

# INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL

PUBLICAÇÃO DA:



Associação Portuguesa para o Desenvolvimento  
da Investigação Operacional.

Volume 2  
Número 1  
Março 1982

# INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL

Propriedade:

**APDIO — Associação Portuguesa para o Desenvolvimento  
da Investigação Operacional**

## ESTATUTO EDITORIAL

*«Investigação Operacional», órgão oficial da APDIO cobre uma larga gama de assuntos reflectindo assim a grande diversidade de profissões e interesses dos sócios da Associação, bem como as muitas áreas de aplicação da I.O. O seu objectivo primordial é promover a aplicação do método e técnicas da I.O. aos problemas da Sociedade Portuguesa.*

*A publicação acolhe contribuições nos campos da metodologia, técnicas, e áreas de aplicação e software de I.O. sendo no entanto dada prioridade a bons casos de estudo de carácter iminentemente prático.*

*Serão também publicadas notícias da APDIO bem como informações sobre acontecimentos nacionais e internacionais relacionadas com a I.O.*

**Distribuição gratuita aos sócios da APDIO.**

Aparece nesta edição, pela primeira vez, a constituição da Comissão Editorial, decidida em reunião do Conselho Nacional de 28/1/82, com que o editor se congratula certo de que o seu conselho e colaboração contribuirão decisivamente para o êxito desta revista. O Prof. Fernando de Jesus, em nota inserida na secção de reflexão e debate, traduz para todos o espírito que presidiu à elaboração da referida comissão cujas atribuições são aí enunciadas.

É também com agrado que informo que o processo burocrático de registo da revista foi coroado de êxito tendo "Investigação Operacional", a partir deste número, a sua existência legalizada e, possuindo a APDIO direito ao título da publicação.

Este número introduz duas secções que gostaríamos de continuar e expandir em números futuros. Assim, o artigo, "Gestão de Stocks : Contributos para o Levantamento da sua Aplicação em Portugal", pretende servir de reflexão e debate sobre o nível de aplicações da I.O. em Portugal nesse campo. Efectivamente sendo um dos objectivos da APDIO fazer o levantamento das aplicações correntes e potenciais da I.O. aos problemas das empresas e administração pública portuguesas, *Investigação Operacional* está em situação privilegiada para levar a cabo essa missão. Porque é difícil atacar o problema globalmente decidimos iniciar esse levantamento numa forma sectorial para colher informação e experiência que nos permitam fazer um levantamento global. A área da gestão de stocks pareceu-nos apropriada por ser :

- i) Uma área bem definida que corresponde a uma divisão funcional das empresas
- ii) Preocupação actual de muitos gestores.
- iii) Ao nível das decisões operacionais tradicionalmente uma das primeiras áreas em que a I.O. é introduzida nas empresas.

Assim, pedimos-lhe que entre em contacto connosco (se lhe custa escrever, telefone) e nos dê a conhecer a situação na sua empresa ou serviço, fornecendo sugestões sobre a forma mais apropriada de fazer o referido levantamento.

A secção de computação que hoje iniciamos não necessita de justificação já que o computador é actualmente ferramenta essencial de todo o investigador operacional. A discussão das suas potencialidades introduzida pelo Prof. Guimarães Rodrigues, uma das poucas pessoas em Portugal com um profundo conhecimento da I.O. e das ciências da computação, futuros debates sobre a adequabilidade de determinada configuração e capacidade a determinada situação bem como a apresentação de software específico serão sem dúvida de interesse para muitos. Assim esperamos que o método de optimização apresentado neste número possa vir a resolver muitos e variados problemas.

Por último uma especial menção para a interessante nota histórica que o Comandante Cervaens Rodrigues amavelmente se prontificou a escrever e que introduzirá a uns e lembrará a outros os trâmites do breve passado da I.O.. Não é por acaso que as aplicações militares se sucedem mas antes porque a defesa continua a ser o maior cliente da I.O., como o Cte. Cervaens Rodrigues frequente lembra aos restantes colegas civis nas reuniões da Comissão Directiva.

*Teseel Almeida*

# INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL

Volume 2, Nº 1

Março 1982

PUBLICAÇÃO QUADRIMESTRAL

Número avulso : 200\$00

Registo de Imprensa Nº 108335

DIRECTOR : *ISABEL MARIA HALL THEMIDO*

COMISSÃO EDITORIAL

PRESIDENTE : *LUIS A. VALADARES TAVARES*

COMISSÃO DIRECTIVA DA APDIO

- . Presidente - *Luis A. Valadares Tavares*
- . Vice-Presidente - *Isabel Maria Hall Themido*
- . Vice-Presidente - *José António Cervaens Rodrigues*
- . Secretário - *João Luis César das Neves*
- . Tesoureiro - *Luis A. Tadeu dos Santos Almeida*

*Dactilografia*

*Maria Luisa Saraiva*

*Impressão*

*João de Matos Impressores*  
*Av. de Álvares Cabral, 1A*  
*1200 LISBOA*

---

- Esta revista é distribuída gratuitamente aos sócios da APDIO. As informações sobre inscrições na associação assim como a correspondência para a revista devem ser enviadas para a sede da APDIO.



---

## • DO PRESIDENTE DA IFORS •

---

It is with great pleasure that I accept your President's invitation to tell you something of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS) of which I have the honour to be the current President.

In 1957 at Oxford in the United Kingdom the British, French, and United States OR Societies held a first international conference to which they invited scientists from all over the world who had an interest in O.R. These enthusiasts felt that the existing societies should encourage and help other national societies to be formed and founded IFORS as a Federation of national OR societies for this purpose. There are today over 30 member societies and soon we hope officially to be welcoming APDIO as our newest member. Within IFORS, the European Societies have formed a regional grouping called EURO which is very active in promoting conferences and study groups on particular work and problem areas, and in publishing a very successful journal EJOR.

It has been the policy that IFORS should work mainly through the member societies and not duplicate what can best be done by them. The administration has been kept to the minimum and most of our work is done by the exchange of letters.

Every three years IFORS holds a Conference, the latest in Hamburg in 1981. The host society acts as IFORS' agent in arranging the Conference and IFORS appoints an international Programme Committee to arrange and vet all the papers and other contributions. Each society is invited to sponsor at least one major paper. The presented papers are published subsequently

---

## ● DO PRESIDENTE DA IFORS ●

---

in printed proceedings, the 1981 Hamburg Proceedings are now available from our North Holland publishers under the title "OR 81". This is a volume that should be available in all OR Libraries. All IFORS societies' members are invited to contribute to these triennial conferences and the President specially invites delegates from countries only just starting OR so that they may be encouraged to further develop the activity. For this reason we attempt by means of a planned social activity to engender a forum for informal discussion of OR practice and theory amongst enthusiasts from as many countries as possible.

Our next triennial conference will be in Buenos Aires in 1984 when we shall hope to have an official contribution from Portugal.

In between these major events we encourage smaller international conferences dedicated to a particular subject. For example in 1979 we had a conference devoted to Agriculture and Water Resources which was organised for us in Tel Aviv by the Israeli Society, and in 1980 the Indian Society organised one in Delhi on Transportation Problems. With our encouragement and sponsorship the Brazilian Society is holding a conference to which they are inviting all South Americans to join in Rio de Janeiro in 1982. I think contributions to this conference from Portugal would be particularly welcomed.

We frequently join with our sister federations, especially the International Federation of Information Processing Societies (IFIPS) and the International Federation of Automatic Control Societies (IFAC), in joint sponsorship of conferences and working seminars on subjects of mutual interest.

