sua interacção no espaço do conhecimento, trazido à luz pelas modernas tecnologias da informação/comunicação (Pereira, 1992, 1993, 1994, 1998, 2000). A interacção entre os recursos é modelizada nesse espaço

---

<sup>13</sup> Por exemplo, as reservas de Au esgotar-se-iam em 1981, as de Ag e Hg, em 1985, e as de Zn, em 1990. A questão básica que explica esta ‘falta de previsão’ reside na atitude do Clube de Roma em tomar os recursos como *stocks* estáticos, consumidos a uma taxa fixa, e não como fluxos dirigidos por um desenvolvimento dinâmico não-linear, induzido pela mudança tecnológica que melhorou significativamente os métodos de prospecção e inovou radicalmente os processos de beneficiação, de reciclagem e de reutilização.

<sup>14</sup> Também a Geoestatística se ‘adaptou’ com facilidade às preocupações ‘ecológicas’, criando-se, a partir de 1996, um comité internacional para organizar congressos dedicados explicitamente às aplicações no domínio do Ambiente (GeoENV, Soares *et al.*, 1997)

abstracto, a partir dos atributos que lhes dão valor económico-ambiental para uma certa conjuntura de mercado e de ponderação ecológica. Os Geo-Sistemas, traduzidos no espaço geográfico por um GIS (Sistema de Informação Geográfica), são assim o ‘pano de fundo’ para simulações onde os cenários de preservação/conservação são cotejados com diferentes alternativas de exploração/apropriação, num *trade off* multi-critério. Em face das solicitações do mercado, as ‘ilhas de valor’ reveladas pelos sensores que captam os atributos dos recursos naturais são cruzadas com os *layers* relativos às características que apontam para a conservação da paisagem. Deste cruzamento, feito no SIG, resulta uma decisão em que as operações de remoção selectiva (e robotizada) dos componentes com valor económico deixam praticamente inalterado o ambiente (Fig. 7).

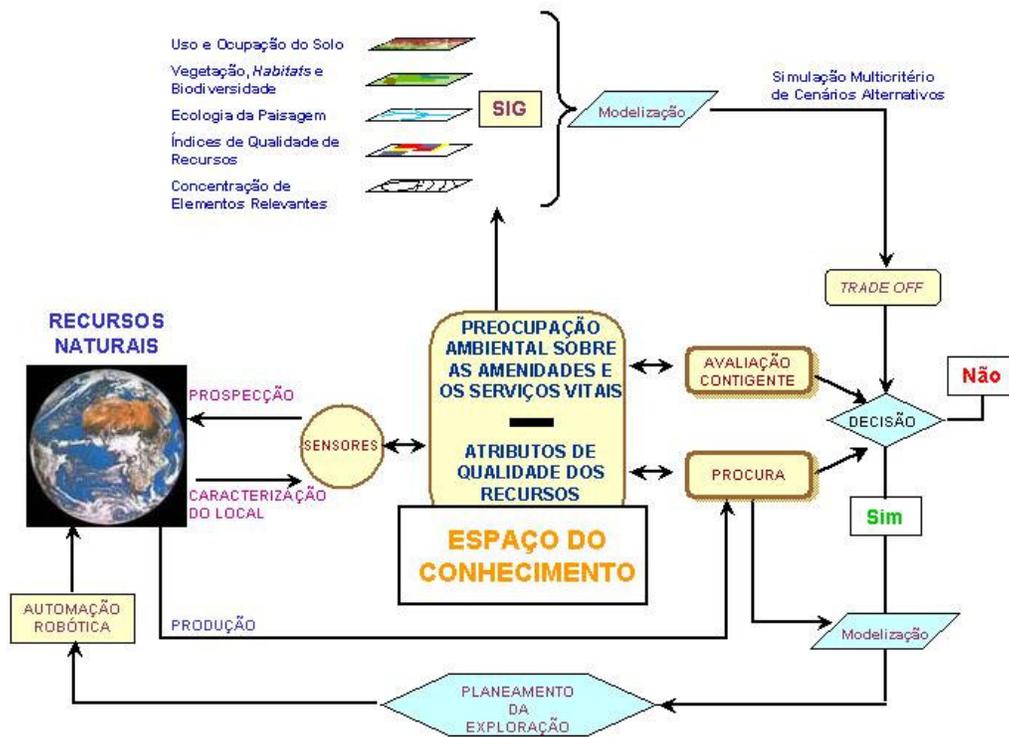


Fig. 7 - Geo-Sistemas (Pereira, 2000)

## Apostilha prospectiva

A história parcial e fragmentária que foi aqui traçada nos seus contornos peculiares concentra resumidamente – nos últimos 40 anos do século XX<sup>15</sup> - as bifurcações estruturais profundas que ocorreram no modo como os georrecursos (e os agentes da sua exploração, os engenheiros de minas) eram ‘representados’ pelas ideologias que se sucediam na sociedade ocidental, desde a revolução industrial aos nossos dias.

