1º Semestre de 2011

Editores: Ana Camanho Bernardo Almada-Lobo

Apdio 🔥

APDIO 44

BOLETIM

EDITORIAL

A adesão dos associados da APDIO às actividades promovidas durante o primeiro semestre de 2011 mostrou bem a vitalidade da Investigação Operacional em Portugal. O congresso Nacional da APDIO, IO 2011, organizado em colaboração com o INESC Coimbra, de 18 a 20 de Abril, decorreu de forma exemplar. Contou com a participação de 163 delegados, dos quais 56 estudantes, o que demonstra bem a adesão da juventude a esta área científica. O congresso teve 128 comunicações, com 262 autores, incluindo duas sessões plenárias e duas semi-plenárias. Algumas comunicações (24) foram compiladas num livro de actas disponível no nosso site (www.apdio.pt/files/IO2011/Resumos.pdf). De entre as actividades promovidas ou apoiadas pela APDIO no 1º semestre de 2011 é também de salientar o Workshop sobre o Ensino da IO, que decorreu no dia 25 Fevereiro, o Workshop IO na Robótica (30 de Março), o Curso em Optimização Semi-Definida (9 de Maio), e o Workshop em Bio--Optimização: Técnicas de Optimização Aplicadas à Biologia (25 de Junho). Adicionalmente, e na seguência das conclusões do Workshop IO: Que Desafios para 2010-2020, foram criadas duas Comissões apoiadas pela APDIO (Comissão IO nas Empresas e Comissão Ensino da IO), que vão trabalhar em áreas estratégicas para reforçar o papel da Investigação Operacional em Portugal. Ambas as Comissões já têm iniciativas previstas para o segundo semestre de 2011, que serão brevemente divulgadas no site da APDIO.

Neste Boletim, o leitor encontrará na secção de notícias um breve resumo do "Workshop sobre o Ensino da Investigação Operacional". O Artigo de Opinião faz uma análise da relação entre as áreas científicas de Investigação Operacional e Sistemas de Informação, reflectindo sobre o carácter complementar, mas também competitivo, entre ambas as áreas, cujos efeitos não devemos descurar. Segue-se o artigo dedicado às técnicas de IO, que proporciona uma introdução à programação não-linear e aplicações, que esperamos que sirva de motivação para explorar novos temas de estudo nesta área. As secções seguintes incluem a entrevista ao António Câmara, cuias reflexões sobre o papel da IO no contexto da sociedade Portuguesa são inspiradoras, e um artigo que demonstra o sucesso da aplicação da IO em contextos empresariais, que neste Boletim é dedicado à área da Logística. A secção IO em Portugal descreve os grupos de I&D de Coimbra. O Boletim encerra com o Blog dos Sócios, com um artigo do Eduardo Zúquete, sobre o papel da IO na mais tenra idade, que nos abre novas perspectivas de reconhecimento do papel da IO nas gerações futuras. E dada a importância do EURO XXIV para a projecção da Investigação Operacional feita em Portugal na comunidade científica internacional, terminamos este Boletim com um balanço da conferência organizada em Lisboa em Julho de 2010.

Ana Camanho Bernardo Almada-Lobo 03

ARTIGO DE OPINIÃO

Investigação Operacional e Sistemas de Informação: vítima e predado José Dias Coelho

04

TÉCNICAS DE 10

Optimização Não Linear e Aplicações

A. Ismael F. Vaz

08

ENTREVISTA

António Câmara

09

IO EM ACÇÃO

Escalonamento do transporte de produtos petrolíferos por oleoduto com gestão de inventário no centro de distribuição

Susana Relvas, Ana Paula F.D. Barbosa-Póvoa, Henriaue A. Matos

12

IO EM PORTUGAL

Optimização no Departamento de Matemática da FCTUC e no IT-Coimbra

Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra (INESC COIMBRA) Carlos Henggeler Antunes

14

BLOG DOS SÓCIOS

Lourenço e os Números *Eduardo Zúquete*

EURO XXIV LISBON

José Pinto Paixão

16

CALL FOR PAPERS

INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL EM AÇÃO

Rui Carvalho Oliveira e José Soeiro Ferreira

WORKSHOP SOBRE O ENSINO DA INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL

Pedro Oliveira

Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar Universidade do Porto

Hotel Quinta das Lágrimas, 25 de Fevereiro de 2011 Coimbra, Portugal

Decorreu no passado dia 25 de Fevereiro, em Coimbra, o primeiro Workshop sobre o Ensino da Investigação Operacional, promovido pela nossa Associação Portuguesa de Investigação Operacional (http://www.ccc.ipt.pt/~apdio/EnsinolO/index. html). O encontro contou com cerca de 5 dezenas de participantes, das mais diversas instituições de ensino superior. Os trabalhos iniciaram-se com uma mesa redonda sobre Competências e Desenvolvimento Curricular em Investigação Operacional no novo contexto de Bolonha, que contou com as contribuições de Bernardo Almada--Lobo (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) e Margarida Vaz Pato (Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa). Os dois colegas apresentaram uma reflexão sobre as transformações que o processo de Bolonha introduziu nas respectivas instituições. Almada-Lobo referiu que os objectivos demasiado ambiciosos da reforma de Bolonha ficaram aquém do prometido, nomeadamente ao nível do desenvolvimento de competências, da promoção da criatividade e da capacidade de abstracção. Acrescentou ainda que, em termos dos conhecimentos adquiridos, as unidades curriculares do primeiro ciclo parecem dissociadas das unidades do segundo ciclo, podendo a Investigação Operacional oferecer um contributo integrador ao mesmo tempo que formador.

Reconhecendo que apesar do esforço realizado na definição das competências, da articulação entre as diversas unidades curriculares, as mesmas são mais fáceis de enunciar do que promover na prática de ensino. Em particular, questionou se o ensino da Investigação Operacional estava a contribuir para o desenvolvimento de competências para enquadrar, formular e resolver problemas complexos. Neste sentido, salientou a necessidade do desenvolvimento de competências de formulação e estruturação de problemas através do ensino baseado em problemas complexos. Margarida Vaz Pato, em relação ao ISEG, explicou a forma como os currículos foram adaptados, referindo que a passagem das licenciaturas de 5 para 4 anos levou a um corte nas unidades curriculares de matemática, sendo algumas destas transformadas em unidades optativas. Apesar disso, esta redução não teve grande impacto nas disciplinas de Investigação Operacional. Referiu que as competências adquiridas seriam reveladas pelo trabalho realizado e que tal não poderia ainda ser avaliado dado que os primeiros licenciados só agora estão a chegar ao mercado de trabalho. O ISEG possui um observatório pedagógico e os resultados dos diversos inquéritos têm mostrado uma evolução positiva, realçando que as competências são definidas para o curso e não para as unidades curriculares, procurando sobretudo afirmar a coerência da estrutura curricular. Vários colegas comentaram as apresentações do painel, trazendo para o debate os processos de adaptação a Bolonha nas respectivas instituições. Algumas intervenções acentuaram a disparidade entre os meios colocados à disposição e os objectivos da reforma, o que acabou, passados estes anos, por mudar muito pouco nos processos de ensino e aprendizagem.

Após um curto intervalo, seguiu-se uma palestra por José Fernando Oliveira (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) subordinada ao tema Objectivos de aprendizagem no ensino da Investigação Operacional. Reconhecendo que o novo paradigma de Bolonha centra o ensino no estudante, o que resulta num aumento do trabalho do professor, iniciou a sua comunicação colocando a questão de como se verifica que as competências foram adquiridas.Com base nas formas verbais, que exemplificou pedindo aos presentes para realizarem um pequeno exercício, realçou que se as competências não forem demonstráveis não podem constituir um objectivo de aprendizagem. A palestra suscitou uma enorme participação da audiência, tendo sido discutidas várias questões ligadas à definição de objectivos de aprendizagem e aferição de competências. Após o almoço, seguiu-se a palestra pelo neurologista João Cerqueira (Universidade do Minho) sobre Como se aprende. Esta foi sem dúvida uma das palestra mais desafiadoras para a audiência que participou entusiasticamente, reconheça-se, pelo mérito do orador. João Cerqueira enunciando que aprender era igual a mudar o cérebro, falou das suas experiências como investigador em neurociências, citando vátios trabalhos de Eric Kandel sobre a aprendizagem da aplísia. Em seguida os colegas Maria Antónia Carravilla, José Fernando Oliveira, Ruy Costa, no tema Práticas de ensino da IO, apresentaram as suas experiências de ensino da Investigação Operacional. Importa realçar a enorme abertura que os colegas demonstraram ao colocarem ao juízo crítico de uma audiência as suas práticas de ensino, iniciativa que deve ser tanto mais realçada, pelo facto de ser pioneira e pelo que pode representar para o lançamento de um espaço de reflexão sobre boas práticas de ensino.

O Presidente da APDIO, Joaquim Júdice, encerrou o encontro lançando alguns desafios à audiência. Em particular, Joaquim Júdice referiu a necessidade de uma reflexão sobre onde se deve ensinar a Investigação Operacional, nomeadamente ao nível do ensino secundário, e qual poderá ser o contributo da APDIO. Da audiência surgiram várias achegas, nomeadamente, e sem ser exaustivo, pelas vozes de José Fernando Oliveira, Marília Pires, Ruy Costa e Arselio Martins, professor reformado do ensino secundário e autor do programa de Investigação Operacional do ensino secundário. Foi consensual que a APDIO como associação científica deveria assumir um papel preponderante na formação dos professores do ensino secundário, nomeadamente através de acções de formação e pela definição de conteúdos programáticos para o ensino secundário.

EVENTOS ORGANIZADOS PELA APDIO

Workshop em Bio-Optimização: Técnicas de Optimização Aplicadas à Biologia. 25 de Junho de 2011

Hotel Quinta das Lágrimas, Coimbra www.ccc.ipt.pt/~apdio/OptComb

Optimization 2011. 24 a 27 de Julho de 2011 Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa www.fct.unl.pt/optimization2011

Workshop IO nas Telecomunicaçoes. 4 Novembro de 2011 Hotel Quinta das Lágrimas, Coimbra www.ccc.ipt.pt/~apdio/IOTelecoms

PRÉMIO ISABEL THEMIDO 2011

Os Doutores L. P. Neves, L. C. Dias, C. H. Antunes e A. G. Martins foram galardoados com o Prémio Isabel Themido 2011 pela publicação do artigo "Structuring an MCDA model using SSM: A case study in energy efficiency" na revista European Journal of Operational Research.

INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO: VÍTIMA E PREDADOR

José Dias Coelho Faculdade de Economia Universidade Nova de Lisboa

1. Introdução

A investigação operacional expande-se no período pós 2ª guerra mundial até ao presente na charneira entre a matemática, estatística, engenharia, ciências de planeamento, geografia, psicologia, sociologia e muitas outras ciências, recebendo contributos dessas variadas ciências e oferecendo em troca contributos de rigor e resultados palpáveis de aplicabilidade prática nos domínios em que intervém.