---

● DO PRESIDENTE DA IFORS ●

---

In recent years we have formed an Education Committee of IFORS to discuss the problems of getting OR started in a practical way and of teaching OR in universities. Most of the work of this Committee is done by correspondence and its membership is large and spread very wide internationally. We are actively investigating how we can use our members' experience to encourage OR in the less developed Third World. Our major problem is one of finance and we hope in due course to arrange sponsorship for this by one of the agencies of the United Nations.

For many years our Publications Committee has arranged the Proceedings of Conferences and the publication of the "International Abstracts of Operational Research" (IAOR). I hope that your members will take copies of this excellent journal.

In order to keep us all in touch with one another our most excellent Secretary, Mrs. Helle Welling from Denmark, regularly prepares the IFORS Newsletter which is sent to all member societies who are asked then to copy it to their members.

I hope soon to be welcoming the participation of APDIO members in all these activities. I wish your new Society and its Journal every success on my own behalf and that of all IFORS' members.

*R. H. Colcutt*  
-President IFORS-

**NOTA SOBRE O ESPÍRITO DA CONSTITUIÇÃO****DA COMISSÃO EDITORIAL DA REVISTA**

Constituindo a I.O. um tipo especial de investigação aplicada às operações das organizações, em que as características de multidisciplinaridade e visão sistêmica lhe conferem fisionomia própria no amplo domínio das ciências da gestão, entendeu-se conveniente que a Comissão Editorial da revista reflectisse essa realidade.

Por um lado, atendendo ao facto de que a I.O. tem por objectivo a resolução de certos tipos de problemas de gestão que surgem no seio das organizações e às características da revista da APDIO, em que se destaca a prioridade conferida à publicação de casos de estudo de natureza eminentemente prática, é aconselhável que a Comissão Editorial integre profissionais de reconhecida experiência e competência em diversas áreas gestivas ; por outro lado, a importância de que se reveste o ensino e a investigação no que concerne aos métodos, às técnicas e à prática da I.O. justifica também a inclusão na Comissão Editorial de diversos docentes universitários, em adequada proporção, por forma a garantir o cumprimento de todos os objectivos que foram estabelecidos para a revista.

Refira-se, por último, que a Comissão Editorial agora constituída é considerada aberta e, portanto, permanentemente sujeita às alterações que a prática e o próprio desenvolvimento da I.O. no nosso País vierem a aconselhar.

*Fernando de Jesus*





XX

RESUMO DA CONTABILIDADE DA APDIO EM 3/12/81

As receitas da APDIO resultantes do pagamento das quotas e jórias dos sócios foram, até ao dia 3/12/81 :

|                    |   |                          |
|--------------------|---|--------------------------|
| 240 000\$00        | - | de 12 sócios colectivos  |
| <u>170 000\$00</u> | - | de 95 sócios individuais |
| 410 200\$00        | - | total                    |

Assim até esta data o número de sócios da APDIO era de 107, dos quais 12 colectivos.

Entretanto, o número de sócios aumentou significativamente - cerca de três dezenas - muitos dos quais motivados pela próxima realização do Congresso.

As despesas realizadas neste período tiveram a seguinte distribuição :

|                  |   |                                  |
|------------------|---|----------------------------------|
| 6 080\$00        | - | constituição da APDIO            |
| 104 490\$50      | - | secretariado                     |
| 128 660\$00      | - | tipografia + anúncios divulgação |
| <u>4 828\$00</u> | - | representação                    |
| 244 058\$90      | - | total                            |

Registava-se assim nesta data um saldo de 166 141\$40 (cento e sessenta e seis mil cento e quarenta e um escudos e quarenta centavos).

*Luis Tadeu*

XX

# I.F.O.R.S.

INTERNATIONAL FEDERATION OF OPERATIONAL RESEARCH SOCIETIES  
FÉDÉRATION INTERNATIONALE DES SOCIÉTÉS DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

RHC/RVA

15th January 1982

**SECRETARIAT:**  
c/o Mrs. Helle Welling  
IMSOR, Bldg. 349  
Technical University of Denmark  
2800 Lyngby  
Denmark  
(Tel: 02 - 88 14 33)

Professor Luis Valadares Tavares  
President of APDIO  
APDIO - CESUR - 1ST  
Avenida Rovisco Pais  
1000 Lisboa  
Portugal

**PRESIDENT:**  
Professor Roger H. Collcutt  
Manchester Business School  
Booth Street West  
Manchester M15 6PB  
England  
(Tel: 061-273-8228)

**Immediate Past President  
and Chairman  
EXTERNAL AFFAIRS Comm.:**  
Dr. David B. Hertz  
Moore, Berson, Lifflander &  
Mehwinney  
555 Madison Avenue  
New York, New York 10022,  
U.S.A.  
(Tel: 212-750-9795)

**VICE PRESIDENT:**  
Professor Ioánnis A. Pappás  
National Technical University  
2815 Oikotrovou 42  
Athens 147  
Greece  
(Tel: 01-361-1955)

**VICE PRESIDENT:**  
Dr. Ronda M. Potter  
University of Adelaide  
Department of Applied  
Mathematics  
Box 458, G.P.O.,  
Adelaide, 5001  
Australia  
(Tel: 08-223-4333)

**VICE PRESIDENT:**  
Prof. Dr.  
Hans-Jürgen Zimmermann  
RWTH Aachen  
Lehrstuhl für  
Unternehmensforschung  
Templergraben 55, D-5100 Aachen  
Federal Republic of Germany  
(Tel: 0241 / 69-61-82  
Telex: 08 32704)

**Hon. TREASURER:**  
Dr. Jack R. Borsting  
Assistant Secretary of Defense  
(Comptroller)  
Department of Defense  
Washington, DC 20301  
U.S.A.

**Chairman  
EDUCATION Comm.:**  
Dr. Arthur A. Brown  
Garrett Park  
Box 325  
Maryland 20766  
U.S.A.  
(Tel: 301-949-1757)

**Chairman  
PUBLICATIONS Comm.:**  
Prof. Dr. J. P. Brans  
University of Brussels  
Plaineaan 2  
B-1050 Brussels  
Belgium  
(Tel: 02/648.65.40 ext.  
1070 or 1048)

Dear Professor Tavares,

Thank you very much for sending me a copy of the initial number of your journal "Investigação Operacional" which I think does great credit to you. I remember the original version of the Journal of the Operational Research Society in the U.K. which was produced by my offices in the Steel Industry in the early 1950's. It too had a very similar size and format to your new publication. I hope that you and your colleagues, the Editorial Board and the Editor will prove to have the same success with this Journal as have my friends and colleagues with the Operational Research Society Journal here.

Thank you very much for again asking me to visit Lisbon but unfortunately at the time of your conference, March 22-24, I will be in Buenos Aires looking at the conference site and arrangements for our meeting in 1984. I do hope one day to be able to come to your country but I am afraid at the moment I am unable to do so.

I am enclosing a short note for your journal as you asked and I hope it will be suitable for publication. I am also sending you a notice of the 1982 Brazilian South American Conference in case you have not received one.

Best wishes for the New Year,

Yours sincerely,



R. H. Collcutt

Encls.