Prevalece hoje uma profunda ‘desvalorização’ da antiga ‘arte das minas’, que esteve no cerne da inovação tecnológica nos bons velhos tempos dos engenheiros vitorianos, com a sua ânsia de ‘progresso’, baseado no ‘carvão e no aço’<sup>16</sup>. Pela emergência das preocupações ambientais e dada a desmaterialização específica<sup>17</sup> dos objectos de consumo, chega a falar-se no ‘fim das indústrias extractivas’<sup>18</sup>. E no entanto, fixado o limite da reciclagem em 50%, a sociedade tal como a conhecemos - não querendo desfazer-se da base ‘sólida’<sup>19</sup> onde assenta (infra-estruturas, edifícios, meios de transporte, objectos) - tem de continuar a extrair da Terra os materiais que são injectados num ciclo produtivo cada vez mais curto (estima-se em 30 m<sup>3</sup> por pessoa o volume de matérias primas de origem mineral arrancado anualmente da Terra, nos finais do século XX). Só que essa extracção é feita de um modo cada vez mais ‘selectivo’ e elaborado<sup>20</sup>, tirando partido das tecnologias da informação/comunicação/conhecimento para caracterizar os recursos e organizar o trabalho da sua exploração em fileiras cada vez mais integradas e robotizadas.

---

<sup>15</sup> Nesses 40 anos - em que se dá uma forte internacionalização da economia portuguesa, partindo de uma situação de profundo ‘atraso’ - coexistem no país diferentes estratégias de apropriação dos recursos minerais, desde o modelo colonialista (e colonizado) até ao mais fundamentalista dos conservacionismos, passando pelo desenvolvimentismo nacionalista.

<sup>16</sup> Neste período, importantes desenvolvimentos tecnológicos que tiveram o seu berço na exploração mineira, como a bomba de água, os sistemas de ventilação e a própria locomotiva, migraram para os outros importantes sectores da actividade produtiva, induzindo um *feed-back* positivo que se estendeu até meados do século XX (não esqueçamos que, em 1950, a primeira versão da União Europeia tomou o nome de “Comunidade do Carvão e do Aço” e que, em 1960, 50% da energia mundial era ainda assegurada pelo carvão).

<sup>17</sup> Em cada objecto, o grau de incorporação de matérias primas minerais tende a diminuir drasticamente, embora, globalmente e em volume, o consumo de tais matérias primas continue a aumentar.

<sup>18</sup> A partir dos anos 70 do século XX a curva que dá a evolução do valor das matérias primas usadas nas economias ocidentais torna-se decrescente, deixando de estar correlacionada com o crescimento do PIB, como acontecia desde a revolução industrial.

<sup>19</sup> E essa base ‘sólida’ consiste em materiais, que eram, ainda em 1990, construídos a partir de 90 % de matérias primas ditas ‘tradicionais’, segundo relatório da OCDE.

<sup>20</sup> por exemplo, nos EUA, o aumento da produtividade na indústria do Cobre no período de 1975-1987 cifrou-se em 8.6 % por ano, taxa que só foi excedida para o caso dos semi-condutores.

Pela sua posição singular na interface entre as Geociências - herdeiras da atitude descritiva dos grandes naturalistas do século XIX (Humboldt, Buffon, Lyell) - e as tecnologias mais avançadas no domínio do artificial desenvolvidas no século XX, os Geo-Sistemas estão no cerne de uma nova síntese emergente entre a irreversibilidade do 'material' e a complexidade do 'imaterial'. Nos seus métodos – que harmonizam a teoria e a experiência, atendendo às mudanças de escala -, os Geo-Sistemas usam extensivamente a visualização e a simulação para criar cenários a partir de *case studies* bem ancorados na realidade. Tratam do 'híbrido', do não-linear, do vago, do qualitativo, da 'mistura' entre o determinado e o aleatório, do excepcional e do 'catastrófico', do cambiante e do heterógeno. Mas estes tópicos, que agora entram no *Zeitgeist* pela mão dos físicos e matemáticos 'puros' para explicar o que 'existe', eram silenciosamente formulados pelos engenheiros, na sua prática prosaica de criar o que 'não existe', através de aproximações simplificadoras e coeficientes empíricos que davam conta de alguma sensibilidade à ordem de grandeza das variáveis que traduzem o 'real'. Conjugando fluxos diversos – dinheiro, técnica, recursos materiais e humanos – para conceber um novo objecto ou produto com valor económico, colhendo os seus dados empíricos em condições muito diferentes a partir de distintas fontes, e usando uma multiplicidade de modelos onde a Simulação, a Inteligência Artificial e a intervenção dos peritos (ou de Sistemas Periciais) tem um papel preponderante, as ciências da engenharia que se ocupam dos Geo-Sistemas abrem o caminho a uma problematização fecunda e transversal do universo de incertezas em que nos encontramos no século XXI.

