

J. PINTO PEIXOTO • F. R. DIAS AGUDO • J. TIAGO DE OLIVEIRA • J. CAMPOS FERREIRA
MARGARITA RAMALHO • A. RIBEIRO GOMES • ARMANDO POLICARPO • F. DUARTE SANTOS
J. GOMES FERREIRA • L. A. MENDES VICTOR • MANUEL LARANJEIRA • M. GOMES GUERREIRO
J. CÂNDIDO DE OLIVEIRA • ROBALO CORDEIRO • J. CELESTINO DA COSTA • A. CASTRO CALDAS
BARAHONA FERNANDES • ARANTES E OLIVEIRA • A. F. CARVALHO QUINTELA • A. BARBOSA
DE ABREU • GOUVÊA PORTELA • L. BRAGA CAMPOS • J. J. DELGADO DOMINGOS • A. F.
OLIVEIRA FALCÃO • DOMINGOS MOURA • H. CAMPOS NETO • A. LARCHER BRINCA • J. F.
QUINTINO ROGADO • M. AMARAL FORTES • M. BAPTISTA BRAZ • M. PEREIRA COUTINHO
FERNANDO ESTÁCIO • P. O. PEREIRA SANTOS • A. A. MONTEIRO ALVES • BRITALDO RODRI-
GUES • L. AIRES DE BARROS • MATOS ALVES • M. PORTUGAL FERREIRA • ANTÓNIO RIBEIRO
FRANCISCO GONÇALVES • TELLES ANTUNES • LUÍS ARCHER • J. MONTEZUMA DE CARVALHO
J. FIRMINO MESQUITA • ABÍLIO FERNANDES • J. MALATO-BELIZ • ARSÉNIO PATO DE
CARVALHO • A. XAVIER DA CUNHA • ALLEN DEBUS • J. SIMÕES REDINHA • SEBASTIÃO
J. FORMOSINHO • A. M. A. ROCHA GONSALVES • L. ALMEIDA ALVES • OLIVEIRA CABRAL
FRAÚSTO DA SILVA • JOSÉ V. PINA MARTINS • AMÉRICO COSTA RAMALHO • FERNANDO
REBELO • C. ALBERTO MEDEIROS • ILÍDIO DO AMARAL • MANUEL GARRIDO ARAÚJO
MANUEL VIEGAS GUERREIRO • A. SIMÕES LOPES • A. SOUSA FRANCO • ONÉSIMO T. ALMEIDA
JUSTINO MENDES DE ALMEIDA • FRANCISCO GAMA CAEIRO • RÓMULO DE CARVALHO

HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA EM PORTUGAL NO SÉC. XX

II VOLUME



PUBLICAÇÕES DO II CENTENARIO DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA
LISBOA • 1992

DA ENGENHARIA DE MINAS EM PORTUGAL NO SÉCULO XX

JOSÉ QUINTINO ROGADO *

Summary

The author summarizes some pertinent historic facts since the 18th century and concludes that the know-how and good practice of the Portuguese Mine Engineering was developed to reach the normal levels valid over the Europe.

The mine industry in Portugal and in its old colonies actually never actuated as a «producer-price». On the contrary, its production was and is sold abroad and should count with the volatile market of minerals and of its peculiar strong competitiveness. This was the main reason of the development and improvement of the Portuguese Mine Engineering.

On an epistemological view point, the author explains how the use of mathematical models, namely in the field of Geostatistics and Mathematical Morphology developed in Portugal since the 60's put the Portuguese Mine Engineering in the top of the trend followed up all over the world and simultaneously reinforced the important work done in the fields of Metallogeny and Geological Cartography.

About fourteen projects are mentioned where the Portuguese Mine Engineering gave relevant collaboration, since the 50's, in Portugal, Brasil and Angola.