## A INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL: DOS PRIMÓDIOS À ACTUALIDADE

J.A. CERVAENS RODRIGUES

Centro de Investigação Operacional da Armada (CIOA). Estado  
Maior da Armada, Rua do Arsenal, Lisboa, Portugal

### R e s u m o

*Embora as raízes da I.O. se percam na origem dos tempos, foi na Inglaterra, durante a segunda Guerra Mundial, que se viria a assumir como actividade autónoma e bem diferenciada. Terminado o conflito e em face dos êxitos que lhe foram atribuídos, a sua aplicação estendeu-se a actividades pacíficas como ao comércio, à indústria e à administração pública. Beneficiando da expansão industrial do pós guerra e da explosão informática da década de sessenta conheceu um rápido crescimento e accitação aquém e além Atlântico. Presentemente alguns autores assinalam uma crise de estagnação, mas é de crer que se trate de uma pausa para readaptação às condições sempre em evolução da sociedade actual.*

## 1 - INTRODUÇÃO

Procurar identificar com alguma precisão o início da aplicação do método científico à tomada de decisão não é tarefa fácil. Pode dizer-se que desde os tempos mais remotos nos chegaram referências a aplicações científicas no âmbito militar. Assim teria ocorrido de acordo com a tradição, cerca de 200 A.C., quando Arquimedes foi consultado sobre a melhor maneira de quebrar o cerco naval imposto pelos romanos à cidade de Siracusa. Intervenções semelhantes sucederam-se ao longo dos séculos, mas sempre que cientistas e engenheiros eram solicitados a participar na solução de problemas militares faziam-no sobretudo para inventar novos tipos de armamento e não para intervir directamente no processo da guerra.

O conceito de Investigação Operacional surgiu durante a Primeira Guerra Mundial. Foi em 1916 que Frederick W. Lanchester, um engenheiro aeronáutico britânico, publicou em Londres o seu estudo "Aircraft in Warfare ; The dawn of the fourth arm", onde relacionava o resultado de uma batalha com a força numérica relativa dos combatentes e o respectivo poder de fogo. O seu modelo matemático era baseado na ideia de que o poder global das forças em confronto é proporcional ao quadrado dos seus efectivos.

O modelo de Lanchester algo modificado havia de ser validado quando aplicado a certas situações da II Guerra Mundial, como a Campanha do Pacífico e alguns combates de blindados na Europa e Norte de África. Com alguns aperfeiçoamentos que têm em vista reflectir um maior realismo, o modelo constitui ainda a principal base teórica utilizada para a avaliação do desgaste sofrido pelas forças em confronto em Jogos de Guerra.

A Primeira Guerra Mundial terminou sem que os Comandos Militares se tivessem apercebido das vantagens que a intervenção dos cientistas lhes poderia trazer. O período inter-guerras também não contribuiria para uma alteração radical do estado de coisas, muito embora se tenha verificado um incremento da aplicação de operações e de análises estatísticas aos exercícios militares. Seria durante a Segunda Guerra que os cientistas seriam chamados a uma intervenção mais directa e segundo um conceito diferente. Em consequência do êxito a Investigação Operacional estender-se-ia no pós-guerra ao sector civil e em poucos anos viria a ganhar individualidade e a constituir-se em ramo autónomo da Ciência com a sua técnica e metodologia próprias.

## 2 - OS PRECURSORES

Com o advento da industrialização na segunda metade do século XIX sentiu-se a breve passo a necessidade de planear e de gerir a produção de uma forma racional. Notabilizou-se neste campo o americano Frederick W. Taylor (1856-1915) que teve a ideia de criar grupos dentro das organizações com a tarefa de analisar o seu comportamento. Estes grupos eram em vários casos constituídos por elementos com formação diferente, antecipando assim em largos anos um procedimento que a Investigação Operacional iria adoptar e consagrar. Mais tarde, já na década de 1920-30, Horace Levinson, um astrónomo, aplicou princípios matemáticos a problemas comerciais, obtendo êxitos assinaláveis pelas economias que conseguiu.

Até esta época, a metodologia que foi usada na tentativa de solução de problemas consistiu quase exclusivamente na aplicação de modelos matemáticos. Pode dizer-se que as origens do problema que hoje designamos por

programação linear, isto é, a afectação de recursos escassos a actividades concorrentes para a satisfação de um objectivo determinado, remonta já a 1760 quando Quesnay tentou relacionar as funções dos proprietários, dos camponeses e dos artesãos no seu "Tableau Economique". Estes estudos seriam retomados em finais do século XIX por Walras que apresentou o primeiro modelo linear conhecido. Modelos mais avançados seriam apresentados por Von Neumann em 1937 e Kantorovich em 1939. Na mesma linha viriam a situar-se os estudos do professor de Harvard, Wassily Leontieff que ao procurar explicar as causas da grande depressão de 1930, viria a desenvolver o extenso modelo que relaciona entre si as indústrias dos Estados Unidos, calculando os seus coeficientes de interdependência. Esse trabalho, hoje conhecido por matrizes interrelacionais da indústria ou mais vulgarmente por matrizes entrada/saída, viria a merecer-lhe a atribuição do Prémio Nobel da Economia em 1973.

Numa outra linha se situam os modelos dinâmicos desenvolvidos por Markov (1856-1922). Também merecem especial referência os trabalhos do matemático dinamarquês Erlang, que em 1917, quando se encontrava ao serviço da Companhia de Telefones de Copenhague, publicou um Trabalho intitulado "Soluções de alguns problemas de Teoria de Probabilidades com relevância para a comutação telefónica automática". Neste estudo foram apresentadas pela primeira vez algumas das fórmulas mais conhecidas de problemas de filas de espera, de cuja teoria Erlang é reconhecido como pioneiro. Seriam ainda problemas relacionados com o estabelecimento de ligações telefónicas que viriam a estar na base dos estudos levados a cabo nos Laboratórios da Bell, em 1924, por Shewart, Dodge e Romig que aplicaram princípios de inferência estatística ao desenvolvimento de técnicas de controle de qualidade de que resultariam as hoje vulgarmente usadas tabelas de amostragem estatística.

Também T.C. Fry, outro engenheiro da Bell viria a dar importante contributo à teoria das filas de espera quando em 1928 proferiu uma importante série de palestras sobre este assunto.

Seja por último referido que o primeiro modelo de stocks havia já sido estabelecido em 1915 por F. W. Harris sob a designação de Quantidade Ótima de Encomenda (EQO), a que se seguiram trabalhos complementares de de Wilson, Owen, etc. (1)

### 3 - A SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

O deflagrar da Segunda Guerra Mundial viria a contribuir decisivamente para que os esforços atrás referidos, até então descoordenados, viessem a convergir por forma a constituir um ramo da Ciência autónomo e bem caracterizado. Coube ao Reino Unido o mérito de em situação difícil ter solicitado o contributo da Ciência para uma melhor utilização dos recursos disponíveis à condução da guerra. Como foi já referido o contributo da Ciência Pura à arte militar havia sido dirigido no sentido da descoberta ou aperfeiçoamento de novas armas e assim haviam surgido a metralhadora, o submarino, o avião. Agora porém tratava-se de descobrir a melhor combinação e estratégia que permitisse tirar o maior partido da sua utilização.

Assim, em situação de evidente escassez de recursos e sob uma forte ameaça externa constituir-se-ia nas Forças Armadas Inglesas logo em 1939 o primeiro núcleo de investigadores operacionais.