A Geoestatística ou Teoria das Variáveis Regionalizadas foi criada por Georges Matheron no Centre de Fontainebleau da École des Mines de Paris no início dos anos 60 (Matheron, G., 1965). As Variáveis Regionalizadas são grandezas que combinam um aspecto aleatório com uma estrutura espacial, revelada pelo instrumento básico da geoestatística – a função Variograma que modela o modo como a auto-correlação espacial varia com a distância (Fig. I.1).

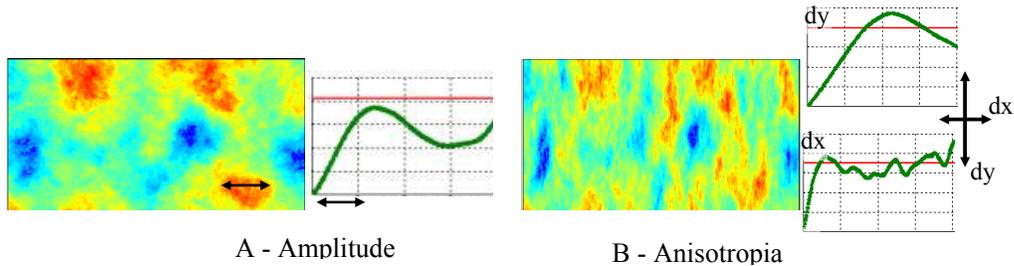


Fig. I.1 – O Variograma como revelador de estruturas espaciais (no caso A, a amplitude do variograma dá a dimensão média das formações; no caso B, dois variogramas diferentes para as direcções  $dy$  e  $dx$  denunciam a presença de uma Anisotropia).

A aplicação prática da geoestatística centrou-se inicialmente na estimação de teores na indústria mineira, com base num método original designado por Krigagem (Fig. I.2). Este método consiste no cálculo do valor mais provável da variável regionalizada num suporte onde ela é desconhecida, á custa de uma ponderação dos valores amostrais. A originalidade da Krigagem resulta do facto de os ponderadores não serem arbitrários, mas dependerem de cada estrutura espacial específica, modelada pelo variograma.

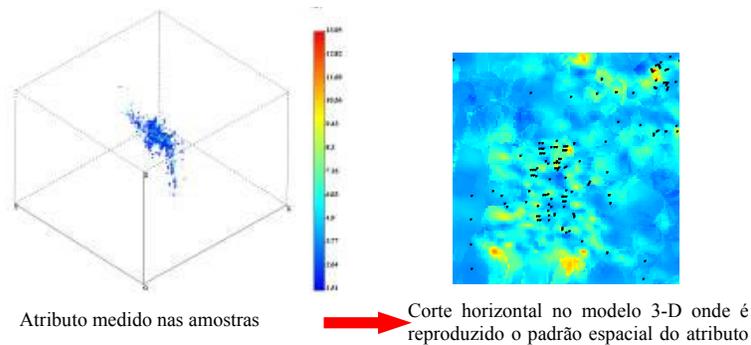


Fig. I.2 - A Krigagem como método de estimação que respeita a estrutura espacial da variável estimada.

A Geoestatística, cuja base teórica caminhou no sentido da simulação condicional (Fig. I.3) nos anos 80 do século XX, generalizou-se a todos os fenómenos com dependência espacial (ou espacio-temporal).