1. Talvez se possa situar os primórdios da Engenharia de Minas em Portugal no período de 1807 a 1820¹ com a acção de José Bonifácio de Andrada e Silva (que desde 1789 era membro desta Academia). José Bonifácio frequentara, nos fins do século XVIII, os principais centros científicos da Europa e, no dizer de Carlos Teixeira, terá sido o primeiro geólogo e mineralogista português². Por exemplo, juntamente com Carlos

* Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico.

Napion, oficial de Piemonte ao serviço do exército português, José Bonifácio reconheceu o carvão do Cabo Mondego. Em 1861, é nomeado intendente-geral das Minas e Metais do Reino e no desempenho deste cargo coube-lhe fazer o registo das minas, nomeadamente as de ferro. É também responsável pelo lançamento da ferraria da Foz do Alge para onde foi contratado, entre outros estrangeiros, o barão de Eschwege.

Estava-se então, na Europa, em pleno ciclo mineiro do carvão e no primeiro ciclo do ferro. Posteriormente, já no âmbito do ciclo do cobre e do enxofre deve citar-se a múltipla actividade exercida no território português por empresas francesas, belgas, inglesas e mesmo espanholas que trouxeram a sua tecnicidade mineira sem que ocorresse, contudo, a figura do engenheiro de minas entre os intervenientes portugueses no processo.

É com a criação do Instituto Superior Técnico que nasce, em 1911, o primeiro curso de Engenharia de Minas seguido anos depois pela abertura de curso análogo na Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia. Finalmente, nos anos setenta, criou-se novo curso de Engenharia de Minas na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Assim a Engenharia de Minas Portuguesa, neste século, surge ainda com o ciclo mineiro do carvão em plena actividade, e com o primeiro ciclo do ferro em ascensão e desenvolve-se com o ciclo dos sulfuretos complexos da Faixa Piritosa Ibérica e os ciclos sazonais da volframite e da cassiterite. Atravessa o termo do ciclo do carvão e, no início da década de 40, vive o segundo ciclo dos minérios de ferro explorados quase somente nos países periféricos (nomeadamente em Angola) e também o ciclo do petróleo onde a contribuição da Engenharia de Minas portuguesa se concentra principalmente nas jazidas angolanas.

Por outro lado, o surto do mercado das rochas industriais e ornamentais conduziu também a uma activa intervenção da Engenharia de Minas Portuguesa no nosso território, a qual, no que concerne a volume de negócio, tem mesmo excedido o que os minérios manipulam.

Quer dizer, tanto pela constituição do subsolo português, como pelas oportunidades existentes no potencial mineiro das antigas colónias africanas e até no Continente Indiano, a Engenharia de minas portuguesa actuou na realização e condução de numerosos empreendimentos, alguns dos quais de grande porte ou riqueza (não esquecer, além da volframite, o diamante da Lunda e a hematite de Cassinga).

2. Este facto conferiu ao engenheiro de minas, em Portugal, a experiência e a capacidade de inovação comuns à profissão nos outros países avançados da Europa e América, quanto mais não fosse porque tendo sido o desenvolvimento das metalurgias sempre mitigado ou tardio em Portugal, às minas havia que as fornecer no estrangeiro, isto é, adaptar-se às especificações de um mercado onde nunca actuavam na óptica de «producer-price». Circunstância que, entre outras coisas, implicou a utilização de equipamentos «up-to-date» e de métodos, quer na feitura, quer na condução do projecto que acompanhavam a taxa de evolução tecnológica mundial.

Daí, que em alguns projectos de porte importante tenha ocorrido a utilização da Investigação Operacional, da Análise de Dados espacialmente distribuídos e da Geoestatística, desde o início da década de 60, e que, a partir da década de 70, haja sido feito importante esforço na modelação dos processos mineralúrgicos, quer recorrendo à experimentação laboratorial e piloto, quer à experimentação numérica.