Entre os cientistas que foram chamados a dar o seu concurso ao desenvolvimento das operações distinguiu-se o Professor P.M. Blackett da Universidade de Manchester, antigo oficial da Marinha e Prémio Nobel. O grupo

de colaboradores de que se rodeou e que receberia o elucidativo nome de "Círculo Blackett" incluía indivíduos com diferentes formações : matemáticos, fisiólogos, astrofísicos, etc... Esta heterogeneidade na composição do grupo revelar-se-ia altamente positiva durante o desenvolvimento dos trabalhos a que se dedicaram. Entre estes devem ser especialmente mencionados a melhoria do sistema de aviso e detecção radar da costa inglesa, a defesa anti-aérea do sul da Inglaterra, a guerra anti-submarina, a determinação da dimensão óptima dos combóios e a condução dos ataques aéreos contra a Alemanha. (2)

A experiência inglesa não tardaria a ser seguida além atlântico, sobretudo após a entrada no conflito dos Estados Unidos. Em Outubro de 1942 o Comando da 8.<sup>a</sup> Força Aérea recomendava que os comandos subordinados deveriam constituir "Grupos de Análise Operacional". Quase simultaneamente a Marinha Americana procedia de forma semelhante confiando ao professor Philip Morse do MIT a direcção dos trabalhos respectivos. Na preparação e orientação da Campanha do Pacífico participaram já activamente os investigadores operacionais militares americanos. Foi a sua preocupação desde o primeiro momento proceder à recolha sistemática de dados seguida de uma análise tão profunda quanto possível tendo em vista a aplicação dos ensinamentos às fases subsequentes da guerra.

#### 4 - O PÓS-GUERRA - CONSOLIDAÇÃO E EXPANSÃO

O fim do conflito não provocou a interrupção das actividades de Investigação Operacional (I.O.). Os resultados haviam sido considerados como suficientemente positivos para manter vivo o interesse dos comandos militares aliados que atribuíam em grande parte o colapso das forças do Eixo à falta de apoio e atenção que as suas chefias haviam dispensado aos respecti-

vos cientistas. Com o fim das operações chegou pois a hora de proceder a uma análise mais cuidadosa e sistemática dos dados recolhidos do que a que fora possível durante os anos anteriores. Assim nos Estados Unidos foi criado o Grupo de Avaliação Operacional da Marinha sob a direcção de Philip Morse da Divisão de Análise Operacional da Força Aérea e do Gabinete de Investigação Operacional do Exército. Começou também por esta época a colaboração das Forças Armadas, quer com organismos universitários, quer com entidades privadas.

No sector civil, a explosão industrial que se seguiu à guerra reclamava uma nova organização e planeamento a nível da empresa. A estrutura privada e altamente competitiva da indústria americana levou a que o desenvolvimento da I.O. se processasse em moldes diferentes dos Europeus, particularmente da Inglaterra. Neste país as nacionalizações de alguns sectores ocorridas imediatamente após o termo do conflito, permitiram a aplicação de certas técnicas de administração às indústrias do ferro e do aço, do carvão, dos transportes, dos têxteis, etc..., quer tomadas na sua totalidade, quer parcialmente. Por outro lado, nos Estados Unidos o arranque foi mais lento e foi só em meados da década de 50 que a desconfiança com que os empresários olhavam os cientistas começou a ser vencida e que nas firmas mais importantes foram criados os primeiros departamentos de Investigação Operacional (5). Neste país foi também adoptado o termo Ciência de Gestão (Management Science) com significado equivalente ao de I.O.

Por outro lado, o empenhamento dos cientistas no estudo e na sistematização dos ensinamentos do passado permitiu que se verificasse um progresso espectacular nas técnicas disponíveis. O exemplo mais notável foi a descoberta por George Dantzig em 1947 do método Simplex para a solução de

problemas de programação linear. Outras técnicas como teoria de stocks, programação dinâmica, teoria de filas de espera, etc... conheceram progressos notáveis durante a década de 50.

Foi ainda neste período que, correspondendo ao rápido desenvolvimento das actividades de Investigação operacional no comércio e na indústria, na administração pública e no sector privado, surgiram as primeiras associações de carácter profissional. De novo a Inglaterra seria pioneira com a constituição em 1948 do Operational Research Club, mais tarde "Operational Research Society". Em 1950 começou a editar a "Operational Research Quarterly" que seria a primeira publicação do ramo. Nos Estados Unidos surgiu em 1952 a ORSA (Operational Research Society of America) e em 1954 a TIMS (The Institute of Management Sciences). Embora a primeira seja mais vocacionada para o estudo e divulgação das técnicas de I.O. e a segunda à sua aplicação na administração, a verdade é que a sua colaboração tem sido estreita chegando mesmo presentemente à edição conjunta da publicação bimensal "Interfaces" e do boletim informativo "OR/MS Today". Para além destas a ORSA publica a sua revista mensal "Operations Research" e a TIMS a revista "Management Science".

## 5 - OS ANOS SESSENTA - A ERA ROMÂNTICA

Se o período que decorreu desde a Segunda Guerra Mundial até ao fim dos anos cinquenta pode ser considerado como a era clássica da Investigação Operacional, poderá também afirmar-se com propriedade que o período que compreende os anos sessenta e se estende mesmo até meados da década de setenta foi a sua época Romântica, ou Idade do Ouro. Assim, uma vez consolidada a base teórica e alcançados êxitos significativos em inúmeros casos não cessam de aumentar o interesse com que os gestores e os responsáveis pela deci-

são passaram a encarar as aplicações da I.O., interesse esse que era amplamente correspondido pelo entusiasmo e confiança com que os investigadores se entregaram aos trabalhos que lhes eram confiados.

Foi pois neste período que se multiplicaram os departamentos de I.O. em centenas de empresas, na América e na Europa e que as Universidades introduziram esta matéria em diversas disciplinas e organizaram Cursos de Licenciatura e Pós-Graduação.

Um dos principais factores que terão estado na base desta exploração terá sido o rápido desenvolvimento e a generalização do uso dos computadores electrónicos digitais que veio pôr ao serviço dos investigadores meios de computação extremamente poderosos e adequados às características e volume dos cálculos típicos dos problemas de I.O..

Por outro lado, a política de contenção de despesas, tanto no sector militar como no sector civil impôs a necessidade de proceder ao estudo aprofundado de soluções com vista à obtenção de uma eficácia elevada a custos tão baixos quanto possível. O recurso a técnicas de optimização tornou-se assim moeda corrente. A complexidade de certos projectos da indústria aero espacial envolvendo centenas de empresas subcontratadas e milhares de actividades, levou ao aparecimento de técnicas como o PERT (Program Evaluation and Review Technique) e o CPM (Critical Path Method) que permitiam manter o processo sob controle corrigindo eventuais desvios e atrasos e minimizando os respectivos inconvenientes.

Pode dizer-se em resumo que para além do uso cada vez mais intenso e generalizado de técnicas de optimização como a programação matemática, os métodos gráficos, e a análise de redes e o recurso crescente ao computa-

dor, foram ainda desenvolvidos neste período novos algoritmos como os devidos a Gomory e Gilmore relativos a programação inteira, os de Kuhn e Tucker de programação não linear, os relativos à programação com objectivos múltiplos (Goal Programming) e ainda a programação estocástica de Charnes, Cooper e outros. Paralelamente a estes aperfeiçoamentos das técnicas clássicas e beneficiando da acessibilidade e das potencialidades dos computadores os investigadores operacionais recorreram em ritmo crescente à simulação, beneficiando do aparecimento de linguagens específicas como o GPSS, o SIMSCRIPT, o SIMULA que possibilitaram a solução de numerosos e complexos problemas de difícil abordagem através de modelos matemáticos, particularmente os que envolvem considerações de natureza estocástica.

Para terminar há que mencionar que neste período continuaram a surgir associações profissionais em diversos países como a França, Áustria, Itália, República Federal da Alemanha, Grécia, Brasil, Egipto, Israel, etc.. Portugal juntar-se-ia a este numeroso grupo em 1980, com a criação da APDIO. Não há conhecimento da existência de associações em países da Europa de Leste, muito embora se saiba que um elevado número de cientistas e estudantes se dedicam ali a estudos de I.O. sendo em número apreciável membros de organizações profissionais ocidentais.