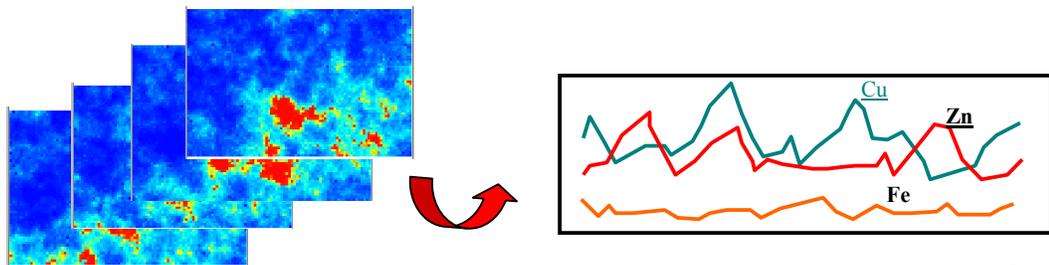


Fig. I.3 - A Simulação Condicional como método gerador de novas realizações do fenómeno regionalizado, que respeitam o histograma, o variograma e os pontos experimentais.

Um marco importante no desenvolvimento da Geoestatística foi a organização do Congresso de Tróia em Setembro de 1992 (Soares, ed., 1993). Nesse Congresso, a disciplina liberta-se de um certo *flavour* algo ‘paróquial’ (muito ligado à escola francesa e às aplicações mineiras) e toma um carácter mais universal, com novos avanços teóricos e com aplicações a todos os domínios modelizáveis por relações estocásticas regionalizadas.

## CAIXA II O *CUT-OFF* como variável de decisão no PLANEAMENTO MINEIRO

A Geoestatística fornece uma distribuição de teores que depende da densidade e localização das amostras e do suporte onde a variável é estimada (o bloco tecnológico, que é a unidade mínima de selecção, para um dado método de exploração). Essa distribuição espacial de teores exprime-se numa curva tonelagem-teor de corte, que é uma função cumulativa da tonelagem dos blocos cujo teor é superior ao teor de corte  $g$  (Fig. II.1), e numa curva teor médio-teor de corte, que dá o valor médio do teor correspondente a esses blocos, bem como os respectivos intervalos de confiança (Fig. II.2).

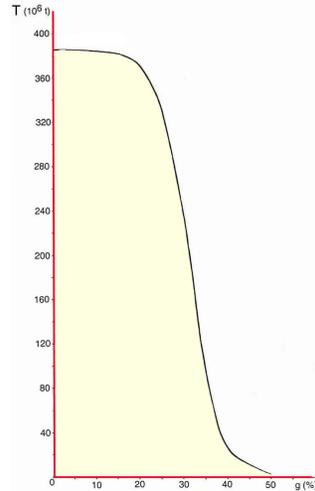


Fig. II.1 – Exemplo de curva tonelagem-teor de corte para um tipo de minério de Fe (Pereira, 1982)

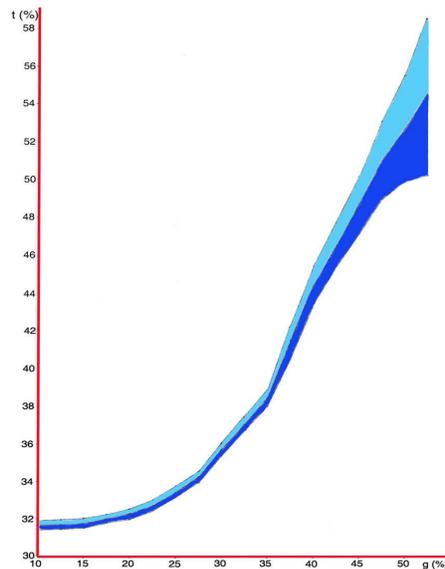


Fig. II.2 – Exemplo de curva teor médio-teor de corte para um tipo de minério de Fe (Pereira, 1982)

Com a noção de *cut-off*, as reservas deixam de ter um valor fixo, mas são parametrizáveis em função de uma variável de decisão, manipulável pelo planeamento mineiro e ajustável a diferentes condições técnico-económicas. Para um certo teor de corte  $g$ , a quantidade de metal total fornecida pela mina é o produto da tonelagem pelo teor médio  $t$  dos blocos cujo teor é superior ao *cut-off* (grandezas lidas nas curvas das Fig. II.1 e II.2).

### CAIXA III MODELOS MINERALÚRGICOS NO PLANEAMENTO MINEIRO

Designa-se por Mineralurgia a disciplina que estuda os processos de concentração de minérios. Estes processos (físicos, químicos, biológicos) transformam, à boca da mina, o minério tal-qual num concentrado com valor de mercado (vd. fig. III.1)



Fig. III.1 – Esquema simplificado do fluxo de material submetido aos processos mineralúrgicos.