3. Lembrando estes relevantes aspectos da modernidade da Engenharia de Minas Portuguesa, sem esquecer a recorrência já frequente à Informática, tanto como único instrumento de cálculo possível, perante a necessária parcimónia de tempo que a evolução industrial impõe, quer como «laboratório» de experimentação numérica de aumentadas possibilidades, certamente com vastos campos ainda a explorar recorrendo, cada vez mais, à Inteligência Artificial e ao Grafismo; referindo ainda, mas de passagem, a contribuição notável dada à Engenharia de Minas, em Portugal, pelos cultores e investigadores da Geoquímica e da Metalogenia, sem esquecer o expressivo progresso a que se assistiu na Geologia Aplicada, nomeadamente na Geologia da Engenharia, e na Cartografia Geológica, a qual deu nítido salto qualitativo, graças à colaboração de plêiade de mineralogistas, petrógrafos, estratigrafistas e geólogos que, neste momento, é de justiça não esquecer e que, na sua maioria, se centraram nas Universidades, nos Serviços Geológicos e no Serviço de Fomento Mineiro, mas também actuando em certas empresas de maior porte; mencionando tudo isto que, como disse, traduz bem aspectos da modernidade da Engenharia de Minas em Portugal gostaria de abordar agora um ponto mais subtil e epistemologicamente muito significativo que *atravessou* a Engenharia de Minas (e não apenas) e que, porventura, justificará reflexão mais aprofundada, noutra oportunidade.

4. Ainda recentemente³ aflorei este problema em sede que me pareceu apropriada: o Congresso 89 da Ordem dos Engenheiros — Tema 4: A formação do Engenheiro de Minas para a década de 90, em Portugal.

O ponto fulcral da minha reflexão acho que foi o que então chamei a *invasão do epistema matemático* nas Ciências Naturais e, portanto, nas Geociências. O tema merece que me alongue um pouco mais sobre esta evolução que marcou a Engenharia de Minas Portuguesa do último quartel deste século, acompanhando movimento inovador corporizado em França e que se foi expandindo por toda a parte.

4.1. Se, situando-nos no início da década de 60, fizéssemos a análise das tentativas decorridas nas duas décadas anteriores com vista a tratar (processar) a rica informação de partida, isto é, os abundantes e variáveis dados brutos dos geólogos e dos mineiros e daí retirássemos conclusões de índole, tanto prática, como teórica, concluiríamos que se atingira um impasse epistemológico: recorria-se à Estatística para *sintetizar* dados do epistema naturalista, obtendo médias espaciais e outros estatísticos, sem dúvida, significativos a certa escala, sempre macroscópica, mas as grandezas assim construídas não eram susceptíveis de se enquadrar realisticamente em modelos quantitativos macroscópicos, como acontecera, por exemplo, na Física Estatística ou na Termodinâmica dos sistemas em equilíbrio, só para citar dois bem sucedidos exemplos. Assim, quando se tratava de quantificar não se dispunha de outro recurso que não fosse o quadro da Física e da Química dos microprocessos supostos subjacentes, geneticamente responsáveis pela extremamente rica variabilidade observável à escala *local* escala esta que, como é óbvio, interessa sobremaneira à Engenharia de Minas. Se nessa escala, recorrêssemos ao epistema naturalista, para adequadamente explicar ou sequer descrever tal realidade exigir-se-ia um discurso de comprimento e duração infinitos. Daí o recurso à «muleta» da Estatística *ingénua*.

Esta situação reduzia consideravelmente o interesse do recurso à Estatística. Por exemplo, a utilização *simplista* de médias para caracterizar os atributos das rochas induzia, com frequência, conceitos não operativos e, quase sempre, confusos, porque se não considerava o *efeito de suporte*; caracterizar as ocorrências do ponto de vista utilitário exprimindo simultaneamente o erro correspondente da estima e a variabilidade caótica dos atributos, tentando, por exemplo, reproduzi-la por

simulação numérica falhavam com o recurso a tal Estatística; etc. Deste modo, o discurso naturalista assim ajudado era inoperante perante a necessidade do rigor da concepção do projecto ou da sua condução controlada que as novas tecnologias exigiam à Engenharia de Minas, já nos anos 60. Tem que reconhecer-se que quanto se oferecia do epistema matemático era quase sempre inoperante e daí a justificada relutância ou hesitação no seu uso generalizado: a Matemática confunde, estraga as minas. Deixemos os estatísticos apenas para a compilação e síntese históricas.