Também já em 1956 fora fundada a IFORS (International Federation of Operations Research Societies) que conta hoje com mais de trinta países membros.

Em 1974 as associações nacionais europeias decidiram coordenar as suas actividades para a promoção da I.O. na Europa. Para além de manter diversos grupos de trabalho dedicados a sectores específicos e organizar regularmente Congressos, a EURO (European Operations Research) iniciou em 1977

a publicação do "European Journal of Operational Research". O seu próximo Congresso, em colaboração com a TIMS, terá lugar em Lausanne de 12 a 14 de Julho de 1982.

## 6 - O PRESENTE - CRISE DE MATURIDADE OU PAUSA PARA REFLEXÃO ?

Num interessante artigo recentemente publicado na revista conjunta do TIMS e ORSA, "Interfaces", Joseph Fiksel lamenta o facto de nos últimos anos não se terem verificado progressos ou inovações significativas do domínio da I.O. (3). Em sua opinião, compartilhada por outros autores (1) esta teria entrado num período de estagnação ou estaria a atravessar uma crise de maturidade, o que teria sido bem evidenciado pela falta de interesse da maioria dos trabalhos apresentados nos últimos congressos daquelas associações.

Atribui o autor tal estagnação ao facto de o campo de aplicação das técnicas de I.O. se ter vindo a alterar continuamente nos últimos anos. Com efeito, a complexidade crescente dos sistemas, por vezes mesmo a dificuldade em proceder à sua análise sem alteração do seu comportamento, o facto de serem frequentemente ignorados aspectos não quantificáveis do problema ou de difícil expressão matemática e outros factores estarão na base das dificuldades sentidas. Por outro lado, os responsáveis pela tomada de decisão já por natureza resistentes à mudança são frequentemente colocados perante soluções ou propostas de que não entendem os fundamentos, quer por não terem participado no desenvolvimento do modelo, quer por não compreenderem o seu funcionamento.

A filosofia que tem vindo a informar a I.O. desde a sua origem é a procura do óptimo, isto é, ganhar. Ora no mundo presente com a crise de

energia, de produção, de organização, etc... a estratégia não pode ser mais a obtenção de um óptimo necessariamente parcial ou local. A competição tem de ceder lugar à cooperação procurando antes do mais a estabilidade económica e o equilíbrio ecológico. Não há ainda a certeza de que a I.O. possua os meios e as técnicas adequadas para enfrentar os problemas mais importantes do nosso tempo muito embora haja notícia de que alguns pioneiros como Churchman e Mason apresentaram muito recentemente uma nova geração de modelos, mais flexível e mais sensível aos problemas humanos, adequados por isso às necessidades em contínua evolução da sociedade dos nossos dias (3).

Uma forma de testar a validade de certos modelos será examinar como se comportam quando manipulados por um opositor inteligente, isto é, jogá-los. Não será por acaso que quer no campo militar, quer no campo civil se assiste à proliferação e uso crescente de jogos estratégicos, financeiros, etc... destinados ao treino dos responsáveis pela condução das operações e da tomada de decisão. Daí que seja de esperar uma resposta adequada pelo desenvolvimento da teoria de jogos. Outros sectores como a interligação estreita e apoio à resolução de problemas da Informática como a Estrutura e Organização de Bases de Dados, Sistemas de Informação de Gestão e Inteligência Artificial poderão constituir outras tantas vias de desenvolvimento que se oferecem ao futuro da I.O..

Resta pois esperar com confiança que, uma vez terminado o actual período de reflexão seja reencontrado o dinamismo e o espírito de criatividade e de pioneirismo que caracterizaram os primeiros tempos da Investigação Operacional e que esta possa dar um poderoso contributo para a solução dos grandes problemas que afligem a sociedade dos nossos dias.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) - Ackoff, R.L., *The future of Operational Research is Past*, Journal of the Operational Research Society, Vol 30, nº 2 Fevereiro 1980 (93-104)
- (2) - J. Crowther e R. Whiddington, *Science at War* (H.M. Stationery Office, London, 1947)
- (3) - J. Ficksel, *Winning is not everything : The midlife crisis of Operations Research Interfaces*, Vol 10 nº 2 Abril 1980 (106-107)
- (4) - R. Levin e C. Kirkpatrick, *Quantitative Approaches to Management* (Mc Graw Hill, N.Y. 1978)
- (5) - H.M. Wagner, *Principles of Operations Research* (Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1975)



## GESTÃO DE STOCKS CONTRIBUTOS PARA O LEVANTAMENTO DA SUA APLICAÇÃO EM PORTUGAL

LUIS TADEU

Centro de Sistemas Urbanos e Regionais da Universidade Técnica  
de Lisboa (CESUR), Av. Rovisco Pais 1000 Lisboa, Portugal

A função de "gerir" a existência de materiais em armazém (stocks), na generalidade das empresas portuguesas, tem sido entregue tradicionalmente a pessoas ligadas ao funcionamento dos próprios armazéns, sem preparação científica e com poucas relações institucionais com os utilizadores desses materiais.

A "gestão" é assim, nestes casos, feita com base na "intuição" destes "gestores", que se apoiam normalmente em ficheiros manuais - muitas vezes desactualizados - onde são registadas as entradas e as saídas dos materiais. É deste modo que são "geridos" sistemas em que os valores do imobilizado ascedem por vezes a dezenas ou a centenas de milhares de contos. Por isso não surpreende verificar, quando se procura analisar criticamente o funcionamento destes sistemas, que a informação relevante não existe, que os va-

lores imobilizados estejam distorcidos - exagerados para materiais com pouca procura ou para materiais pouco estratégicos, insuficientes para materiais com muita procura ou para materiais estratégicos -, que a obsolescência seja elevada, etc..

Assim, não se levam em conta, numa forma quantificada, no "processo de decisão" acima descrito, elementos fundamentais de custo como :

- CUSTO DE EXISTÊNCIA - Custo associado à manutenção dos itens dentro do armazém e que engloba não só os custos de exploração do armazém (espaço, luz, pessoal, etc.) como também custos de obsolescência, deterioração, roubo e principalmente o custo de oportunidade do capital que é normalmente a parcela mais importante do custo de existência.
  
- CUSTO DE AQUISIÇÃO - Custo normalmente composto de duas parcelas : o custo dos itens em si e o custo de encomenda, parcela esta que muitas vezes é independente de quantidade que se encomenda.
  
- CUSTO DE ROTURA - Custo associado à não existência do item quando se torna necessário. Este custo depende obviamente da função que este item desempenha no funcionamento do sistema, e nele são incluídas todas as parcelas correspondentes aos custos que se verificam por falta do item.

Não são igualmente consideradas objectivamente as características da procura a que esse item é sujeito e da oferta, sendo esta caracterizada

normalmente pelo tempo de entrega, ou seja o tempo que decorre desde o início do processo de decisão de compra do item até que a quantidade encomendada entre em armazéns.

Este tipo de "gestão" poderia eventualmente ter justificação em situações em que :

- o número de itens existente fosse muito limitado (de ordem das escassas centenas) e houvesse uma ligação estreita com os utilizadores
- o sistema fosse estável tanto no que dizia respeito aos custos como às características da procura e da oferta
- o custo associado à montagem e funcionamento dum sistema mais elaborado (sistema de informação, suporte que permita um tratamento automático de informação, modelo matemático de gestão) fosse superior ao benefício esperado de introdução deste sistema.