Essa miscigenização sempre apresentou benefícios para ambas as partes. A investigação operacional fornece o modelo de análise e os algoritmos de resolução dos problemas associados a situações reais ou conjecturais que essas ciências abordam e recebe o conhecimento científico dos domínios abordados e a caracterização dos problemas sob análise.

Será que esta cooperação benéfica para ambas as partes, geradora de sinergias que conduziram à aceitação da investigação operacional nos vários domínios científicos e da sociedade, correspondente a movimentos de Pareto, na curva das soluções não dominadas, dos benefícios das várias ciências, se aplica também aos sistemas de informação?

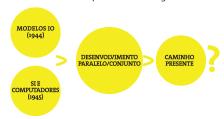
A questão que aqui se coloca, tem a ver com a partilha do reconhecimento e com os incentivos ao aperfeiçoamento da resolução algorítmica ou outra, entre a ciência que permite chegar à solução dos problemas – a investigação operacional - e a roupagem na recolha de dados e na apresentação da solução, bem como na integração nos sistemas organizacionais, para os quais a ciência dos sistemas de informação está mais vocacionada.

A tese que aqui se defende é que os sistemas de informação têm um carácter predador: Após integração do algoritmo de investigação operacional, por muito sofisticado que seja e exigente em inteligência e trabalho árduo, o que fica para as comunidades empresariais e mesmo para as comunidades científicas, é o sistema de informação, orientado ou desenhado para a situação em concreto.

Nesta perspectiva a investigação operacional perde a sua identidade, em favor dos sistemas de informação. Se assim for, no longo prazo, a investigação operacional tenderá a representar um papel secundário e poderá perder o estímulo ao seu desenvolvimento, se não se encontrar forma de inverter a situação, problema que está naturalmente a cargo da comunidade dos investigadores de IO.

2. Metodologia

A investigação operacional e os sistemas de informação têm raízes comuns no período final da 2ª querra mundial.



A abordagem que adoptámos consistiu em procurar termos de IO como metadados em bases de dados bibliográficas e comparar as referências a IO e a SI para cada um dos termos de metadatos, observando a eventual dominância entre estes dois domínios científicos.

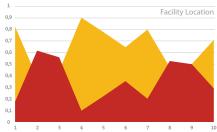
O termos seleccionados foram: 1- Logistics; 2 - Facility Location; 3 - Scheduling; 4 - Routing; 5 - Production Planning; 6 - Resources Planning.

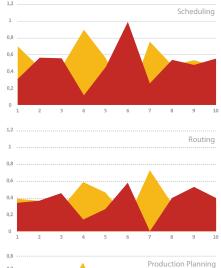
As bases de dados bibliográficas pesquisadas incluem um total de 12500 publicações científicas e foram: 1- Academic Search Premier; 2 - ACM; 3 - Annual Reviews; 4 - Business Source Premier; 5 - Elsevier; 6 - IEEE; 7 - Library of Congress; 8 - SIAM; 9 - Web of Science; 10 - Wiley Interscience.

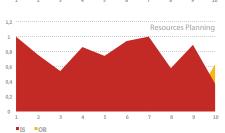
3. Resultados da Análise

Os resultados obtidos, em que no eixo horizontal a numeração indica as bases de dados bibliográficas, conforme a listagem acima, estão representados sinteticamente nos gráficos abaixo:









4. Conclusões

Nos gráficos apresentados no ponto anterior pode constatar-se uma clara dominância do termo sistemas de informação em: Resources Planning, Production Planning e Logistics. Em sentido oposto, há dominância da investigação operacional no termo de metadados em Facility Location, não havendo dominancia clara em Routing e Scheduling.

Estes resultados dão uma ideia dos riscos a que a ciência da investigação operacional está submetida de perda de identidade e redução dos incentivos ao seu desenvolvimento e simultaneamente são um grito de alerta para que os investigadores de IO encontrem os meios para proteger a sua criação científica que justamente merecem.

OPTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR E APLICAÇÕES

A. Ismael F. Vaz

Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho

RESUMO

Um problema de optimização é matematicamente formulado como um problema de maximização ou minimização de um determinado objectivo, reflectido no problema através de uma função matemática que se designa por função objectivo. É ainda comum a existência de condições auxiliares, para que a solução encontrada para o problema, tenha um determinado sentido prático (seja implementável). Essas condições auxiliares são formuladas matematicamente como restrições do problema. Quando a definição do problema de optimização envolver alguma função não linear o problema diz-se de optimização não linear. Alguns dos conceitos aqui apresentados são válidos, quer para a optimização linear, quer para a optimização não linear, pelo que se opta por descriminar apenas quando tal é necessário.

A optimização é uma área com inúmeras aplicações, fazendo com que as ferramentas por si propostas e desenvolvidas tenham sido utilizadas ao longo dos séculos, nas mais diversas áreas científicas.

Os problemas de optimização são classificados quanto ao tipo de variáveis utilizadas, funções matemáticas envolvidas, restrições consideradas, e solução que se pretende obter. A selecção da melhor ferramenta para resolver um determinado problema está então, naturalmente, relacionada com a classificação do problema que se pretende ver resolvido.

Neste artigo pretende-se dar uma visão muito breve sobre a optimização não linear e apresentar duas aplicações, no sentido de ilustrar o seu potencial prático.

INTRODUÇÃO

A optimização é uma área científica bastante activa, na qual se procura resolver um determinado problema, maximizando ou minimizando um determinado objectivo. Pretende-se, por exemplo, gerir um determinado negócio maximizando o lucro, minimizando os custos ou risco. No entanto, a determinação da estra-

tégia óptima poderá estar sujeita a um conjunto de condições que definem a sua possibilidade de implementação. Um problema de optimização é então matematicamente formulado como um problema de maximização ou minimização de um determinado objectivo sujeito a um conjunto de condições a que a solução deve obedecer.

Na formulação de um problema de optimização, o surgimento de alguma função não linear nas variáveis determina que o problema de optimização resultante seja designado por não linear, em oposição ao problema de optimização linear em que todas as funções envolvidas são lineares

Os problemas de optimização não linear aparecem nas mais diversas áreas, tais como na engenharia, física, economia, finanças e ciências da saúde. A optimização tem sido utilizada ao longo dos séculos, uma vez que a sua aplicação é muito vasta.

A optimização cobre tópicos tão variados desde a modelação matemática do problema em si, passando pelo estudo das suas propriedades teóricas, o desenvolvimento de algoritmos para a sua resolução, e a sua implementação (em códigos computacionais, designados por solvers).

Neste artigo pretende-se fazer uma breve introdução à optimização não linear, ilustrando a sua aplicabilidade em dois problemas reais, um na área da engenharia e outro na astrofísica. Na próxima secção descreve-se formalmente um problema de optimização não linear e introduz-se alguma terminologia (para uma revisão mais completa destes tópicos veja-se, por exemplo, [3] [6]). A caracterização dos problemas de optimização não linear é de extrema importância, uma vez que a selecção do algoritmo/software a utilizar na sua resolução (solver) está altamente dependente das características do problema.

Na Secção 3 apresentam-se as duas aplicações que ilustram o potencial da optimização não linear, concluindo-se na Secção 4.

2 NOTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE OPTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR

Considere-se o seguinte problema de optimização

$$\begin{aligned} & \min_{\omega \in \mathbb{R}^n} f(\omega) \\ & s.a & g_i(\omega) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m \\ & h_j(\omega) = 0 \quad j = 1, \dots, p, \end{aligned} \tag{1}$$

onde $f(\omega)$ é a função objectivo, neste caso, e sem perda de generalidade, a minimizar (a solução de um problema de maximização pode ser trivialmente obtida, através da resolução de um problema de minimização, em que se considera como função objectivo a função simétrica da função objectivo do problema de maximização). A região admissível consiste no conjunto de pontos definidos pelas restrições de desigualdade $g_i(\omega) \le 0$, i = 1,...,m e pelas restrições de igualdade $h_i(\omega) = 0, j = 1,..., p$. Adicionalmente, designa-se por $\Omega \subseteq \Re^n$ a região admissível, i.e. $\Omega = \{ \omega \in \Re^n : g_i(\omega) \le 0, i = 1,...,m$ e $h_i(\omega) = 0, j = 1,..., p$ O conjunto Ω define o conjunto de pontos que são admissíveis para o problema. Com alguma frequência, em problemas práticos, os pontos não pertencentes a Ω são pontos para os quais a função objectivo nem sequer está definida.

Um problema de optimização não linear caracteriza-se pela existência de, pelo menos, uma função não linear envolvida na definição do problema (quer seja a própria função objectivo, quer seja alguma das funções que definem a região admissível do problema). Em oposição à optimização não linear temos a optimização linear, em que todas as funções envolvidas na definição do problema são funções lineares. Vale a pena destacar o caso da optimização quadrática, pela im-

portância que tem na própria optimização não linear, que é caracterizada por possuir uma função objectivo quadrática sujeita a restrições, caso existam, lineares.

Na definição do problema (1) é permitido que m=0 e/ ou p=0 significando que o problema não possui restrições do tipo desigualdade e/ou de igualdade, respectivamente. No caso em que m=0 e p=0 designamos o problema (1) como um caso de optimização sem restrições. Quando $m \ge 1$ ou $p \ge 1$ estamos na presenca de um problema de optimização com restrições.

Na optimização não linear, as diversas soluções do problema (1) são caracterizadas por um conjunto de condições, designadas por condições de optimalidade. Estas condições usam, quando existem, as derivadas das funções envolvidas na definição do problema. Os diferentes algoritmos existentes para determinar uma solução do problema (1) recorrem a processos iterativos. Estes processos iterativos iniciam-se com uma estimativa da solução (aproximação inicial) e, iteração após iteração, geram uma sucessão de valores que convergem para a solução do problema de optimização. As condições de optimalidade representam aqui um papel importante, quer na definição do processo iterativo em si, quer na definição de critérios de paragem do processo iterativo, uma vez que definem condições que um determinado ponto, a ser solução, deve obedecer.

Em relação ao tipo de variáveis presentes no problema (1), este pode ser classificado como um problema de optimização contínua, uma vez que todas as variáveis apresentadas podem tomar valores contínuos em Ω . No entanto, em problemas práticos de optimização, é frequente o aparecimento de variáveis que podem apenas tomar valores discretos (inteiros) ou mesmo categóricos. Um problema em que são consideradas apenas variáveis cujos valores possíveis são inteiros diz-se de optimização (programação) inteira. Por outro lado, se um determinado problema apresentar, quer variáveis do tipo contínuas, quer variáveis do tipo inteiro, diz-se de optimização inteira mista.