É certo que começara a acentuar-se o recurso à chamada Geomatemática, que tem fornecido novos modelos e algoritmos capazes de satisfazer algumas exigências metodológicas, principalmente da Geologia regional e Metalogenia, e permitindo processar a informação recorrendo à economia da Informática. Mas a renovação e substituição frequente dos modelos geomatemáticos locais tem mostrado a sua natureza *utilitária* e a ausência, de enfoque fenomenológico bem fundamentado do objecto a que os naturalistas descrevem — os atributos das rochas.

Pelo contrário, a utilização de certa classe de Funções Aleatórias, a classe das Variáveis Aleatórias aplicadas em espaços euclídeos bi- ou tridimensionais forneceu inspiração para elaborar o corpo de doutrina capaz de superar este impasse no início da década de 60, e que o seu criador, J. Matheron, denominou de *Geoestatística*.

Talvez não seja muito feliz esta denominação, porque aparentemente, ainda remete demasiado para uma estatística que se limitasse a ser um conjunto de *estatísticos*. Quando, na verdade, se trata da estatística induzida pelas funções aleatórias, as quais são a hipótese constitutiva adoptada para reflectir as inacessíveis grandezas topo-probabilísticas que são os atributos das rochas (teores, granularidade, fracturação, etc). Por isso, seria preferível ter-se adoptado a denominação de Teoria das Funções Topo-aleatórias.

Na verdade, tudo se resume em dizer que tais atributos, que são funções de ponto do espaço euclídeo, ou são FAST (Funções Aleatórias Estacionárias *) ou FAI-K (Funções Aleatórias Intrínsecas de ordem K) e, conseqüentemente, tentar extrair dos dados brutos, que constituem a informação obtida pelo engenheiro de minas e geólogo, ou as covariân-

* Em muitos casos basta que sejam estacionárias de ordem dois.

cias ou os variogramas, ou ainda as covariâncias generalizadas, funções estas necessárias e bastantes à construção das procuradas estimações e filtragens optimais dos atributos das rochas.

Além disso, mais recentemente, surge a chamada Mineralogia quantitativa que, no fundo, é a tentativa feita pelos mineralogistas para devidamente quantificarem a informação, que captam recorrendo a aparelhagem sofisticada, para que possa eficazmente ser utilizada pelo engenheiro de minas e geólogo, etc. Trata-se de mera denominação operacional. Na verdade continua a recorrer-se à análise das texturas e ao reconhecimento das formas, domínios estes tradicionalmente incluídos na área do epistema naturalístico. Mas, ambos estes aspectos para serem utilizáveis na Engenharia de Minas (e não somente) têm de reportar-se aos Conjuntos Aleatórios e à Geometria Integral, cuja aplicação mais avançada é a Morfologia Matemática que também surgiu em França, na década de 60 e deve a sua formulação principalmente a J. Serra.

Já mais recentemente, pode e deve falar-se de uma Morfologia Geoestatística adequada para estimar a *forma* das jazidas minerais e de uma Análise Krigante paralela à Análise Espectral e que permite realizar com vantagem acrescida, por exemplo, a cartografia dos dados de campo da Geoquímica e da Geofísica, e também tem sucesso na eliminação do ruído na detecção de formas e ainda pode contribuir para alargar o âmbito da Análise de Dados.

Prespassando por toda esta nova riqueza conceptual que a Geoestatística e a Morfologia Matemática estruturaram, desde há umas três décadas, surge a utilíssima noção de *suporte* permitindo que a Engenharia de Minas viesse a compreender e a definir correctamente outro conceito de valor prático ineludível — o(s) atributo(s) de rejeição (comummente a classe de equivalências dos teores de corte). Trata-se de noção tão eficaz que sobre ela já se havia construído em vários locais, nomeadamente na República da África do Sul, corpo de doutrina a que se deve justamente chamar de Economia Mineira, embora esteja obviamente incluída na teoria geral da Micro-economia.