No entanto o que normalmente se verifica é que :

- o número de itens existentes nos sistemas é da ordem das largas centenas podendo em muitos casos chegar à ordem dos milhares ou até às centenas de milhares. Nestas situações é impossível fazer apelo apenas à instuição para fazer a sua gestão.
- os vários elementos de custo associados aos sistemas de stockagem estão sujeitos a variações acentuadas ao longo do tempo. Estas variações, cuja amplitude se acentuou a partir do início da década de 70, muitas vezes não se fazem sentir igualmente

sobre todas as componentes de custo, dado que, sendo muitos itens importados, os custos de rotura e os custos de existência estão directamente associados ao comportamento interno - inflação verificada no país - enquanto que os custos de aquisição estão associados a comportamentos externos - inflação do país de origem.

Na análise da evolução dos custos há assim que ter em conta problemas de inflação diferencial bem como problemas de evolução cambial, tornando-se assim evidente que a gestão de stocks deve igualmente ser analisada sob a óptica dum investimento, o que não é a visão tradicional.

- as características da procura e do tempo de entrega estão também normalmente sujeitas a variações acentuadas dada a aleatoriedade que lhes está associada.
- os custos de computadores que permitam um conhecimento rápido do estado do sistema e o processamento expedito da informação relevante, baixaram espectacularmente nos últimos anos, podendo hoje adquirir-se no mercado nacional microcomputadores que permitem fazer a gestão de stocks de grandes sistemas por algumas poucas centenas de contos. A utilização destes meios computacionais deixou assim de ficar vedada às pequenas e médias empresas, e a sua utilização não está infelizmente mais generalizada porque as pessoas e as instituições têm como é tradicional, levado bastante tempo a adaptar-se a esta autêntica revolução tecnológica.

Dispondo-se assim de instrumentos de cálculo potentes a baixo preço, há que organizar eficientemente os circuitos de informação e seu tratamento, e utilizar modelos matemáticos de gestão de stocks adaptados às realidades dos sistemas. No que diz respeito aos circuitos e tratamento da informação estes devem permitir :

- minimizar as tarefas burocráticas
- diminuir o tempo de resposta
- facilitar a ligação entre os vários componentes do sistema :  
compras, gestão de stocks, utilizadores e armazéns
- aumentar o conhecimento do sistema, fornecendo à gestão não só informações sobre a situação em cada momento, como também indicadores de gestão globais que lhe permitam tomar decisões fundamentadas.

Quanto aos modelos matemáticos a utilizar eles devem :

- integrar as informações de custo relevantes
- modelar convenientemente a procura e a oferta
- ser escolhidos, não porque existem já desenvolvimentos feitos - "packages", mas sim em função da sua adaptação à realidade que pretendem descrever. É muito corrente por exemplo, em sistemas produtivos em que é feito o planeamento da produção, utilizarem-se modelos de gestão de stocks baseados nas características estatísticas do comportamento passado da procura e da oferta e não como se devia, modelos baseados nas necessidades previsíveis do tipo "Material Requirements Planning" (M.R.P.)
- permitir à gestão libertar-se dum conjunto de tarefas repetitivas, morosas e escusadas, para se poder dedicar às actividades que são importantes. Para isso devem ser seleccionados os itens

sobre os quais há que ter uma maior atenção (através de análises do tipo A, B, C ou de considerações estratégicas).

- permitir simular o comportamento do sistema para diferentes evoluções possíveis e decisões alternativas. Este tipo de atitude considera-se cada vez mais importante face à grande aleatoriedade que está associada a muitas das componentes dos modelos de gestão.

Conclui-se assim, da análise feita, que existem os instrumentos para, com baixos custos de investimento, racionalizar todo o processo de gestão de stocks. Esta racionalização é uma exigência cada vez mais premente para a generalidade das empresas tendo em atenção o acréscimo de capacidade de resposta e as economias que com ela se conseguem, elementos decisivos para a sua sobrevivência em mercados cada vez mais competitivos. A referida racionalização não tem sido feita com maior amplitude por razões que julgamos ligadas a três tipos de factores :

- 1 - A divisão e indefinição de competências que normalmente existem nesta área entre as compras, os armazéns, os utilizadores e a gestão de stocks, impede a responsabilização de cada uma delas.
- 2 - A não contabilização correcta de muitos custos que na prática existem como os custos de rotura e os custos de utilização do capital, e que normalmente são bastante elevados.
- 3 - O desconhecimento de existência de instrumentos apropriados e dos proveitos que deles se podem retirar. Quanto a estes basta apenas referir que é normal conseguir com a sua introdução aumentar o nível de conhecimento do sistema, aumentar a capacidade de resposta, diminuir os custos globais do sistema (custos de aquisição, existência e de rotura).

## CIÊNCIAS DE COMPUTAÇÃO E INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL

A.J.M. GUIMARÃES RODRIGUES

Unidade de Engenharia- Universidade do Minho, Rodovia Pavilhões  
4700 Braga, Portugal

Os computadores têm sido utilizados pelos profissionais de Investigação Operacional desde há cerca de trinta anos, tendo inclusivamente alguns pioneiros desenvolvido importantes contribuições para a "arte" de computação. Desde o meio dos anos cinquenta, a Investigação Operacional tem-se tornado cada vez mais dependente dos computadores, como auxiliares indispensáveis em cálculos de grande escala, ou em estudos de simulação (5).

Anderson (1) sintetiza a utilização dos computadores como auxiliares da Gestão nas seguintes alíneas :

- PROCESSAMENTO DE DADOS - Que constitui cerca de 85 % das aplicações dos computadores. O objectivo da utilização dos computadores no processamento de grande volume de dados relativos a "transacções" é, principalmente, o da redução do custo por unidade de informação processada. Exemplos deste tipo de aplicação são a produção de extractos, folhas de pagamento, "Invoices", etc..

- RELATÓRIOS DE GESTÃO - A utilização de relatórios de exceção relativos a centros de custos permite o correcto controle de operações numa escala de tempo mais adequada, e possibilita a tomada de decisões que seriam impossíveis por outros meios.

Os computadores são também utilizados na criação de modelos que permitem prever as alterações que se irão produzir no futuro, caso não sejam tomadas as necessárias acções.

Na sua essência, os relatórios de gestão incluem informação sobre desvios relativamente a planos previamente traçados. Como exemplo de informação contida neste tipo de relatórios temos, índices de produtividade, quantidades e custo de desperdícios relativos a cada produto, despesas de consumo e variações relativamente ao orçamento, flutuações no nível de produção, custos de mão de obra e despesas gerais de departamento.

- TOMADA DE DECISÕES - As decisões de rotina classificadas como "estruturadas" podem ser facilmente automatizadas. A utilização do computador neste tipo de tarefa liberta os Gestores, que passam a dispôr de mais tempo para se debruçarem sobre problemas "não-estruturados". Um exemplo deste tipo de aplicação é o controle de "stocks" automatizado em que, quando determinado artigo atinge um nível pré-definido de re-encomenda, é produzida uma listagem-relatório ou é mesmo produzida a necessária ordem de compra, eliminando assim trabalho secretarial adicional.

- SOLUÇÃO DE PROBLEMAS - É errado pensar-se que a instalação de um computador só é justificável se houver necessidade de processamento de grande volume de informação. No contexto da "solução-de-problemas", o computador constitui uma ferramenta de gestão utilizada em :

- 1 - Selecção de Investimentos - O computador pode auxiliar a selecção de alternativas de acção, por forma a maximizar o rendimento sobre o investimento de capital. É exemplo a selecção de uma determinada máquina de entre um grupo de máquinas semelhantes, cada uma com custos de capital e operativos diferentes e, provávelmente, dispendidos em diferentes períodos no tempo.
- 2 - Simulação de Operações - Através de modelos estatísticos, é possível simular em computador o comportamento de um sistema (por exemplo, "transacções" de "stock" e actividades de produção), verificando em que medida a modificação dos seus parâmetros de funcionamento (níveis de produção, nível de mão de obra, número de máquinas, etc.) modifica o seu desempenho. Esta técnica permite estudar anos de operação em poucas horas, se necessário, e evita a necessidade de uma efectiva alteração física do sistema.
- 3 - Previsão da Procura - Através da previsão da procura de determinado artigo, é possível, se se utilizar um sistema de previsão auxiliado por computador, modificar automaticamente os parâmetros da política de controle de "stocks" em utilização.