Na optimização global pretende-se determinar um minimizante global (minimizante absoluto) para o problema (1), i.e., determinar um ω^* tal que $f(\omega^*) < f(\omega)$, $\forall \omega \in \Omega$. As técnicas utilizadas para resolver globalmente o problema (1) são substancialmente diferentes das técnicas tradicionais de optimização não linear. Enquanto que as condições de optimalidade para optimização não linear caracterizam, de uma forma geral, os óptimos locais (mínimos relativos), para os óptimos globais não existem tais condições de optimalidade. Mesmo fornecendo um minimizante global como aproximação inicial, a um qualquer algoritmo para optimização global, este encontrará dificuldade em demonstrar que de facto se trata de um óptimo global. Há no entanto alguns casos particulares de problemas de optimização não linear em que o cálculo de óptimos globais pode ser simplificado. Por exemplo, no caso de um problema de optimização sem restrições em que a função objectivo é convexa (em que sabemos que todo o minimizante local é global), ou no caso da função objectivo ser uma soma de quadrados (problema de mínimos quadrados) em que se conhece um minorante da função objectivo (sendo uma soma de quadrados um minorante é, obviamente, zero). Por vezes confundem-se os conceitos de optimização global e de convergência global. Convergência global significa que um determinado algoritmo é convergente a partir de qualquer aproximação inicial (globalmente convergente), mas não converge necessariamente para um óptimo global.

Uma área emergente da optimização não linear é a relativa à optimização sem derivadas. Com a crescente capacidade computacional é espectável que problemas de optimização não linear, anteriormente impossíveis de resolver devido aos custos computacionais envolvidos, surjam com mais frequência. Em muitos problemas práticos é frequente que o cálculo de valores da função objectivo seja afectado por ruído numérico (por exemplo, resultante da discretização de um sistema de equações diferenciais), ou que seja do tipo caixa-preta (em que a expressão matemática que define a função objectivo é desconhecida e tratada como uma caixa fechada). Neste tipo de problemas de optimização não é possível obter as derivadas da função objectivo, nem de as estimar (por exemplo, usando diferenças finitas). As restrições do problema podem inclusive funcionar como um oráculo, em que apenas se consegue classificar um ponto como admissível/não admissível para o problema. Note-se que a presença de funções complexas na definição do problema, mas em que é possível a sua formulação matemática numa linguagem de modelação (por exemplo, em AMPL [2]), não é um argumento válido para o uso destas técnicas de optimização. Algumas das linguagens de modelação existentes requerem apenas que o utilizador forneça as expressões matemáticas das funções envolvidas na definição do problema, sendo as primeiras e segundas derivadas, a existirem e a serem regueridas pelo solver, obtidas por diferenciação automática. Os algoritmos para optimização sem derivadas apresentam uma taxa de convergência relativamente alta nas primeiras iterações (ou avaliações da função objectivo), sendo progressivamente mais lentos quando se aproximam da estacionaridade.

Embora não muito conhecida, a optimização semi-infinita possui também inúmeras aplicações. A optimização semi-infinita constitui uma generalização do problema (1) em que se considera que o número de restrições de desigualdade é infinito, i.e., $m = \infty$ (não são do conhecimento do autor problemas em que se considera um número infinito de restrições de igualdade, pelo que se considera que p é um valor finito). A designação de semi-infinita vem do facto de o problema ter um número finito de variáveis sujeitas a um número infinito de restrições. De uma forma geral um problema de optimização semi-infinita é caracterizado por possuir um número infinito de variáveis ou um número infinito de restrições, mas não ambos (neste caso se-

ria de optimização infinita). Nos problemas práticos é usual assumir-se que o número infinito de restrições pode ser descrito por um funcional, i.e., a expressão $g_r(\omega) \leq 0, t=1,\ldots,\infty$ pode ser escrita como $g(\omega,t) \leq 0,$ $\forall t{\in}T.$ A este tipo de restrições designamos por restrições semi-infinitas, e na sua forma mais geral o problema de optimização semi-infinita pode possuir várias destas restrições. Nos problemas práticos da engenharia, estes problemas são caracterizados por possuírem pelo menos uma restrição semi-infinita que deve ser satisfeita num dado período (infinito) de tempo ou espaço.

O problema de optimização apresentado em (1) pode então ser caracterizado quanto ao tipo de variáveis, tipo e número de restrições, propriedades das funções envolvidas, e quanto ao tipo de solução pretendida. As classificações apresentadas são algumas das mais comuns em optimização não linear, dando-se particular destaque à optimização semi-infinita e à optimização sem derivadas devido às aplicações que irão ser descritas na Secção 3. Estando esta exposição longe de ser exaustiva, o leitor é direccionado para o endereço de Internet http://plato.asu.edu/guide.html ([4]) onde poderá encontrar uma listagem mais completa da terminologia usada em optimização não linear, bem como uma listagem do software (solvers) existente para a resolução dos diversos tipos de problemas apresentados.

A consulta do projecto NEOS server em www.neos--server.org também pode ser uma mais valia na procura de solvers.

3 APLICAÇÕES NA ENGENHARIA E NA ASTROFÍSICA

Nesta secção descrevem-se uma aplicações práticas da optimização não linear, uma na área da engenharia e outra na astrofísica. A primeira consiste num problema de controlo da poluição atmosférica que é formulado como um problema de optimização semi-infinita [9]. A segunda resulta de um problema de estimação de parâmetros estelares [1]. Uma vez que a determinação do valor da função objectivo depende da simulação da evolução de uma estrela, obtida pelo uso de um código computacional do tipo caixa-preta com ruído numérico associado, resulta num problema de optimização sem derivadas.

3.1 CONTROLO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os modelos de dispersão atmosférica são modelos matemáticos que simulam a dispersão de poluentes em ambiente atmosférico e, em alguns casos, como esses poluentes reagem quimicamente na atmosfera. Os modelos de dispersão podem ser usados para estimar e prever a concentração de poluentes emitidos a partir de instalações fabris ou tráfego automóvel.

O modelo de dispersão do ar mais conhecido é o modelo Gaussiano, sendo o utilizado em [9] para modelar a dispersão de poluentes atmosféricos. No entanto, a abordagem proposta não é específica da utilização deste modelo. O modelo Gaussiano encontra-se na base da maioria dos modelos de dispersão existentes. Para introduzir as equações do modelo Gaussiano considere-se um referencial ortonormado em que a origem é fixa ao nível do solo. Os eixos X e Y estendem-se horizontalmente e de forma perpendicular entre eles. O eixo Z estende-se de forma vertical, e perpendicularmente ao plano XOY.

Sejam a e b respectivamente as coordenadas x e y da posição de emissão do poluente (chaminé). A emissão de poluição da chaminé ocorre a uma altura hacima do nível do solo (z = 0).

Assumindo que o penacho (crista de fumo emitida pela chaminé) tem uma dispersão Gaussiana, a concentração C (gm^{-3}) de gases ou aerossóis (partículas com menos de 20 de diâmetro), na posição x, y e z de uma fonte de emissão contínua com uma altura efectiva de emissão, H é dada por

$$C(x,y,z,H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} e^{\frac{-1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2} \left(e^{\frac{-1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2} + e^{\frac{-1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2} \right)$$

onde Q (gs^{-1}) é a razão uniforme de emissão de poluentes, U (ms^{-1}) é a velocidade média do vento que afecta o penacho e, $\sigma_y(m)$ e $\sigma_z(m)$ são os desvios padrão da distribuição da concentração do penacho ao longo dos planos horizontais e verticais, respectivamente. Y é dado

por
$$Y = (x-a)\operatorname{sen}(\theta) + (y-b)\cos(\theta)$$

onde $\,\theta\,(rad)\,$ é a direcção média do vento $(0\leq\theta\leq2\pi)$. Embora na Equação (2) a variável x não apareça de forma explícita, os desvios padrão σ_y e σ_z dependem da variável X dada por

$$X = (x - a)\cos(\theta) - (y - b)\sin(\theta). \tag{4}$$

As equações (3) e (4) aplicam uma mudança de coordenadas ao ponto de emissão da poluição na direcção do vento médio, e o segundo termo exponencial em (2) contabiliza a reflexão da poluição no solo. Os parâmetros Gaussianos $\sigma_{\rm y}$ e $\sigma_{\rm z}$ dependem da distância à fonte emissora, contabilizando a turbulência atmosférica.

A altura efectiva de emissão, H, é a soma da altura física da chaminé, h (m), e da elevação do penacho, ΔH (m). São várias as equações possíveis para modelar a elevação do penacho ΔH . Esta elevação é proporcional à velocidade de saída do gás e à flutuabilidade do penacho (relacionada com a temperatura de saída dos gases), e inversamente proporcional à velocidade do vento e aos parâmetros da classe de estabilidade (quando mais estável mais baixo será o penacho). A fórmula mais usada para determinar a elevação do penacho em atmosferas estáveis deve-se a Briggs, sendo dada por:

$$\Delta H = 2.6 \left(\frac{F}{Us} \right)^{\frac{1}{3}}$$

onde F o parâmetro de flutuabilidade e s o parâmetro de estabilidade da atmosfera. O parâmetro de flutuabilidade F é determinado por:

$$F = 2.6 \frac{d^2 V_o g \left(T_o - T_e\right)}{4T_o},$$

onde d (m) representa o diâmetro interno da chaminé, V_o (ms^{-1}) a velocidade de saída do gás, g a aceleração da gravidade (9.806 ms^{-2}), T_o (K) a temperatura de saída do gás e T_o (K) a temperatura ambiente.

O parâmetro *s* da estabilidade atmosférica é determinado pela seguinte equação:

$$s = \frac{g}{T_o} \frac{d\theta}{dz},$$

onde $d\theta/dz$ representa o gradiente da temperatura potencial. Considera-se $d\theta/dz=0.020Km^{-1}$ como uma aproximação por defeito, assumindo uma atmosfera estável.

No sentido de descrever um cenário com múltiplas fontes é necessário estender a nossa notação. Seja C_p $i=1,...,\overline{n}$, a contribuição da fonte de emissão i para a concentração total de poluição. O uso do índice i estende-se também aos parâmetros específicos de cada fonte $(a_p \, b_p \, h_p \, d_p \, Q_p \, (V_o)_p \, \Delta H_p \, H_p)$.

Assumindo que os poluentes são quimicamente inertes, a sua concentração pode ser obtida por sobreposição das \overline{n} fontes poluidoras.

A concentração de poluição no ponto (x,y,z) pode ser calculada através da soma das contribuições individuais de cada fonte emissora

$$\sum_{i=1}^{\overline{n}} C_i(x, y, z, H_i).$$

No sentido de se obter o controlo óptimo da poluição atmosférica podem ser formulados diferentes problemas de optimização semi-infinita.