Se a mina pudesse ser considerada como independente da lavaria, seria possível ‘otimizar’ a exploração, calculando o teor de corte que minimiza os custos totais, segundo o esquema da Fig. III.2, em que se admite que os custos operacionais da mina crescem com o *cut-off* (visto que a operação é cada vez mais selectiva) e que os custos operacionais da lavaria diminuem com o *cut-off* (visto que a operação é tanto mais ‘fácil’ quanto mais rico for o tal-qual fornecido). Do ponto de vista da integração do planeamento mineiro com a Mineralurgia, é necessário que esta forneça um modelo do tipo caixa negra que relacione o seu *input* (o tal-qual) com o seu *output* (o concentrado). Este ‘operador’ - que depende obviamente das características do *input*, em especial, da média, variância e auto-correlação dos teores de entrada – pode ser expresso por uma função que dá o rendimento em metal (ou a tonelagem de metal no concentrado por tonelada do tal-qual) em função do teor do tal-qual (Fig. III.3). Combinando uma função do tipo da que está representada na Fig. III.3 com as curvas tonelagem-teor de corte e teor médio-teor de corte, dadas pela Geoestatística (vd. CAIXA II), é possível determinar uma função objectivo, que depende da variável técnica de decisão (o teor de corte) e das variáveis económicas (custos de exploração e preços de venda) que correspondem a uma certa conjuntura de mercado.

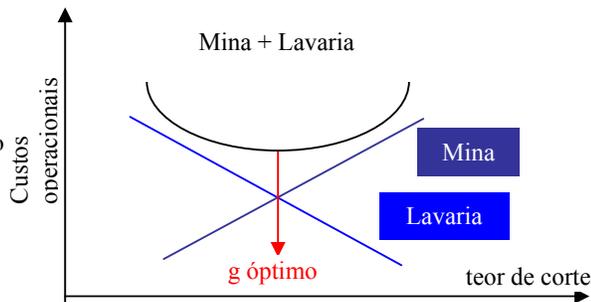


Fig. III.2 – Esquema simplificado para a determinação do teor de corte óptimo, na hipótese da independência entre a mina e a lavaria.

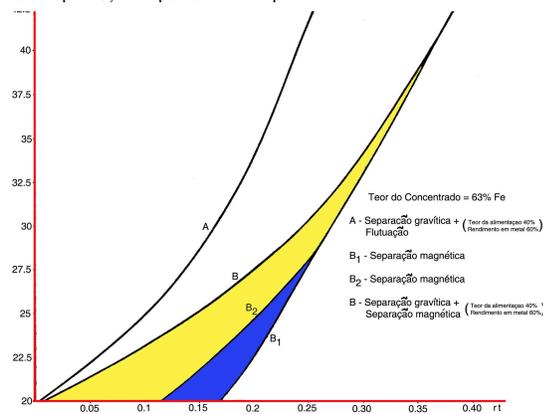


Fig. III.3 – Exemplo de curvas que relacionam o teor do tal-qual ( $t$ ) com a tonelagem de metal no concentrado por tonelada do tal-qual ( $rt$ ) para diferentes tipos de um minério de Fe (Pereira, 1982)

dado por:

$$B = (rtv - c)T, \text{ onde}$$

- $r$  é rendimento em metal,
- $t$  é o teor médio do tal-qual,
- $v$  é o preço de venda da unidade de metal contida no concentrado,
- $c$  é o custo operacional do conjunto (mina+lavaria) por tonelada do tal-qual,
- $T$  é a tonelagem do tal-qual.

Com esta função objectivo, pode otimizar-se a exploração, sob constrangimentos geométricos e de segurança, utilizando os algoritmos da Investigação Operacional e atendendo à interação mina/lavaria.