É este o salto qualitativo que acoplou ao epistema naturalista o epistema matemático, o qual passa a integrar por direito próprio a descrição e a ontologia das rochas (e não apenas). Notar que se assim se não fizer a informação naturalista não se pode integrar nas especificações actuais próprias da Informática e, por essa via, configurar-se no fluxo da inovação tecnológica em que vivemos.

Não me alongarei mais nesta deambulação sobre a *invasão* do epistema matemático; limitar-me-ei a referir, também de passagem, a preferência, na escola de Stanford, por uma Estatística *iluminada*, que é idêntica à induzida pelas Funções Topo-aleatórias, mas que as desconhece como hipótese constitutiva, antes vê os atributos como uma realidade determinística sobre a qual postula uma série de algoritmos úteis para a sua estimação local ou regional ou para a filtragem do ruído que corrompe a informação que deles se pode obter.

Acrescentarei apenas que, em certas outras áreas aplicadas das Ciências Naturais e das Ciências Biológicas, a Geoestatística e a Morfologia Matemática se utilizam cada vez com mais frequência.

5. Finalmente, para terminar, citarei algumas intervenções da Engenharia de Minas Portuguesa nos últimos 35 anos em empreendimentos que julgo significativos:

1955/54 — Concentração magnética de hematites, Ferrominas (Portugal).

1954 — Flutuação e leixiação de minérios de cobre, E.M.I.L. (Portugal).

1955 — Concentração hidrogravítica de cassiterite, ESTANA (Portugal)

1961 — Ensaíos com líquidos densos e flutuação de fluorites, MOCOSA (República Popular de Moçambique).

1963/64 — Projecto de exploração de mina de salgema e ensaios de concentração de salgema, CLONA (Portugal).

1964 — Projecto da lavaria de cassiterite de Santa Eulália, Pereira Coutinho & Allen, Lda. (Portugal).

1965 — Separação electroestática de sheelite e monazite, Pereira Coutinho & Allen, Lda. (Portugal).

1966 — Ensaíos de concentração de salgema, CLONA (Portugal).

1960/68 — Projecto de Exploração dos minérios eluviais de ferro de Cassinga e concepção e arranque das lavarias de Jamba e Tchamutete, Companhia Mineira do Lobito, SARL (Angola).

1964/66 — Avaliação da reserva de minério secundário de Cassinga, Companhia Mineira do Lobito, SARL (Angola).