Na fase de planeamento, o cálculo da altura mínima das chaminés, mantendo o nível de poluição no solo abaixo de um determinado limiar $C_{\rm 0}$, numa determinada área \overline{R} , pode ser formulado como

$$\min_{h=(h_1,\dots,h_{\overline{z}})\in\Re^{\overline{z}}} \sum_{i=1}^{\overline{n}} f_i(h_i)$$

$$S.a. \quad \sum_{i=1}^{\overline{n}} C_i(x,y,0,H_i) \le C_0$$

$$h_h \le h \le h_h, \forall (x,y) \in \overline{R},$$
(5)

onde $f_i(h_i)$, $i=1,\ldots,\overline{n}$, são funções do custo de construção associado a cada chaminé. As restrições do tipo limites simples $h_{lb} \leq h \leq h_{ub}$ são consideradas componente a componente e permitem considerar limites legais e técnicos na construção das chaminés, respectivamente.

Para uma dada região \overline{R} , com fontes fixas de emissões de poluição, a concentração da poluição máxima I^* pode ser estimada resolvendo o seguinte problema de optimização:

$$\min_{l \in \mathbb{R}} I$$

$$s.a. \sum_{i=1}^{\overline{n}} C_i(x, y, 0, H_i) \le I, \forall (x, y) \in \overline{R}$$
(6)

Os pontos $(x^*,y^*) \in \overline{R}$ onde $\sum_{i=1}^{\overline{n}} C_i(x^*,y^*,0,H_i) \le l^*$ são óptimos globais (onde a concentração de poluição máxima é atingida) que tornam a restrição activa (a restrição é verificada como uma igualdade), sendo estes os locais onde as estações de controlo devem ser posicionadas.

Uma terceira formulação consiste na determinação da redução da emissão de poluentes por forma a cumprir os limites legais existentes numa determinada região. O custo mínimo de produção (custo mínimo com a limpeza), enquanto que a poluição é mantida abaixo de um dado limiar $C_{\rm OP}$ pode ser obtido através da resolução do seguinte problema de optimização:

$$\min_{\substack{r_1, \dots, r_n \in \mathbb{R}^n \\ S.AB}} \sum_{i=1}^{\overline{n}} f_i(r_i)$$

$$\sum_{i=1}^{\overline{n}} (1 - r_i) C_i(x, y, 0, H_i) \le C_0, \ \forall (x, y) \in \overline{R},$$
(7)

onde $f_i(r_i)$, $i=1,\ldots,\overline{n}$ é o custo pago pela redução na fonte i (limpeza ou não produção) e $r_1,\ldots,r_{\overline{n}}$ são as percentagens de redução de poluição.

Os problemas de optimização propostos ((5), (6), e (7)) pertencem à classe dos problemas de optimização semi-infinita. Se considerarmos que $f_i(r_i)$, $i=1,\ldots,\overline{n}$, são funções lineares então o problema (7) pertence à optimização semi-infinita linear.

Instâncias dos problemas de optimização aqui descritos foram propostas e resolvidas usando o solver NSIPS [7]. Por uma questão de brevidade, os resultados numéricos não são aqui reportados, mas o leitor pode consultar [9] para uma discussão completa. Os problemas modelados em SIPAMPL [8] podem ser obtidos através da página na Internet do autor em www.norg.uminho.pt/aivaz.

3.2 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS ESTELARES

A modelação de estrelas, através do uso de modelos teóricos de estrelas, é um problema não trivial devido à existência de um grande número de parâmetros desconhecidos em comparação com o número de parâmetros observáveis.

Tipicamente a análise espectroscópica das estrelas permite determinar a metalicidade (abundância de elementos químicos que não o hélio ou o hidrogénio) (Fe/H), a temperatura de superfície (T_{eg}), e a aceleração da gravidade à superfície da estrela ($\log g$). No caso das estrelas mais próximas a luminosidade total da estrelas (L) também pode ser determinada com precisão. A determinação de parâmetros desconhecidos, tais como a massa e a idade, podem obter-se através de um ajuste dos resultados dos modelos de evolução estelar aos valores conhecidos, no Diagrama de Hertzsprung-Russel (HRD), ou usando métodos mais sofisticados, como a técnica Bayesiana.

A posição no HRD é função da massa estelar (M), das abundâncias iniciais de hélio (Y) e de hidrogénio (X) (a abundância inicial de metais pode ser obtida usando a relação Z=1-X-Y), e da idade t_{\oplus} . No entanto, são necessários dois parâmetros adicionais para descrever os

processos convectivos no interior da estrela: o parâmetro de convecção (α) e o parâmetro de overshooting (ov). No sentido de modelar, de forma apropriada, uma estrela, é necessário determinar estes seis parâmetros.

Usando o software CESAM [5] e para uma dada estrela com valores específicos para estes seis parâmetros (M, f_{\oplus} , X, Y, α , e ov), obtém-se a partir da simulação a temperatura superficial efectiva T_{egr} , a luminosidade L, e o raio R da estrela, a partir do qual se pode obter a gravidade estelar considerando $g=27397M/R^2$, em que M e R estão em unidades do Sol.

Do ponto de vista observacional, obtêm-se estimativas para a metalicidade Z/X, a luminosidade L, a temperatura efectiva $T_{\rm eff}$ e a gravidade g. Encontram-se também disponíveis os erros absolutos para todas as quantidades observadas.

Consideram-se então quatro parâmetros estelares observáveis e seis parâmetros estelares desconhecidos. A metodologia proposta consiste no cálculo dos seis parâmetros estelares, através da resolução de um problema de optimização em que a função objectivo reflecte o ajuste entre os valores observados e simulados.

O problema de minimização é então definido como

$$\min_{M, \ell_{0}, J, J, g, ov} \left(\frac{T_{eff} - T_{eff, obs}}{\delta T_{eff, obs}} \right)^{2} + \left(\frac{L - L_{obs}}{\delta L_{obs}} \right)^{2} + \left(\frac{Z}{X} + \left(\frac{Z}{X} \right)_{obs} \right)^{2} + \left(\frac{g - g_{obs}}{\delta g_{obs}} \right)^{2}$$

$$\text{Sujeito a}$$

$$(\underline{M}, t_{\oplus}, \underline{X}, \underline{Y}, \underline{\alpha}, \underline{ov}) \leq (M, t_{\oplus}, X, Y, \alpha, ov) \leq (\overline{M}, \overline{t_{\oplus}}, \overline{X}, \overline{Y}, \overline{\alpha}, \overline{ov})$$

onde Z=1-X-Y. O subscrito obs e o prefixo δ denotam os dados observados e os correspondentes erros absolutos, respectivamente.

Os vectores $(\underline{M}, \underline{I_0}, \underline{X}, \underline{Y}, \underline{\alpha}, \underline{ov})$ e $(\overline{M}, \overline{I_0}, \overline{X}, \overline{Y}, \overline{\alpha}, \overline{ov})$ representam limites inferiores e superiores nas variáveis, respectivamente. Estes limites simples são escolhidos como representativos de estrelas do tipo espectral FGK de População I, que correspondem ao tipo de estrelas abordadas em [1].

Note-se que a função objectivo do problema (8) é não linear nas variáveis $(M,t_{\rm gy}~X,Y,\alpha,{\rm e}\,o{\rm v})$, uma vez que a sua avaliação depende da solução das equações diferenciais da evolução estelar (por simulação usando o software CESAM). O problema de optimização não linear consiste então num problema inverso ou de estimação de parâmetros baseado em simulação, para o qual o cálculo da função objectivo é dispendioso (cerca de um minuto) e cujas derivadas não estão disponíveis. A função objectivo é ainda afectada por ruído numérico resultante da resolução numérica de um sistema de equações diferenciais que governam a evolução estelar.

Um solver apropriado para resolver o problema (8)-(9) é o PSwarm [10], uma vez que é capaz de abordar a optimização global sem o recurso a derivadas. O algoritmo implementado pelo PSwarm consiste num mé-

todo de procura directa combinado com uma metaheurística de enxame (colónia) de partículas. O solver PSwarm mostrou ser competitivo para um conjunto grande de problemas de optimização com limites simples, quando comparado com outros solvers adequados a optimização global sem derivadas [10].

A necessidade de usar o solver PSwarm no problema de ajuste de parâmetros estelares, fomentou o seu desenvolvimento para computação paralela/distribuída.

A metodologia proposta para a estimação de parâmetros estelares foi validada usando o Sol e 5 estrelas fictícias. Sendo o Sol a estrela mais próxima (e por isso melhor conhecida), o seu uso na validação da metodologia proposta é incontornável. As estrelas fictícias foram geradas de forma aleatória dentro dos limites simples considerados. Através da simulação foram obtidos os valores observáveis que foram utilizados para validar a metodologia proposta.

Foram obtidos resultados numéricos para 193 estrelas (embora nem todas tenham sido utilizadas na análise dos resultados) para as quais se possui observações. Para a aplicação desta técnica a um conjunto de 193 estrelas seriam necessários cerca de $193 \times 2000 \times 25 \approx 18$ anos de tempo computacional, uma vez que foi imposto um limite de 2000 cálculos para a função objectivo, e efectuaram-se 25 execuções para cada estrela (sendo o PSwarm um algoritmo estocástico, diferentes execuções podem conduzir a resultados diferentes). Cada avaliação da função objectivo demora cerca de um minuto, tendo as diversas avaliações sido efectuadas nas plataformas Centopeia (Universidade de Coimbra), SE-ARCH (Universidade do Minho), e numa fase final na Mi-lipeia (Universidade de Coimbra).

Uma análise mais detalhada dos resultados obtidos para o conjunto de estrelas está, mais uma vez, fora do âmbito deste trabalho. O leitor mais interessado nesta temática pode consultar a página da Internet, referente a este trabalho, em www.norg.uminho.pt/aivaz/astro.

4. CONCLUSÕES

Neste artigo introduz-se, de uma forma breve, a optimização não linear. Apresenta-se alguma terminologia utilizada para classificar os diversos problemas de optimização. Essa classificação é de notória importância, uma vez que a escolha dos algoritmos (solvers) está estritamente ligada à estrutura do problema que se pretende resolver.

No sentido de ilustrar o potencial de aplicação da optimização não linear, descrevem-se dois problemas práticos, em que o autor esteve directamente envolvido. O primeiro surge na área da engenharia e é formulado como um problema de optimização semi-infinita. O segundo problema resulta da estimação de parâmetros estelares, sendo oriundo da área da astrofísica.

Sendo a optimização não linear uma área com forte aplicação prática, pretende-se também que o presente artigo sirva de motivação para o seu estudo mais aprofundado.