Da existência de um sistema mais "apertado" deste tipo resultam economias, dado que o nível dos "stocks" pode ser reduzido, e com este o valor do capital imobilizado.

- 4 - Preparação de Planos Orçamentais - A dificuldade de preparação de planos orçamentais resulta do grande número de variáveis contidas

num orçamento-director, e da frequente necessidade de correcções e ajustamentos, antes de ser produzido o orçamento definitivo. Este tipo de correcções pode incluir modificações no volume de vendas, margens de lucro, volume de produção, requisitos de mão de obra, etc..

O computador permite executar estas tarefas numa forma rotineira e extremamente rápida.

- 5 - Planeamento da Produção - Neste domínio, a utilização de computadores permite a organização rápida de planos de produção eficazes e flexíveis (de fácil e rápida alteração).

Normalmente, as correcções aplicadas a qualquer fase da produção têm um efeito "em cadeia", razão principal da dificuldade experimentada na geração destes planos por métodos manuais.

Existe também a possibilidade de gerar vários planos de produção (cenários) que dão aos Gestores uma informação mais completa para basearem as suas decisões. O controle mais "apertado" de um plano de produção, possível com o auxílio de um computador, permite normalmente reduzir o número de pessoas envolvidas no planeamento, acelerar a execução dos trabalhos e facilitar o cumprimento de prazos.

Neste domínio, as técnicas utilizadas são função do tipo de produção. Assim, um projecto de realização única (por exemplo uma ponte, um barco, etc.) requer a aplicação de técnicas de "redes". Se se tratar de produção em lotes ou em massa, poderá ser necessário utilizar técnicas de programação linear ou teoria de filas de espera.

A disseminação de mini e micro-computadores trará um incremento no trabalho de simulação interactiva, esperando-se igualmente que beneficie a utilização directa da optimização numa base de rotina (2) e que facilite a obtenção de soluções (3) para muitos outros problemas.

É agora possível, a um preço acessível, colocar nas mãos de um indivíduo ou de pequenas organizações todo o potencial de técnicas anteriormente acessíveis apenas a grandes organizações.

É grande o número de programas publicados ou comercializados, que constituem, hoje em dia, ferramentas de trabalho fundamentais a tomada racional de decisões.

A título de exemplo, juntam-se referências de algumas publicações em que podem ser obtidas listagens de programas simples, de aplicação vulgar em engenharia industrial, em problemas de :

- Decisão de compra ou aluguer (6).
- Balanceamento de linhas de montagem (8).
- Previsão a curto prazo (4).
- Determinação da taxa de juro interna de um projecto (7).
- Determinação do caminho crítico num diagrama de arcos (9).
- Análise de PERT (10).
- Distribuição de recursos (11).

Qualquer dos programas referidos é escrito em linguagem "Basic", e de fácil implementação.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) R.G. Anderson, *Data Processing and Management Information Systems*, (1974), Macdonald and Evans.
- (2) E.M.L. Beale, *The Blakett Memorial Lecture 1980*, (1980) Operational Research and Computers : A personal View. J. Opl.Res.Soc. 31, 761-767.
- (3) A.S.Douglas *New Opportunities for O.R.*, (1981) J.Opl.Res.Soc. 32,251-254.
- (4) Y.A. Hosni and F.Guediri, *Short-Range Forecasting On A Seasonal Basis"* (1980) Ind.Eng., October, 28-32.
- (5) A.M.Lee, *Past Disappointments and New Promise*, (1979) J.Opl.Res.Soc.30, 975-979.
- (6) C.S.Park and W.Brian, *Program for Evaluating a Buy-vs-Lease Decision*, (1980), Ind.Eng., July, 22-25.
- (7) C.S.Park and W.Wight, *Mini-Micro Computers*, (1980) Ind.Eng., November, 26-29.
- (8) G.E.Whitehouse and D.Washburn, *Solve Simple Assembly Line Balance Problems*, (1980) Ind.Eng, September, 22-24.
- (9) G.E.Whitehouse and D.A.Washburn, *Find Critical Path in an Arrow Diagram*, (1980) Ind.Eng., December, 18-20.
- (10) G.E.Whitehouse and D.A.Washburn, *A Program for PERT on a Minicomputer*, (1981) Ind.Eng., January, 20-22.
- (11) G.E.Whitehouse and D.A.Washburn, *Computer Program for Resource Allocation*, (1981) Ind.Eng., February, 18-21.

\*

\*

\*

## MÉTODO DE OPTIMIZAÇÃO POR SIMULAÇÃO

J.P. MOITINHO

Centro de Sistemas Urbanos e Regionais da Universidade Técnica  
de Lisboa (CESUR) e Instituto Superior Técnico (IST), Av. Rovisco  
Pais 1000 Lisboa, Portugal

Descreve-se neste artigo um algoritmo de minimização, apresentado por Schwefel (3), baseado num processo de simulação que foi implementado no CESUR.

O funcionamento do algoritmo é o seguinte :

- dada uma solução inicial "mãe", geram-se a partir desta "filhas" (soluções em que cada variável apresenta em relação à variável correspondente da solução "mãe" um desvio aleatório normal, com média zero e um dado desvio padrão).
- quando alguma "filha" apresenta melhores condições do que a "mãe", (menor valor para a função objectivo não violando restrições) passa a ocupar o lugar desta.

- o processo é repetido sendo os valores das variâncias dos desvios aleatórios progressivamente reduzidos, até que se obtenha uma solução para a qual não se consegue obter uma redução sensível do valor da função objectivo (de acordo com um critério fornecido pelo utilizador).
- quando se atinge essa situação encontrou-se uma solução que corresponde a um ponto que se encontra na vizinhança dum óptimo da função (global ou local).

Este algoritmo foi aplicado em vários processos envolvendo funções objectivo ou restrições não lineares :

- Optimização do volume de barragens (1).
- Optimização de estruturas articuladas planas sujeitas a grandes deslocamentos (4).
- Gestão de stocks com funções de custo não lineares (2).

Seguidamente apresentam-se os resultados obtidos com o exemplo de aplicação que corresponde à listagem em BASIC anexa :

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= x_1^2 + x_2^2 - 16 x_1 - 10 x_2, \\ \text{sujeito a } &x_1^2 - 6 x_1 + 4 x_2 \leq 11 \\ &x_1 x_2 - 3 x_2 - e^{(x_1-3)} \geq 1 \\ &x_1, x_2 \geq 0 \end{aligned}$$

Cuja solução é :  $x = (5.23961 ; 3.74604)$

$$f = -79.80782$$

Dado que a sequência das soluções geradas é aleatória os valores finais, para diferentes tentativas com a mesma solução inicial, serão em princípio diferentes. Apresentam-se seguidamente os resultados obtidos para uma solução inicial  $x_0 = (10 ; 10)$ . Indicam-se o número de iterações feitas até se encontrar uma solução possível (N), o valor da função ao fim de 100 iterações, a solução final e o número de iterações necessárias para a atingir (NIT).

| N  | $f_{100}$ | $f_{final}$ | $x_1 final$ | $x_2 final$ | NIT  |
|----|-----------|-------------|-------------|-------------|------|
| 3  | -77.80183 | -79.80766   | 5.23956     | 3.74608     | 1200 |
| 6  | -76.72102 | -79.80714   | 5.23942     | 3.74619     | 1200 |
| 13 | -77.67060 | -79.80755   | 5.23953     | 3.74611     | 1200 |
| 29 | -74.82290 | -79.80704   | 5.23948     | 3.74600     | 1000 |
| 18 | -71.29628 | -79.80573   | 5.23913     | 3.74626     | 1000 |

O programa correu num microcomputador Apple II demorando um tempo médio de 20 minutos.