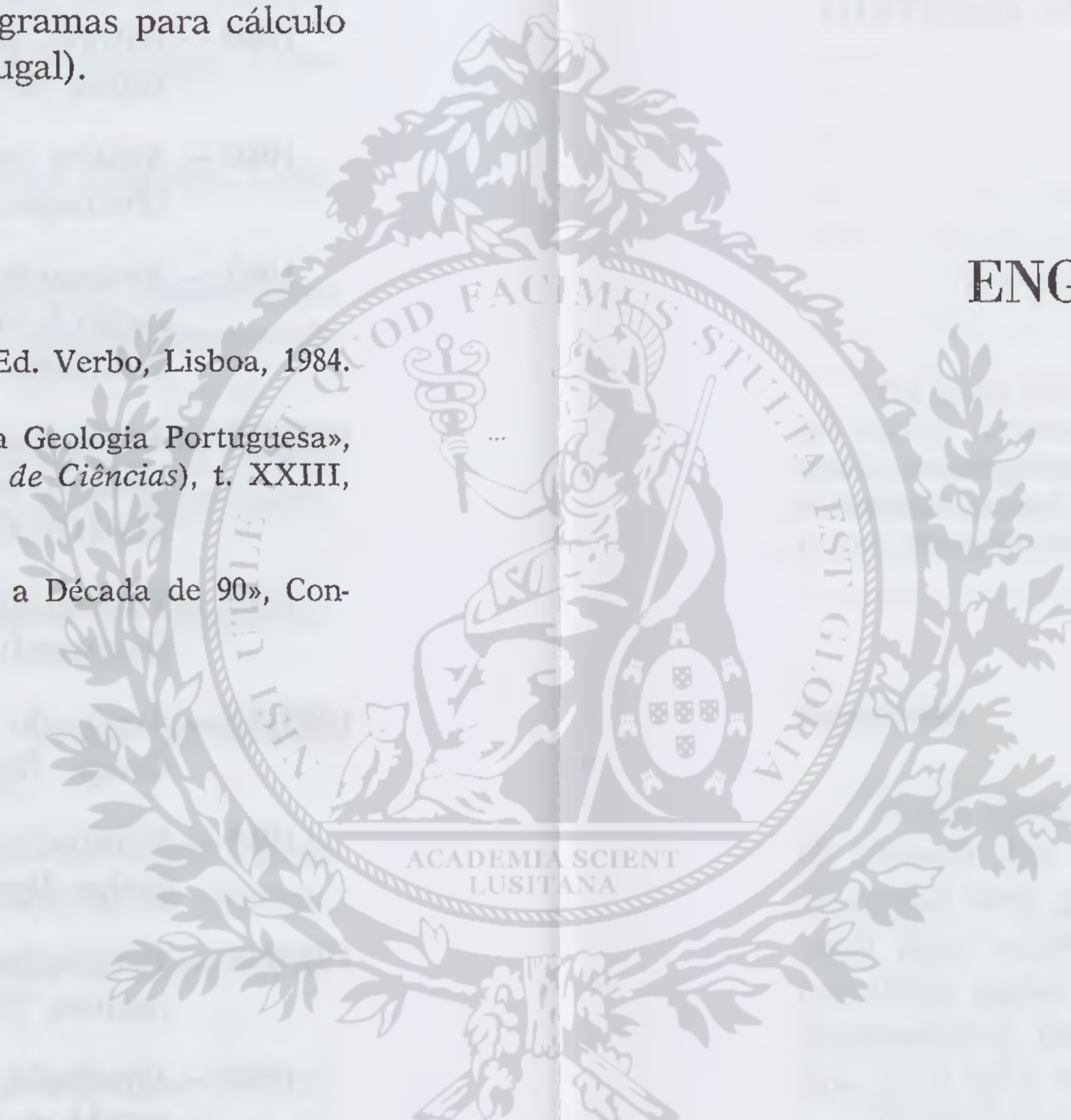
- 1966/71 — Concepção do parque do porto de Moçâmedes e respectiva instalação de amostragem, Companhia Mineira do Lobito, SARL (Angola).
- 1972/73 — Avaliação geoestatística das reservas das jazidas «itabiríticas» de Cassinga, Companhia Mineira do Lobito, SARL (Angola).
- 1973/74 — Análise vario-grupal de jazigos itabiríticos de Cassinga, Companhia Mineira do Lobito, SARL (Angola).
- 1973/74 — Coordenação do projecto da lavaria-piloto de Cassinga, Companhia Mineira do Lobito, SARL (Angola).
- 1973/75 — Concepção e direcção do projecto de exploração, beneficiação e peletização dos minérios itabiríticos de Cassinga, Companhia Mineira do Lobito, SARL (Angola).
- 1976 — Avaliação da reserva mineral e parametrização da jaziga Catalão (Projecto Metago-Fosfatos), Paulo Abib Engenharia, SA (Brasil).
- 1976 — Análise do grupo de trabalho sobre minérios de tungsténio, D.G.M.S.G. (Portugal).
- 1976/77 — Avaliação geoestatística e amostragem das jazigas de Moinho e Feitais, Minas de Aljustrel, SA (Portugal).
- 1976/78 — Avaliação geoestatística da reserva da jazida do Morro Agudo (Sulfuretos Complexos), Paulo Abib Engenharia, SA (Brasil).
- 1977/78 — Assessoria à avaliação geoestatística da jazida de Tapira (Fosfatos), Paulo Abib Engenharia, SA (Brasil).
- 1977/78 — Reavaliação geoestatística e amostragem dos jazigos de Moinho e Feitais, Comissão para o Lançamento do Programa de Aproveitamento Integrado das Pirites Alentejanas.
- 1978 — Assessoria no controle geoestatístico do desmonte da mina de Tapira (Fosfatos), Paulo Abib Engenharia, SA (Brasil).
- 1978 — Assessoria na avaliação geoestatística da jazida Camaquã (Sulfuretos complexos), Paulo Abib Engenharia, SA (Brasil).
- 1978 — Fornecimento de «package» de «software» para planeamento mineiro, Paulo Abib Engenharia, SA (Brasil).