AGRADECIMENTOS

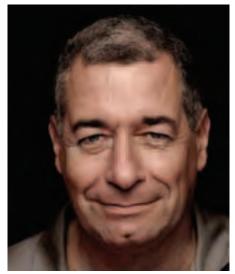
Agradeço à Ana Luisa Custódio (Universidade Nova de Lisboa) e à Teresa Monteiro (Universidade do Minho) pelos contributos na revisão deste texto

REFERÊNCIAS

- [1] J.M. Fernandes, A.I.F. Vaz, e L.N. Vicente. Modelling nearby FGK population I stars: A new form of estimating stellar parameters using an optimization approach. Astronomy & Astrophysics, 2011, to appear. www. norq.uminho.pt/aivaz/astro.
- [2] R. Fourer, D.M. Gay, e B.W. Kernighan. A modeling language for mathematical programming. Management Science, 36(5):519–554, 1990. www.ampl.com.
- [3] I. **Griva, S.G. Nash, e A. Sofer.** Linear and Nonlinear Programming. SIAM Society for Industrial and Applied Mathematics, second edition, 2009.
- [4] **H.D. Mittelmann.** Decision tree for optimization software, 2011. http://plato.asu.edu/quide.html.
- [5] **P. Morel.** CESAM: A code for stellar evolution calculations. Astronomy & Astrophysics, Supplement, 124:597–614, 1997. www.obs-nice.fr/cesam.
- [6] J. Nocedal e S.J. Wright. Numerical Optimization. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering. Springer, second edition, 2006.
- [7] A.I.F. Vaz, E.M.G.P. Fernandes, e M.P.S.F. Gomes. NSIPS v2.1: Nonlinear Semi-Infinite Programming Solver. Technical Report ALG/IV/5-2004, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2002. www.norg.uminho.pt/aivaz/nsips.html.
- [8] A.I.F. Vaz, E.M.G.P. Fernandes, e M.P.S.F. Gomes. SI-PAMPL: Semi-infinite programming with AMPL. ACM Transactions on Mathematical Software, 30(1):47–61, 2004.
- [9] A.I.F. Vaz e E.C. Ferreira. Air pollution control with semi-infinite programming. Applied Mathematical Modelling, 33:1957–1969, 2009.
- [10] A.I.F. Vaz e L.N. Vicente. A particle swarm pattern search method for bound constrained global optimization. Journal of Global Optimization, 39:197–219, 2007.

António Câmara

"... A UNIVERSIDADE TEM QUE ASSUMIR QUE CRIAR AS NOVAS INDÚSTRIAS É UMA DAS SUAS MISSÕES MAIS RELEVANTES"



Chief Executive Officer da YDreams Professor Catedrático da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Licenciou-se em Engenharia Civil no Instituto Superior Técnico em 1977. O PhD em Engenharia de Sistemas Ambientais foi conferido por Virginia Tech em 1982. Foi Post-Doctoral Associate no Massachusetts Institute of Technology (MIT) em 1983. Recebeu o título de Agregado pela Universidade Nova de Lisboa em 1992.

Qual a importância que atribui a esta formação no seu percurso profissional, nomeadamente no que respeita ao lançamento e à liderança da empresa Ydreams?

O meu interesse em modelação matemática e problemas ambientais e urbanos começou no Instituto Superior Técnico via Professores Luís Valadares Tavares e Manuel Costa Lobo. Depois aprofundei esse interesse nos EUA e, mais tarde através do meu grupo de investigação que integrou nas décadas de 80 e 90, cerca de oitenta pessoas. Trinta destas trabalham hoje na YDreams.

Risco é a palavra-chave para se alargar os horizontes. Os portugueses são conhecidos por arriscar pouco. Concorda? Como é que se lida com a incerteza?

Concordo que há uma enorme aversão ao risco na sociedade Portuguesa. Esta aversão pode ser explicada por vários factores. Um dos mais importantes é o medo de falhar. Evitar situações de incerteza é a melhor forma de não falhar.

No meu caso, foi a experiência como desportista que me habituou a lidar com as derrotas, desde cedo. Nos EUA, em que a minha bolsa de investigação era renovada numa base trimestral, habituei-me a lidar com a incerteza também a nível financeiro.

Mas em situações de incerteza, há também o outro lado: a possibilidade de se atingir a glória suprema.

Os Portugueses vão forçosamente aprender a viver com o risco, porque crescentemente vamos ter que competir globalmente. Nas nossas vidas vamos passar a conviver com o insucesso, mas também a poder almejar sucessos impensáveis.

Um dos primeiros modelos de simulação que desenvolveu no MIT focou-se na NBA (National Basketball Association), na tentativa de aumentar as suas audiências. Um dos componentes do modelo de simulação estudado teve que ver com a "linha dos três pontos" que acabou por ser adoptada. Qual o papel que a simulação pode ter na exploração de novos paradigmas/tecnologias?

O trabalho foi realizado em Virginia Tech, sob a direcção de Donald Drew. Drew publicou o livro "Traffic Flow Theory and Control" em 1968, uma das obras de referência em engenharia de transportes. Mas no final da década de 1970 decidiu dedicar-se a modelos de simulação dinâmica inspirados no trabalho de Jay Forrester do MIT. Em Virginia Tech, havia duas outras pessoas a trabalhar em simulação com alguma relevância: Richard Nance e Joseph William Schmidt.

Para além do modelo para a NBA, trabalhei num modelo de simulação do transporte de "icebergs" da Antártida para a Arábia Saudita, e acompanhei o desenvolvimento de um modelo para a reconstrução do Líbano. Estive também presente numa conferência onde se apresentaram as bases do que veio a ser o "SimCity".

Os modelos de simulação são de facto essenciais no desenvolvimento de muitos "vídeo-jogos". A sua relevância ultrapassa esse mercado, porque hoje muitos problemas fundamentais, nas mais variadas áreas, são resolvidos através do que se chamam os "serious games".

Essa foi a área em que me dediquei especialmente nos anos 90, conjugando os modelos de simulação com interfaces de realidade virtual. O objectivo era levar os princípios do SimCity ao ordenamento territorial e planeamento ambiental.

Desenvolvemos, na altura, todas as ferramentas necessárias para que Portugal dispusesse de um sistema desse tipo. Aliás mostrámo-lo na Expo 98 com o Portugal Digital, onde se podia voar virtualmente sobre o território.

Mas o projecto foi descontinuado e essa frustração foi determinante para criarmos a YDreams. Hoje não estamos mais dependentes de decisões políticas.

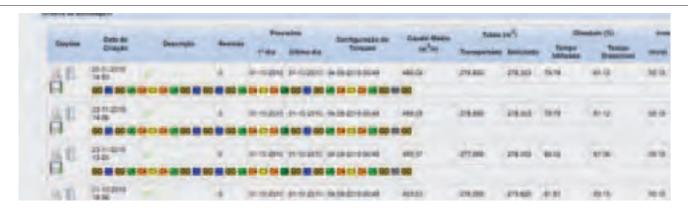
Embora a cooperação entre as universidades e as empresas se tenha acentuado nos últimos anos, a transferência de conhecimento ainda se processa a um ritmo bastante inferior ao de outros países desenvolvidos. De que forma se poderá intensificar esta ligação e como é que a universidade pode constituir um dos motores da economia nacional?

Em primeiro lugar, a Universidade tem que assumir que criar as novas industrias é uma das suas missões mais relevantes. Portugal tem que criar centenas de novas empresas baseadas no conhecimento e a Universidade está em posição privilegiada para o fazer. Os novos empreendedores têm que ser os professores e os estudantes. Infelizmente, não há o mínimo incentivo (pelo contrário) para os primeiros serem empreendedores.

A Universidade deve também seguir a política de Cambridge durante décadas: conceder toda a propriedade intelectual aos investigadores que a criaram. As Universidades são desastrosas gestoras de patentes. Mas os Professores podem transformar-se em bem sucedidos empresários que mais tarde darão parte da sua fortuna às Universidades. Foi o que sucedeu em Cambridge, que infelizmente mudou de política recentemente.

Numa Economia de Conhecimento, quais os papéis que a Investigação Operacional e Management Science podem ter?

A Investigação Operacional ajuda-nos a formular e resolver problemas complexos comuns na Economia do Conhecimento. É utilizada numa empresa como a YDreams não só em projectos como no desenvolvimento de software e na sua gestão.



IO EM ACÇÃO

ESCALONAMENTO DO TRANSPORTE DE PRODUTOS PETROLÍFEROS POR OLEODUTO COM GESTÃO Susana Relvas, Ana Paula E.D. Contra do Est

DE INVENTARIO NO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO Susana Relvas, Ana Paula F.D. Barbosa-Póvoa,
Centro de Estudos de Gestão,
Instituto Superior Técnico,
Universidade Técnica de Lisboa
Henrique A. Matos
Centro de Processos Químicos,
Instituto Superior Técnico,
Universidade Técnica de Lisboa

Resumo

A cadeia de abastecimento do petróleo (CAP) engloba várias entidades e funções, desde a exploração de crude, transformação e até à distribuição final. A competitividade neste sector tem levado os decisores a procurarem melhorias e novas estratégias a vários níveis, nomeadamente na vertente logística desta cadeia. Dentro deste problema a optimização da operação de oleodutos tem sido abordada desde os anos 1990 pela comunidade científica. A nível mundial, a investigação nesta área específica da CAP é bastante restrita, contando com um reduzido número de grupos de investigação com histórico na área, onde a ligação à indústria se torna essencial para concepção da solução e optimização do problema. A nível empresarial, tem havido interesse das empresas em estudar este problema.

No Instituto Superior Técnico e mais propriamente no Centro de Estudos de Gestão (CEG-IST) em colaboração com o Centro de Processos Químicos (CPQ) tem-se vindo a desenvolver conhecimento nesta área. Este conhecimento tem vindo a ser sedimentado em estreita colaboração com a Companhia Logística de Combustíveis, aqui brevemente relatada.

Introdução

A cadeia de abastecimento do petróleo (CAP) envolve um conjunto diversificado de operações desde a exploração do crude até à distribuição dos produtos finais passando pela refinação. As operações logísticas envolvidas são cruciais no contexto actual de elevada compe-

titividade requerendo uma gestão eficaz e eficiente, nomeadamente na secção downstream da cadeia, a qual engloba a distribuição dos produtos refinados. Adicionalmente, a cadeia petrolífera tem dimensão geográfica alargada, envolvendo vários países, localizações de infra-estruturas e entidades. A utilização de oleodutos veio tornar mais fiável, eficiente e com menores custos a deslocação de produtos entre pontos de produção e pontos de consumo. Um exemplo destes em Portugal é o do oleoduto multiproduto que interliga a Refinaria de Sines com o Centro de Distribuição operado pela Companhia Logística de Combustíveis (CLC) em Aveiras de Cima o qual movimenta actualmente sete produtos e requer um planeamento integrado entre o transporte e a gestão de inventário que respeite as limitações e características do sistema. Dado que não existe oferta comercial adequada de sistemas de apoio à decisão para este tipo de problema, gerou-se potencial de colaboração entre a CLC e o Instituto Superior Técnico (IST). Esta colaboração teve início em 2004, formalizada através do trabalho de doutoramento de Susana Relvas (Relvas, 2008), sob a orientação de Ana Paula Barbosa Póvoa e Henrique Matos, que obteve apoio do Programa de Doutoramento em Empresas da Fundação para a Ciência e Tecnologia suportado pela CLC e IST.