## Referências

- Alves, H., 2000a – “Terrenos” da arqueologia da península ibérica, *Actas do 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*, Vol. VII, Porto, ADECAP.
- Alves, H., 2000b – Um século de mineração no Alentejo, *História*, 31, Dezembro 2000, p. 50-56
- Cautela, A., 1976 – Trabalhos para o militante da natureza no ambiente português, in *O direito à diferença*, p. 39-59, Afrontamento
- Correia, E., 1945 – A indústria de minas e o fomento e a reorganização industrial, *Técnica*, Junho de 1945, pp. 516-517
- Cortez, L., 1967 – Aplicações da Geoestatística ao estudo estrutural e à avaliação das reservas dos jazigos hematíticos da área de Cassinga, *Relatório para a Companhia Mineira do Lobito*.
- Cortez, L., Pereira, H.G., Bastos, M.H., Figueiredo, J.M., 1978 – Modelo para a optimização empírica de um projecto integrado de aproveitamento de recursos minerais, *Actas do II Congresso da Ordem dos Engenheiros*, Com. 8-26, 14 pp., Porto.
- Cortez, L., Bastos, M.H., Durão, F., 1980 – Étude Experimental sur la flottation des sulphures complexes d’Aljustrel (Portugal), *Revue de l’Industrie Minerale (Les Techniques)*, nº 10/80, pp. 631-635
- CVRM/PPP, 1977 - Reavaliação Geoestatística e amostragem dos jazigos de Moinho e Feitais, Vol I, 213 p., Vol II, 144 p.
- CVRM, 1982 – Reavaliação Geoestatística da reserva, parametrização e configuração do reconhecimento suplementar do *Amas Cuprifère* da jazida de Corvo, *Relatório Técnico para a Somincor*.
- CVRM, 1983 - *Encontros sobre métodos quantitativos aplicados às Variáveis Regionalizadas*, INIC, 303 p.
- CVRM, 1984 – Avaliação Geoestatística das reservas dos jazigos de Corvo, Neves e Graça, *Relatório Técnico para a Somincor*.
- CVRM, 1987 – Tipologia preliminar dos jazigos de Corvo e Graça, *Relatório Técnico para a Somincor*.
- Domingos, J.J., 1978 – *Inteligência ou subserviência nacional?*, 2 vol., Afrontamento
- Durão, F., 1993 – Process simulation in design mode, *Geo-Sistemas* nº 2, Ed. Colibri, p. 75-98.
- GCARMN, 1976 – Análise de pequenos projectos mineiro-metalúrgicos para o aproveitamento de metais básicos (Cu, Pb, Zn) e preciosos (Au e Ag) de jazidas nacionais, 94 p. e 13 ANEXOS
- Madureira, C., 1978 – Teor, Calibre, Libertação: um tratamento estocástico do problema fundamental da Preparação de Minérios, *2º Congresso de Engenheiros de Minas*, Porto
- Madureira, C., Regueira, P., 1972a – Modelos para a simulação de máquinas e circuitos de fragmentação, *II Simpósio sobre as Teorias da Informação e dos Sistemas*, FEUP, Setembro 1972
- Madureira, C., Regueira, P., 1972b – Conceitos fundamentais para um estudo fenomenológico dos processos de fragmentação, *II Simpósio sobre as Teorias da Informação e dos Sistemas*, FEUP, Setembro 1972
- Madureira, C., Leite, M, Cavalheiro, A., Silva, J., 1988 – Size, grade and liberation : a stochastic approach to the fundamental problem of mineral processing, *XIV International Mineral Processing Congress*, Elsevier
- Matheron, G., 1965 – *Les Variables Regionalisées et leur estimation*, Tese de Doutoramento, Paris