- 1978 — Contribuição para uma Definição Tipológica dos jazigos de Moncorvo, FERROMINAS (Portugal).
- 1979/81 — Constituição do SAVARN - Sistema de Avaliação e Valorização de Recursos Naturais, JNICT (Portugal).
- 1980 — Estudo geológico e avaliação geoestatística da reserva da jazida de linhites de Rio Maior, PROFABRIL (Portugal).
- 1980 — Análise geoestatística do jazigo de Mua, FERROMINAS, EP (Portugal).
- 1982 — Estimção local de reservas. Ensaio metodológico de aplicação à volframite do jazigo da Panasqueira, Beral Tin and Wolfram, Ltd. (Portugal).
- 1982/83 — Avaliação geoestatística da reserva e configuração do reconhecimento suplementar do «Amas Cuprifère» do jazigo de Corvo, SOMINCOR, SA (Portugal).
- 1983 — Variografia preliminar do jazigo da Graça, SOMINCOR, SA (Portugal).
- 1983/84 — Avaliação geoestatística da reserva das jazidas de Corvo, Graça, Neves e Zambujar, SOMINCOR, SA (Portugal).
- 1985 — Simulação morfológica de jazigos minerais. Aplicação a um jazigo lignítico, FERROMINAS, EP (Portugal).
- 1985/86 — Estudo geoestatístico da jazida de estanho de Almendra, Promotora Mineira Portuguesa, Lda. (Portugal).
- 1986 — Tipologia, cálculo geoestatístico de reservas e amostragem da jazida de Gavião, Minas de Aljustrel, SA (Portugal).
- 1986/87 — Apoio informático na elaboração de processamento de dados referentes a poluição, populações piscícolas, etc., Instituto Nacional de Investigação das Pescas (Portugal).
- 1987/88 — Estudo da concentração das areias ilmeníticas de S. Torpes, Promotora Mineira Portuguesa, Lda. (Portugal).
- 1987/89 — CAPUME - «Computer Aided Planning at Underground Mine Exploitation», CEE - DG XII (Bélgica).

- 1987/89 — Planeamento assistido por computador de exploração de minas subterrâneas, JNICT (Portugal).
- 1989 — CADMINA - Elaboração de sistema informático para planeamento de Exploração de Minas.
- 1989 — Elaboração de conjunto integrado de programas para cálculo geoestatístico de reservas, D.G.G.M. (Portugal).

Referências Bibliográficas

1. SERRÃO, J. Veríssimo, *História de Portugal*, vol. VII, Ed. Verbo, Lisboa, 1984.
2. TEIXEIRA, C., «A Academia das Ciências de Lisboa e a Geologia Portuguesa», *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa (Classe de Ciências)*, t. XXIII, Lisboa, 1980.
3. ROGADO, J.R., «Os Cursos de Minas Portugueses para a Década de 90», Congresso 89 da Ordem dos Engenheiros, Coimbra, 1989.



ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE LISBOA

ENGENHARIA DOS MATERIAIS