O trabalho de doutoramento gerou um conjunto de modelos de optimização para o escalonamento do transporte de produtos petrolíferos por oleoduto tendo em conta a gestão de inventário no centro de distribuição. Após conclusão do trabalho de doutoramento, a colaboração continuou no âmbito de um Contrato de Cooperação Científico-Tecnológico, com o objectivo de implementar os modelos de gestão de operações desenvolvido através da estruturação de um software de apoio à operação integrado no sistema de informação utilizado pela empresa.

As secções seguintes irão abordar os objectivos desta colaboração, definição do problema em estudo, trabalho desenvolvido e desenvolvimento do software de optimização. Finalmente, serão apresentadas algumas conclusões e directrizes para trabalho futuro.

Objectivos

O objectivo do trabalho de investigação conduzido pela equipa do IST em estreita colaboração com a CLC é o estudo do escalonamento do transporte de produtos através de oleodutos multiprodutos com integração da gestão de inventário no centro de distribuição localizado a jusante do oleoduto. Dada a vertente empresarial desta investigação, foi apontado um segundo objectivo que permitiu desenvolver um software para a optimização das operações neste sistema, com validação junto da CLC.

Definição do Problema

O sistema em estudo, apresentado na Figura 1, consiste num oleoduto multiproduto que é abastecido por uma refinaria. Assume-se que o abastecimento não está restringido, admitindo-se que o oleoduto não é o único

consumidor de produtos da refinaria. No entanto, de modo a interligar o plano de transporte e a gestão do inventário, no sistema em estudo, ao plano de produção da refinaria, pretende-se desenvolver soluções de base mensal ou, genericamente, com um horizonte temporal típico para um plano de produção numa refinaria. O transporte de produtos no oleoduto respeita restrições de caudal e de sequências entre produtos, que garantem a qualidade dos lotes bombeados ao longo do sistema. O oleoduto interliga a refinaria a um centro de distribuição que consiste num parque de tanques localizado numa zona geográfica consumidora. Cada tanque armazena um só produto e segue um ciclo de operações. Um tanque vazio recebe produto de um lote que irá completar a capacidade do tanque. Uma vez cheio, todos os tanques efectuam um período de inactividade o qual garante um período de repouso e um período de certificação do produto. Após este tempo, o tanque está pronto para fornecer clientes até que a sua capacidade útil esteja de novo vazia. Os clientes são abastecidos por via terrestre, consistindo tipicamente em camiões cisterna abastecidos a granel. A gestão deste sistema deverá optimizar um conjunto de indicadores operacionais.

Trabalho Desenvolvido

O problema em estudo caracteriza-se por conter vários tipos de restrições, como caudal, sequência de produtos, capacidades, tempos, entre outros. Além disso, a variedade das tarefas e operações a incluir é diversa. Neste sentido, e com base na revisão da literatura (Relvas, 2008), optou-se por utilizar a programação matemática para representação e optimização do problema. Desenvolveu-se um modelo de programação matemática do tipo linear inteiro misto (PLIM), cujas principais características são a representação i) temporal e ii) espacial do problema, o iii) nível de detalhe e a iv) representação dos clientes:

 Representação Temporal: o escalonamento de operações por programação matemática requer a adopção de uma representação do tempo. Neste caso, dada a diversidade de operações, foi escolhida uma escala de tempo contínua, onde os intervalos de tempo correspondem à bombagem de um novo lote para o oleoduto;

- ii) Representação Espacial: a representação da evolução dos lotes no interior do pipeline foi também representada de uma forma contínua, actualizando-se em cada intervalo de tempo o progresso de cada lote ou a sua descarga para armazenagem, caso este atinia o final do oleoduto:
- iii) Nível de Detalhe: estudaram-se duas forma de representação da capacidade de armazenagem. Numa primeira abordagem desenvolveu-se um modelo (Modelo I) de capacidade agregada, onde cada produto é armazenado apenas num tanque, cuja capacidade corresponde à capacidade total disponível para esse produto no centro de distribuição. Numa segunda fase (Modelo II), os tanques foram representados de forma desagregada;
- iv) Representação de Clientes: a previsão dos clientes num sistema deste tipo é frequentemente diária e por produto, variando conforme o dia da semana (dia útil ou fim de semana). Neste sentido, para tornar a representação dos clientes semelhante à realidade, a procura foi representada de forma discreta, sendo esta escala de tempo usada na gestão de inventário no parque de tanques. A zona de interface (descarga do oleoduto) deve traduzir a informação de uma escala de tempo para a outra.

A estrutura de optimização desenvolvida encontra-se na Figura 2, onde os modelos I (Relvas et al. 2006, Relvas, 2008) e II (Relvas, 2008) desempenham o papel nuclear da solução obtida. Os dados necessários são as condições iniciais do sistema, por exemplo inventário inicial, a previsão do consumo do mercado, por produto e por dia e os parâmetros que caracterizam o cenário, como por exemplo os caudais limite de bombagem. A decisão do nível de detalhe cabe ao utilizador, optando pelos modelos I ou II. Adicionalmente, os modelos podem ser inicializados com alguns valores provenientes da heurística de inicialização (Relvas et al. 2009, Relvas, 2008). Esta heurística foi desenvolvida com o obiectivo de reduzir os tempos de computação dos modelos Le II e tornar a estrutura de optimização passível de ser usada em tempo útil numa aplicação real. Esta heurística usa os dados de entrada do modelo para determinar que produtos irão entrar em ruptura de inventário primeiro, caso não sejam repostos. Partindo das prioridades obtidas, a heurística constrói sequências de produtos a bombear que permitam repor o volume total previsto a fornecer para os clientes. Desta forma, o impacto da sequência de produtos no desempenho dos modelos, devido à sua importância na construção da escala temporal, é diminuída. Em contrapartida, várias sequências são propostas com diferentes número de lotes a bombear.

Após correr o modelo, a solução obtida constitui então o escalonamento de operações no sistema. No entanto, o dinamismo do mercado do petróleo associado à duração do horizonte temporal da solução são propícios a que ocorram situações imprevistas, como por exemplo alteração da previsão de clientes ou indisponibilidade do volume previsto de um lote. Para tal, foi desenvolvida uma metodologia de escalonamento reactivo, onde as situações imprevistas são modeladas e incluídas no modelo (Relvas et al. 2007, Relvas, 2008). A solução actual é usada como base para o novo escalonamento, pretendendo-se minimizar o número de alterações necesárias

Os resultados obtidos permitem operar o oleoduto, incluindo sequência de produtos a bombear, volumes, caudais, tempos de paragem e paragens do oleoduto. No que diz respeito a resultados para a gestão de inventário, são obtidos os perfis de inventário por produto e por tanque (modelo II), bem como a monitorização das operações do parque de tanques.

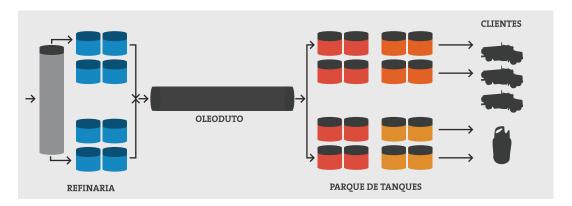
Os modelos I e II e o escalonamento reactivo usam um algoritmo comercial de optimização PLIM (ou MILP, do inglês Mixed Integer Linear Programming).

Os resultados obtidos permitem optimizar a operação do sistema, com tempos de computação por solução que variam desde os minutos até 1-2 h (a variabilidade está amplamente relacionada com a combinatoriedade do problema), variando a dimensão média do modelo l para um cenário de 1 mês entre 19000 e 30000 variáveis contínuas, 4500 a 6500 variáveis binárias e 34000 a 52000 restrições. A dimensão do modelo varia, para o mesmo cenário, com o número de lotes total a bombear. Os testes foram desenvolvidos em linguagem GAMS e usando o CPLEX como algoritmo PLIM.

Transferência de Tecnologia

A solução integrada desenvolvida para o problema em estudo foi incluída num software com uma interface desenvolvida para utilizadores que não possuem conhecimentos de optimização e programação matemática, e que operam sistemas deste tipo.

O utilizador pode definir o valor dos parâmetros e tempo de resolução do modelo PLIM, que são traduzidos internamente em linguagem GAMS. O modelo é gerado e a simulação é realizada sem intervenção do utilizador, obtendo-se no final todos os resultados de forma gráfica.



Os critérios de desenvolvimento desta interface pautaram-se pelo objectivo de obter uma ferramenta simples, com acesso por Web browser, usando linguagens e bibliotecas de uso livre, como por exemplo a linguagem Java, permitindo a fácil manutenção e futuro desenvolvimento. A Figura 3 mostra a página resumo de resultados da interface gráfica desenvolvida, onde cada sequência de produtos implementada no modelo I é apresentada juntamente com os vários indicadores operacionais por si despoletados.

A versão actual do software já se encontra instalada na CLC, estando todavia ainda numa fase de validação. Esta fase torna-se muito importante dada a dinâmica do sector petrolífero que origina alterações de operação no sistema em estudo as quais têm vindo a implicar uma adaptação das condições dos modelos desenvolvidos.

Conclusão e Trabalho Futuro

O trabalho desenvolvido permitiu estudar e desenvolver investigação na área da Cadeia de Abastecimento do Petróleo, nomeadamente num tipo de equipamento de operação complexa, os oleodutos. A metodologia de

optimização considerou a obtenção de resultados em tempo útil para um sistema real, que integra um oleoduto multiproduto à respectiva gestão de inventário junto do mercado. A metodologia proposta foi associada a uma interface de utilização, em validação actual numa empresa nacional.

Como trabalho futuro, pretende-se incluir o modelo II na interface, continuando a validação do software. Em termos de investigação, a equipa do IST pretende melhorar a representação do sistema e também a performance dos modelos I e II, estudando formulações alternativas. Neste tópico pretende-se ainda estudar quer a viabilidade de obter uma solução sem recurso à heurística de inicialização e, por outro lado, melhorar a metodologia híbrida aqui proposta, podendo comparar as soluções obtidas e comparar o custo-benefício de abdicar da solução óptima num ambiente real de aplicação.

O trabalho aqui descrito foi possível devido à parceria existente entre o IST (CEG-IST, CPQ) e a CLC a qual se pode apresentar como um exemplo de colaboração entre centros de investigação e a indústria. Esta colaboração permitiu ao IST aplicar seu conhecimento a uma realidade industrial e à CLC iniciar a construção de um sistema que pode ajudar à criação de vantagens competitivas.

Agradecimentos

A equipa de investigação do IST agradece todo o financiamento, informação e disponibilidade prestados pela equipa da CLC nesta colaboração, desde o ano de 2004 até à actualidade bem como à FCT (bolsa SFRH/BDE/15523/2004).