- Matheron, G., 1967 – Présentation des Variables Regionalisées, *Técnica* nº 368, pp. 401-413
- Meadows, D.L., 1972 – *Limits to Growth*, Universe Books, 205 p.
- Muge, F., 1982, The Role of Recuperation Functions in the Early Stages of the Mine Planning of an Iron Orebody” – in T.B. Jonhson, R.J.Barnes (eds.), *17th APCOM*, Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., New York, pp. 586-595.
- Muge, F., Pereira, H., Cortez, L., 1975 – Vario-groupal Analysis : a method for structure recognition, *VII Pribram in Mining Science and Technology*, pp. 333-355, 1975
- Muge, F., Pereira, H.G., 1979 - Short Term Planning in Sublevel Stopping Methods, in T.J. O'Neil (ed.), *16th APCOM*, Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., pp. 323-334.
- Muge, F., Cabeçadas, G., 1989 - A Geostatistical Approach to Eutrophication Modelling, in M. Armstrong (ed.), *Geostatistics*, Kluwer, Vol. 1, pp. 445-458.
- Neto, A.M., 1991 – *Industrialização de Angola. Reflexão sobre a experiência da administração portuguesa, 1961-75*, Escher Editores, 108 p.
- Pereira, H.G., 1971 - Aplicações da Geoestatística, *Técnica* nº 407, Abril 1971, pp. 403-416
- Pereira, H.G., 1982 – Aplicação da investigação operacional na avaliação económica dos recursos minerais, *APDIO*, pp. 117-125
- Pereira, H.G, 1992 – Editorial, *Geo-Sistemas* nº1 - Ambiente, pp. 3-8, Ed. Colibri
- Pereira, H.G, 1993 – Editorial, *Geo-sistemas* nº 2 – Processamento de Georrecursos, pp. 3-8, Ed. Colibri
- Pereira, H.G, 1994 – Editorial, *Geo-Sistemas* nº 3 – Geoestatística, pp. 3-15, Ed. Colibri
- Pereira, H.G., 1998 – O lugar dos georrecursos no espaço do conhecimento, *Catálogo do Pavilhão do Território, Expo '98*, pp. 285-291
- Pereira, H.G., 2000 - Geosystems as a conceptual framework for the trade-off between society needs and environmental issues in the extractive industries of the future. *Preprints da workshop Engenharia e Tecnologia 2000*, Ordem dos Engenheiros, Lisboa
- Pereira, H.G., Cortez, L., Muge, F., 1971 – Tratamento geoestatístico de parâmetros mineiros – *Actas do I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica, Madrid-Lisboa*, P-8-1, pp. 133-154
- Pereira, H.G., Cortez, L., Muge, F., 1975 – Vario-groupal analysis as a tool for decision making in a step-by-step drilling program, *13th APCOM*, Clausthal, MIV, p. 1-15
- Pereira, H.G, Muge, F., Cortez, L., 1977 – Aplicações do cálculo automático no planeamento mineiro. *Congresso da Ordem dos Engenheiros*, Tema 8, Comunicação 26
- Pereira, H.G., Royer, J-J., 1979 – Rapport d'étude cartographique de la prospection de la Region de Alentejo (Portugal) – *Sciences de la Terre*, nº 14. pp. 12-16
- Pereira, H.G, Brogueira, M.J., 1988 - Seasonal and spatial variability of the physicochemical characteristics of deep Maranhão Reservoir, south of Portugal, *Arch. Hydrobiol.*, v. 113, n. 4, Stuttgart, pp. 501-518
- Pereira, H.G, Costa, L., 1988 - A indústria extractiva face à mudança tecnológica, *Bol. Minas*, Vol. 25, nº3, julho/Setembro 1998, pp. 267-273
- Pereira, H.G., Soares, A., 1989 - Application of geostatistics to groundfish survey data, in M. Armstrong (ed.), *Geostatistics*, Vol. 1, Kluwer, pp. 459-467

- Pereira, H.G., Silva, A., Ribeiro, L., Guerreiro, L., 1989 - Estimation of reserves at different phases in the history of an oil field, *in* M. Armstrong (ed.), *Geostatistics*, Vol. 2, Kluwer, pp. 543-555
- Pereira, H.G., Silva, A., Soares, A., Ribeiro, L., Carvalho, J., 1990 - Improving reservoir description by using geostatistical and multivariate data analysis techniques, *Math. Geol.*, Vol. 22, n. 8, pp. 979-913
- Pereira, H.G., Soares, A., 1992 - Zoneography of Mineral Resources, *in Use of Microcomputers in Geology*, Ed. D. F. Merriam and H. Kurz, Plenum Press, New York, pp. 1-8.
- Pereira, H.G., Brito, G., Albuquerque, T., Ribeiro, J., 1992 – Estimação geoestatística de um índice de recuperação em pedreiras de mármore, *Geonovas*, nº3, pp. 177-187
- Pereira, H.G., Silva, A., Soares, A., Almeida, J., Guterres, A. 1993 - A new approach for permeability classes simulation in undersampled oil reservoirs, *Geostatistics TROIA '92*, Kluwer, p. 339-350
- Pereira, H.G., Brito, G., Albuquerque, T., Ribeiro, J., 1993 – Geostatistical estimation of a recovery index for marble quarries, *Geostatistics TROIA '92*, Kluwer, pp. 1029-1040
- Ribeiro L., 1984 - Estimating Groundwater Flow Parameters of Miopliocene Aquifer of Lower Tejo, Portugal by Geostatistical Methods, *Sciences de la Terre, série informatique géologique*, nº 20, p. 513-526
- Ribeiro, L., 1989 - Análise Estrutural e Estimação de Variáveis Hidrogeológicas utilizando Métodos Geoestatísticos, *4º Simpósio Luso-Brasileiro sobre Hidráulica e Recursos Hídricos*, LNEC, Lisboa, p. 187-196
- Ribeiro, L., Muge, F., 1988a - Contribuição da Geomatématica na Qualidade Ambiental de Águas Subterrâneas, *1ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente*, vol.2, p.542-549, Aveiro.
- Ribeiro, L., Muge, F., 1988b - A Geostatistical Approach to the Modelling of a Piezometric Field, *Proc. of the 3rd International Geostatistics Congress*, Avignon, Kluwer ed. vol.2, p.651-660.
- Rogado, J., 1959 – O Laboratório de Preparação de Minérios do Instituto Superior Técnico, *Técnica* nº 294, Julho de 1959
- Rogado, J., 1975 – An optimization method for the mining and beneficiation of ore blocks, *International Journal of Mineral Processing*, nº 2, pp. 59-76
- Rogado, J., 1977 – Cálculo de reservas do carvão de Santa Catarina, *Relatório para a Empresa Paulo Abib Engenharia*
- Rogado, J., 1978 – Cálculo de reservas da jazida de Camaquã, *Relatório para a Empresa Paulo Abib Engenharia*.
- Rogado, J., 1988 – Projecto geo-mineiro de Cassinga, *Ingenium*, Maio 1988, pp. 51-66
- Rogado, J., 1989 – A Engenharia de Minas em Portugal no século XX, *Actas do Colóquio “História e Desenvolvimento da Ciência em Portugal no século XX”*, Academia das Ciências, Instituto de Altos Estudos
- Rogado, J., Cortez, I., Torres, J., 1965 - Notícia sobre os diagramas de tratamento do Laboratório de Preparação de Minérios do IST, *Boletim Ordem dos Engenheiros* 10 (1), pp. 115-130
- Rogado, J. Cortez, L., Pereira, H.G., Muge, F., 1976a – Avaliação Geoestatística da reserva mineral e parametrização da jazida de fosfatos Catalão, *Relatório para a Empresa Metais de Goiás*
- Rogado, J., Cortez, L., Pereira, H.G., Muge, F., Sousa, A.J., 1976b – Avaliação geoestatística da reserva da jazida zinco-plumbífera de Morro Agudo, *Relatório para a empresa Mineração de Morro Agudo*