No estudo de otimização de barragens mencionado o número de variáveis era igual a 14 sendo o objectivo minimizar o volume sujeito a restrições de tensões e de forma. Obteve-se em 200 iterações uma redução da função objectivo de cerca de 20 % (de 27042 para 21931 m<sup>3</sup>) correspondendo a um tempo de cálculo de 1h 30m num computador IBM 360.

```

100 M = 4
110 N = 2
120 REM NRO DE VARIAVEIS ,NRO DE RESTRICOES
130 DIM XB(N),X(N),XA(N),SM(N),L(10)
150 LR = 5
160 LS = 10
170 EB = 1E - 4
180 EA = .001

```

```

190 ED = EB
200 EC = EA
210 SN = 0.85
220 ZP = 6.28318531
230 FOR I = 1 TO N
240 PRINT "X(";I;")=";
250 INPUT XB(I)
260 SM(I) = XB(I) * .2
270 NEXT I
280 GOSUB 370
290 PRINT "EM ";NI;" ITERACOES"
300 PRINT "VALOR DA FUNCAO";FB
310 PRINT "SOLUCAO"
320 FOR I = 1 TO N
330 PRINT XB(I)
340 NEXT I
350 PRINT "PR#0"
360 STOP
370 LZ = 1
380 IF M < = 0 GOTO 470
390 LF = - 1
400 FB = 0
410 FOR J = 1 TO M
420 GOSUB 1250: REM FG DE J,N,XB
430 IF FG < 0 THEN FB = FB - FG
440 NEXT J
450 IF FB > 0 GOTO 490
460 REM
470 LF = 1
480 GOSUB 1390: REM FB DE N,XB
490 FOR K = 1 TO 10
500 L(K) = N * K / 5
510 NEXT K
520 LE = N + N
530 LM = 0
540 LC = 0
550 FC = FB
560 NI = 0
570 FOR I = 1 TO N
580 GOSUB 1520: REM Z DE SM(I),RAN
590 X(I) = XB(I) + Z
600 NEXT I
610 NI = NI + 1
620 IF NI < > 100 GOTO 640
630 PRINT "NI=";NI,"F=";FB
640 IF LF > = 0 GOTO 760
650 FF = 0
660 FOR J = 1 TO M
670 GOSUB 1290: REM FG DE J,N,X
680 IF FG < 0 THEN FF = FF - FG
690 NEXT J
700 IF FF > 0 GOTO 820
710 FOR I = 1 TO N
720 XB(I) = X(I)
730 NEXT I

```

```

740 PRINT "ACHADA SOLUCAO ADMISSIVEL EM ";NI;" ITERACOES"
750 GOTO 470
760 IF M < = 0 GOTO 810
770 FOR J = 1 TO M
780 GOSUB 1290: REM FG DE J,N,X
790 IF FG < 0 GOTO 900
800 NEXT J
810 GOSUB 1440: REM FF DE N,X
820 IF FF > FB GOTO 900
830 LE = LE + 1
840 PRINT "NOVA SOLUCAO ";FF
850 FB = FF
860 FOR I = 1 TO N
870 PRINT "X(";I;" )=";X(I)
880 XB(I) = X(I)
890 NEXT I
900 LM = LM + 1
910 IF LM < N * LR GOTO 570
920 K = 1
930 LY = LE - L(1) - 2 * N
940 IF LY > 0 THEN K = - 1
950 IF LY = 0 THEN K = 0
960 FOR I = 1 TO N
970 S1 = SM(I) * SN ^ K
980 S2 = ABS (XB(I)) * EB
990 IF S2 > S1 THEN S1 = S2
1000 IF EA > S1 THEN S1 = EA
1010 SM(I) = S1
1020 NEXT I
1030 FOR K = 1 TO 9
1040 L(K) = L(K + 1)
1050 NEXT K
1060 L(10) = LE
1070 LM = 0
1080 LC = LC + 1
1090 IF LC < (10 * LS) GOTO 570
1100 IF (FC - FB - EC) < = 0 THEN RETURN
1110 IF ((FC - FB) / ED - ABS (FC)) > 0 GOTO 1141
1120 IF LF < 0 THEN PRINT "NAO SE ACHA SOL. ADMISSIVEL"
1130 IF LF > 0 THEN PRINT "NAO SE ACHA MINIMO"
1140 RETURN
1141 LC = 0
1142 FC = FB
1143 GOTO 570
1150 REM XA=XB
1160 FOR LL = 1 TO N
1170 XA(LL) = XB(LL)
1180 NEXT LL
1190 RETURN
1200 REM XA=X
1210 FOR LL = 1 TO N
1220 XA(LL) = X(LL)
1230 NEXT LL
1240 RETURN

```

```

1250 REM FG DE J,N,XB
1260 GOSUB 1150
1270 GOSUB 1330
1280 RETURN
1290 REM FG DE J,N,XB
1300 GOSUB 1200
1310 GOSUB 1330
1320 RETURN
1330 REM FG DE J,N,XA
1340 IF J = 1 THEN FG = 11 - XA(1) ^ 2 + 6 * XA(1) - 4 * XA(2)
1350 IF J = 2 THEN FG = XA(1) * XA(2) - 3 * XA(2) - EXP (XA(1) - 3) + 1

1360 IF J = 3 THEN FG = XA(1)
1370 IF J = 4 THEN FG = XA(2)
1380 RETURN
1390 REM FB DE N,XB
1400 GOSUB 1150
1410 GOSUB 1490
1420 FB = FO
1430 RETURN
1440 REM FF DE N,X
1450 GOSUB 1200
1460 GOSUB 1490
1470 FF = FO
1480 RETURN
1490 REM FO DE N,XA
1500 FO = (XA(1) ^ 2 + XA(2) ^ 2 - 16 * XA(1) - 10 * XA(2))
1510 RETURN
1520 IF LZ = 1 THEN A = SQRT ( - 2 * LOG ( RND ( 1) )); B = ZP * RND ( 1);
Z = SM(I) * A * SIN ( B); LZ = 2
1530 IF LZ = 2 THEN Z = SM(I) * A * COS ( B); LZ = 1
1540 RETURN

```

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) L. Tadeu Almeida, L.Valadares Tavares, J.Laginha Serafim, *Non linear parametric optimization of large arch dams*, (1981), CESUR.
- (2) L.Tadeu Almeida, *Modelos de Gestão de Stocks com Variações Não Lineares das Funções de Custo*, (1981), CESUR.
- (3) H.P. Schwofel, *Subroutines EVOL, GRUP, KORR - Listings and User's Guide*, (1980), Nuclear Research Center. Juelich, F.R.G.
- (4) J.A.Teixeira Freitas, J.P. Moitinho, *Elastic Synthesis for Large Displacements*, (1981), IST.



Associação Portuguesa para o Desenvolvimento  
da Investigação Operacional.

CÉSUR – Instituto Superior Técnico – Avenida Rovisco Pais  
1000 Lisboa – Telef. 882992