Referências

Relvas, S.; Matos, H.A.; Barbosa-Póvoa, A.P.F.D.; Fialho, J.; Pinheiro, A.S. (2006), Pipeline scheduling and inventory management of a multiproduct distribution oil system. Industrial & Engineering Chemistry Research 2006, 45, 7841-7855;

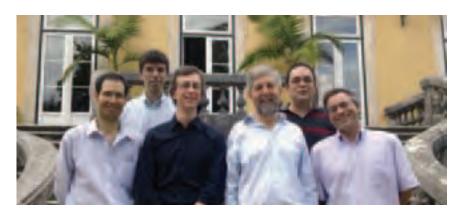
Relvas, S.; Barbosa-Póvoa, A.P.F.D.; Matos, H.A. (2007), Reactive Scheduling Framework for a Multiproduct Pipeline with Inventory Management. Industrial & Engineering Chemistry Research, 46 (17), 5659–5672;

Relvas, S. (2008), Optimal Pipeline Scheduling and Inventory Management of a Multiproduct Oil Distribution Centre, Tese de Doutoramento em Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa;

Relvas, S.; Matos, H.A.; Barbosa-Póvoa, A.P.F.D.; Fialho, J. (2009), Heuristic batch sequencing on a multiproduct oil distribution system. Computers and Chemical Engineering, 33, 712-730.

OPTIMIZAÇÃO NO DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA DA FCTUC E NO IT-COIMBRA

Os Optimizadores do Departamento de Matematica da FCTUC e do IT-Coimbra



A Optimização tem sido estudada, investigada e ensinada no Departamento de Matemática da FCTUC desde há muitos anos. Neste momento são professores neste Departamento os optimizadores Joaquim João Júdice, Luís Nunes Vicente, João Luís Soares, José Luís Santos e Marta Pascoal. Joaquim João Júdice faz parte do Instituto de Telecomunicações (IT), Marta Pascoal pertence ao INESC Coimbra e os três restantes integram a Linha de Análise Numérica e Optimização do Centro de Matemática da Universidade de Coimbra (CMUC). O Departamento de Matemática e o CMUC contarão ainda com o recém-doutorado João Gouveia a partir de Setembro. Fazem também parte do IT-Coimbra, com forte ligação aos demais, Luís Merca Fernandes e João Manuel Patrício, doutorados em Optimização.

O CMUC e o IT são um centro e um laboratório associado, respectivamente, pertencentes à rede de unidades de investigação apoiadas pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, estando ambos classificados com Excelente.

As áreas de interesse deste grupo de Optimização estão focadas no desenvolvimento, análise e implementação de algoritmos de optimização não-linear, complementaridade, optimização global, optimização esparsa, optimização governada por EDPs, optimização sem derivadas, optimização não-suave, optimização combinatória e programação inteira, optimização semidefinida, optimização em redes e optimização multiobjectivo. Um dos objectivos importantes dessa investigação é a resolução de problemas de aplicação em diversas áreas, tais como, ciências, engenharia, finanças, telecomunicações e transportes.

A actividade científica deste grupo de optimizadores deu origem, nos últimos cinco anos, a 1 livro, 5 monografias ou textos de apoio às aulas, 3 capítulos de livros, 1 edição de livro, 62 artigos em revistas internacionais com sistema de arbitragem, 63 comunicações convidadas em congressos (entre as quais várias plenárias em conferências reputadas), 30 participações em comissões de programa e organizadoras de congressos científicos, 22 seminários apresentados em instituições estrangeiras, várias dezenas de programas de software para a resolução numérica de problemas de optimização e a participação em corpos editoriais de 10 revistas do ISI. Esses números indicam a grande projecção internacional dos elementos do grupo, que, além disso, têm vindo a liderar alguns projectos financiados por diversas instituições (FCT, ESA, FP7, Agência Ciência Viva), de que são exemplos mais relevantes: "Derivative-Free Optimization and Applications", "Computational Mathematical Finance", "Non-linear Programming Solver for Space Trajectory Optimization (eNLP Solver)", "Versatility of Filtering Techniques in Non-Linear Programming Optimization", "Derivative-Free Optimization: Future Challenges and New Applications" e "ORAL - Optimal Resource Allocation", e a participar em outros projectos, igualmente financiados por essas instituições, tais como "Simulation and Optimization --- Advanced Computing in Basic Research", "In Pursuit of Increasingly Accurate Molecular Potentials and Dynamics", "MOSAL - Multi-Objective Sequence Alignment", "Discover the COSMOS: From Telescopes to Accelerators", "Encaminhamento Multicritério em Redes MPLS e WDM" e "Sol Para Todos"

O ensino de disciplinas da área da Optimização e Investigação Operacional é um dos outros desafios aliciantes dos optimizadores do Departamento de Matemática da Universidade de Coimbra, que assim têm vindo a proporcionar formação avançada em diversas unidades curriculares da Licenciatura em Matemática e de alguns menores desta Licenciatura, como por exemplo os de Computação, Engenharia Geográfica e Informação e Decisão, dos Mestrados em Matemática (em particular na sua especialização em Estatística, Optimização e Matemática Financeira), em Métodos Quantitativos em Finanças e de Engenharia Geográfica e do Doutoramento em Matemática, através do Programa Inter-Universitário de Doutoramento organizado conjuntamente pelas Universidades de Coimbra e do Porto. A aposta no ensino pós-graduado teve como resultado a orientação de 13 teses de Mestrado e 11 teses de Doutoramento nos últimos cinco anos. Realce-se ainda a co-orientação com empresas de 4 teses de mestrado durante esse período, tendo alguns desses alunos ficado a exercer as suas actividades profissionais nas respectivas empresas após a conclusão das suas teses.

INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTADORES DE COIMBRA (INESC COIMBRA)

Carlos Henggeler Antunes

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Universidade de Coimbra

O INESC Coimbra é uma Unidade de I&D constituída como Associação Privada Sem Fins Lucrativos, declarada de Utilidade Pública, maioritariamente participada pela Universidade de Coimbra. O INESC Coimbra prossegue as actividades do núcleo de Coimbra do INESC, que tiveram início em 1986, através da celebração de um acordo entre o INESC e a Universidade de Coimbra e de um protocolo específico para a área de Investigação Operacional. Desde então as actividades de I&D evoluíram, quer através da colaboração de novos investigadores, quer com o progressivo alargamento das áreas de intervenção.

O INESC Coimbra iniciou as suas actividades como instituição autónoma em Janeiro de 2002, integrando actualmente cerca de 70 investigadores (50 dos quais doutorados), de três departamentos da Faculdade de Ciências e Tecnologia (Engª. Electrotécnica e de Computadores, Engª. Civil e Matemática) e da Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Universidade da Beira Interior, bem como dos Institutos Politécnicos de Leiria, Coimbra, Setúbal, Viseu e Bragança. Uma delegação do INESC Coimbra está sedeada no Instituto Politécnico de Leiria.

O INESC Coimbra tem por objecto a realização de actividades de investigação científica, desenvolvimento tecnológico, transferência e integração de conhecimento, tendo por base disciplinas das Ciências de Engenharia e das Ciências de Gestão / Investigação Operacional, visando contribuir para a melhoria do desempenho global das organizações e para o progresso do conhecimento, numa abordagem de Engenharia de Sistemas (i.e., combinando criativamente teoria e metodologia, questões técnicas e factores humanos).

O INESC Coimbra é uma unidade avaliada e financiada ao abrigo do Programa de Financiamento Plurianual da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, tendo obtido a classificação de "Muito Bom" nas duas últimas avaliações. As principais áreas científicas que propiciam uma abordagem interdisciplinar aos problemas e dão suporte às actividades de I&D do INESC Coimbra são:

- Investigação operacional (análise multicritério / programação multiobjectivo, apoio à decisão em problemas combinatórios, apoio à decisão em ambientes com informação imprecisa ou incompleta, avaliação de eficiência de serviços e empresas, análise e avaliação de projectos de investimento),
- Engenharia do teletráfego e dimensionamento de redes de telecomunicações (métodos de encaminhamento dinâmico multiobjectivo, fiabilidade em redes de telecomunicações, modelação estocástica e simulação de tráfego em redes multi-serviço)
- Planeamento regional e urbano (circulação de veículos, outros problemas de rede - modelos formais, heurísticas e sistemas de informação geográfica, análise multicritério em planeamento regional e urbano e avaliação de impacto ambiental, sistemas de apoio à decisão espaciais com SIG, localização de equipamentos em planeamento urbano e territorial, renovação urbana)
- Utilização racional de energia e planeamento energético (análise de impacto da gestão da procura de electricidade, modelos de consumos de electricidade, modelos de apoio à decisão multicritério em gestão da procura de energia, análise de impacto da liberalização do sector eléctrico na gestão da procura, planeamento energético urbano, análise de qualidade de serviço em redes eléctricas, simulação dinâmica de edifícios, gestão de consumos de energia em edifícios, eficiência energética, inovação e integração de energias renováveis em edifícios, ventilação e avaliação da qualidade do ar interior em edifícios, veículos eléctricos: múltiplas fontes de energia, sistemas de carregamento e "vehicle to grid")

Mecânica computacional aplicada a sistemas estruturais (análise estrutural não linear, métodos numérico-computacionais para sistemas de grande dimensão - método dos elementos finitos e outros, avaliação da segurança de sistemas estruturais).

Em 2010, os investigadores do INESC Coimbra estiveram envolvidos em cerca de duas dezenas de projectos de I&D e de consultoria especializada, incluindo com empresas dos grupos EDP e PT, no âmbito do sistema científico nacional, incluindo o Programa MIT-Portugal, e ainda de cooperação internacional, em particular no âmbito de Acções COST (Cooperation for Science and Technology in Europe).

Outra vertente importante das actividades do INESC Coimbra tem sido a organização regular de eventos científicos, com especial destaque para a área de Investigação Operacional através do instrumento de conferências Mini-EURO: 15th Mini-EURO Conference "Managing Uncertainty in Decision Support Models, em 2004, 19th Mini-EURO Conference "Operational Research Models and Methods in the Energy Sector", em 2006, e 25th Mini-EURO Conference "Uncertainty and Robustness in Planning and Decision Making", em 2010.

O INESC Coimbra publica uma colecção de Relatórios de Investigação e Documentos, acessíveis para "download" em www.inescc.pt, de divulgação de resultados de I&D nas suas principais área de actividade.

BLOG DOS SÓCIOS

LOURENÇO E OS NÚMEROS

Meu jovem neto Lourenço, seis anitos turbulentos completados em Fevereiro último, anda às voltas com os números e com as operações sobre os números. Nada de especial até aqui, provavelmente sucede o mesmo com todas as crianças, mais ou menos por esta idade e, tal como ele, recordo-me de andar pelo corredor lá de casa contando incessantemente em voz alta em busca não sei de que limite até tropeçar numa parede sem porta ainda conhecida:

- Mãe?
- Sim!
- A seguir a mil setecentos e noventa e nove?
- Mil e oitocentos! respondia uma voz qualquer, nem sempre a mãe.