Rogado, J., Pereira, H.G., Muge, F., Santos, N., 1978 – A estrutura da informação de base e o desenvolvimento de recursos naturais, *Comunicação ao SINACT*, Maio de 1978.

Rogado, J. Pereira, H.G, Muge, F., Marques, J.C., 1979 – Sampling of complex orebodies for ore dressing tests, *IX Mining Pribram in Science and Technology*, pp. 324-351

Rogado, Pereira, H.G., Muge, F., Sousa, A.J., Soares, A., Miranda, C., 1984 – Sequential recognition of a sulphide orebody, *18th APCOM*, Londres, pp. 777-782

Rougerie, G., Beroutchachvili, N, 1991 – *Géosystèmes et Paysages*, Armand Colin

Soares, A., 1992 - Geostatistical Estimation of Multi-Phase Structures", *Mathematical Geology*, Vol 24, N-2 , pp. 153-164, 1992.

Soares, A., editor, 1993 – *Geostatistics TRÓIA '92*, 2 volumes, Kluwer

Soares, A., Lourenço, C., 1978 – Contribuição para uma definição tipológica dos Jazigos de Moncorvo, *II Congresso da Ordem dos Engenheiros*.

Soares, A Almeida J., Gonçalves A., 1990 - Simulation of Orebody Geometry: Morphological Characterization of a Stratabound Sulphide Deposit, *XXII APCOM*, vol. II, Berlin, pp. 613-624.

Soares, A., Costa e Silva, A., 1992 - Geostatistical Simulation of the Geometry of a Shale/Limestone Sequence in an Oil Reservoir, *SPE paper # 26233*.

Soares, A., Caupers D., Rodrigues J., Guerreiro L., 1993 - Automatic Blending System at Neves Corvo Mine, *XXIV APCOM*, Montreal, Vol. 2, pp. 27-34

Soares, A. Almeida, A.J., Pereira M.J., Daltaban T.S., 1996 - Upscaling of Permeability :Implementation of a Conditional Approach to Improve the Performance in Flow Simulation, *SPE paper # 35349*

Soares, A., Gómez-Hernandez, J., Froidevaux, R., editores, 1997 – *Geostatistics for Environmental Applications*.

Sousa, A.J., 1983 - Simulação Condicional de uma Jazida de Ferro, *Encontros sobre Métodos Quantitativos Aplicados às Variáveis Regionalizadas*, 173-179, INIC.

Wood, R., 1989 – The Re-kindling of European mining, *Terra Nova*, vol. 1, nº5, pp. 491-494