E eu prosseguia, sem agradecer nem perder tempo:

– Mil oitocentos e um, mil oitocentos e dois, mil
oitocentos e três

Este encontro de Lourenço com os números envolve subtilmente a primeira operação – a arte de pôr coisas por ordem, acima ou abaixo, antes ou depois, à frente ou atrás. Quando ele me pergunta a idade e depois, puxando pela manga do casaco, repete a mesma pergunta à avó, interrompendo sem cerimónia uma qualquer conversa desta que não entra no seu universo, está a alimentar a sua incipiente maquineta mental que, depois de alguns segundos de laboração, deita cá para fora o resultado, embrulhado num sorriso amalandrado: – Então o avô é mais velho que a avó!

O campo predilecto para a primeira operação é o jogo da glória, que ele joga deliciado com a avó, conhecendo já de cor os pontos singulares do percurso e martelando com o pião de madeira as casas que pode avançar. Infelizmente, a glória disponível é pouca imaginativa na ementa dos acidentes de percurso e recorre excessivamente às punições monetárias, que são incompreensíveis nesta idade e escurecem a magia dos castigos e dos prémios não pecuniários – tantas vezes sem jogar, volta ao princípio, avança ou recua tantas casas, vai para a casa atrás do último, e assim por diante – que tornam o jogo maravilhoso e fazem dele uma imagem geometricamente simples da vida real.

Já a segunda operação que preocupa Lourenço é mais complexa – a afectação. Está a chegar a ela por várias vias, ainda sem uma nítida ideia do que seja e da sua importância – jogando o dominó ou brincando no computador do avô com um jogozinho de emparelhar bonecos iguais e deitar fora que o deixa absorto por longo tempo, especialmente porque os ditos bonecos estão ocultos e destapá-los para os emparelhar reclama adicionalmente um exercício de memória. Julgo que ele ainda não terá a noção que esta operação da afectação – que aparece antes das operações aritméticas tradicionais – não exige que os conjuntos sejam numéricos mas agrada-me que ele se divirta com essa

pesquisa porque grande número de actos da vida corrente são operações de afectação não numérica e o seu ensino não está catalogado deste modo.

O desenrolar do quotidiano requer um permanente exercício de afectação que se manifesta de múltiplas e variadas maneiras - na arrumação dos obiectos no espaço disponível, na conjugação das tarefas a realizar ao tempo disponível, na escolha das despesas possíveis aos recursos financeiros disponíveis, na distribuição das tarefas às pessoas ou aos serviços disponíveis. Se apreciarmos com mais minúcia, poderemos até chegar à conclusão que muitos processos de decisão poderão ser fragmentados em afectações parciais e elementares; enfim, na sua forma mais canónica, a função afectação opõe um conjunto ilimitado ou de fronteira flexível – que, em geral, interpretará procura ou intenção - a um outro, limitado pela disponibilidade de tempo, de espaço ou de recursos - que configura oferta ou viabilidade.

Lourenço teve, há dias, a sua festa de finalista do Jardim de Infância, que assumiu com dignidade e postura de circunstância que nele parecem ser a coisa mais natural deste mundo, sem exibir traços de timidez ou poses de arrogância. Para o ano, será caloiro numa nova etapa da sua vida académica – ensino básico, primeiro ciclo – e entrará numa fase diferente da sua aprendizagem matemática – as operações elementares, a potenciação e a radiciação, as equações e as inequações, as funções no plano e no espaço e por aí fora. Graças aos progressos tecnológicos entretanto adquiridos, não terá de despender tempo precioso a aprender logaritmos e a manejá-los com destreza na execução de cálculos que outrora seriam inviáveis sem o recurso a essa técnica, nem terá de consumir horas sem fim a aprender a manipular a régua de cálculo, essa ferramenta museológica fascinante dos meados do século passado, porque qualquer calculadora barata de secretária, quando não mesmo o telemóvel em caso de aperto, poderão resolver com agilidade, rapidez e ubiquidade inúmeros problemas outrora quase insuperáveis. Lourenço navega afinal num mundo que milhões antes dele sonharam sem o ter – a conta fácil, a hora disponível em todo o lado, a imagem ubíqua, mais perto do acontecimento que o espectador real, o calor ou o frio disponíveis sem dificuldade, a palavra a qualquer distância, a acessibilidade fácil.

Dito de outro modo, Lourenço, na trilha matemática que agora inicia, liberto por força do avanço da tecnologia e do formidável aparelho industrial que vulgarizou a computação e a tornou acessível a todos em todos os lugares, tem – ou, mais exactamente, deveria ter – disponibilidade para aprender desde tenra idade

Eduardo Zúquete

a Matemática-de-Todos-os-Dias - que outra coisa não é senão a Investigação Operacional na sua forma mais límpida e mais autêntica. Criada para ajudar a resolver uma crise formidável no início daquela que viria a ser conhecida como a Segunda Guerra Mundial, a Investigação Operacional cresceu e afirmou-se num caldo de cultura de situações de conflito ou concorrência que desenharam o seu contorno e a sua indispensabilidade e geraram o enorme acervo cultural que hoje lhe pertence. A complexidade da vida moderna e a profundidade magnífica e insondável da sociedade da informação, que muda incessantemente e nos encaminha para quadros de vida desconhecidos e imprevisíveis, criaram situações que se podem considerar similares a certos quadros bélicos e o prodigioso receituário da Investigação Operacional poderá vir a ter, certamente, um amplo quadro de aplicação - se a sua cultura e o seu ensino forem, entretanto, convenientemente generalizados.

Mas, muito provavelmente, Lourenço, passada, com a poeira do tempo, a fase maravilhosa e breve do jogo da glória e do dominó, onde visitou, sem disso fazer a mais pálida ideia, a Teoria de Grafos e a Investigação Operacional, corre o risco de nunca mais se vir a aproximar destes domínios, em particular se for levado a escolher uma profissão afastada da área das Matemáticas. Toda a beleza da Matemática-de-Todos-os-Dias, de que todos deveríamos ser hábeis e reiterados praticantes ao longo de toda a nossa vida, vai-lhe ficar interdita e inexplicada para sempre, negando-lhe assim o acesso a um enorme e variado espaço cultural e privando-o de uma valência técnica de reconhecida importância e utilidade.

Penso que poderíamos ajudar a preparar o futuro da nossa Sociedade e a sobrevivência da nossa Cultura se as nossas gerações mais jovens começassem a aprender muito, muito cedo os fundamentos simples da Investigação Operacional, com este ou outro nome, pouco importa; e lhes fosse dito, com simplicidade e clareza, que todos temos capacidade matemática, maior ou menor, e que é preciso descobri-la, estimá-la e educá-la, com competência e serenidade, para nos ajudar a sobreviver na complexa, árdua e contingente vida de todos os dias.

Tenho para mim que esta será, talvez e na actualidade, a mais nobre, a mais exigente e a mais importante missão do ensino da Investigação Operacional.

EURO XXIV LISBON

Com o apoio da APDIO, Lisboa acolheu já 3 grandes conferências na área de Investigação Operacional: EURO VIII (em 1986), IFORS 93 (em 1993) e, mais recentemente, EURO XXIV (2010).

A 24ª Conferência da EURO, que teve lugar na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa de 11 a 14 de Julho de 2010, teve uma dimensão surpreendente e dificilmente ultrapassável. Vários factores terão contribuído para os números record atingidos. Um deles foi, sem dúvida, o efeito quase viral que a divulgação na Internet produziu, sobretudo nas derradeiras semanas de submissão de comunicações.

Foram necessários 3 anos para preparar a Conferência e, no início, havia a perspectiva de que o número de participantes fosse pouco superior a metade dos que acabaram por estar presentes. Apesar de todas as inesperadas dificuldades surgidas nas semanas que antecederam a Conferência, e se bem que eventos desta dimensão dificilmente consigam satisfazer todos os interesses individuais, pensamos ter conseguido dar resposta eficaz e proporcionado uma experiência globalmente positiva.

Tivémos a preocupação de demonstrar a nossa capacidade como País não apenas na nossa área de conhecimento mas em muitas outras áreas — do acolhimento ao design ou à gastronomia. Tudo foi feito no sentido de dar a conhecer aos visitantes que temos outros valores que vão para além daqueles que normalmente conhecem de nós ou daqueles que tipicamente encontram em conferências similares

Se bem que Portugal, e Lisboa em particular, tenham exercido um efeito de atracção turística indiscutível, é praticamente consensual que a elevada participação resultou também da crescente importância que a I.O. tem na resolução dos problemas do mundo actual.

Assim, apreciámos sobremaneira que a comunidade nacional de I.O., e de áreas afins, também tenha estado presente em força, encabeçando a lista do número de participantes por país de origem (296), logo seguida da participação germânica. No total, estiveram presentes cerca de 70 países, da Argélia ao Zimbabwe.

A lista de conferencistas convidados foi encabeçada por duas autênticas lendas vivas, John F. Nash Jr. e Harold W. Kuhn, que encheram a Aula Magna da Universidade de Lisboa. Com Silvano Martello, que presidiu à Comissão de Programa, partilhamos a convicção de que a oportunidade para ouvir estes ilustres convidados também contribuiu para a decisão de muitos participantes virem à Conferência.

Tal como é tradição, a EURO Conference constituiu também uma oportunidade para atribuir várias distinções e prémios. Para a posteridade, refira-se, por exemplo, que Rolf Möhring recebeu a EURO Gold Medal, Maurice Shutler recebeu o EURO Distinguished Service Award, e John Nash recebeu o IFORS Distinguished Lecture Award.

No endereço https://educast.fccn.pt/vod/channels/exezh15k9 estão disponíveis gravações em vídeo, não só das sessões plenárias, como das palestras convidadas. José Pinto Paixão

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa Presidente da Comissão Organizadora do EURO XXIV

São, sem dúvida, registos muito interessantes, seja pelo valor científico ou didáctico, seja pelo valor inspirador, como o demonstram os exemplos transcritos ao lado. Os grandes números:

- 2542 Participantes registados
- 69 Países com participantes registados
- 148 Acompanhantes
- 163 Estudantes voluntários, de apoio
- 2351 Apresentações incluídas no livro de resumos
- 704 Sessões
- 143 "Streams" temáticos
- 48 "Tracks", em paralelo

Good Mathematics is waiting to be discovered, and discovered, and discovered, again. **Harold W. Kuhn**

Most students will not be clever unless you give them permission to be clever (the scholastic risk and reward system discourages cleverness).

James Cochran

Typical OR objective: minimize costs. In green logistics: consider both costs and emissions. Everybody is in favor of a good environment. But are we prepared to pay for it?

Rommert Dekker

The majority preferences may be irrational. The majority preferences may be chaotic. **Noga Alon**

TESE DE DOUTORAMENTO NA FEUC

Autor: Paula Sarabando Santos

Título: Escolha e ordenação com informação ordinal: Extensão à Decisão em Grupo e à Negociação Instituição: Programa de Doutoramento em Gestão -Ciência Aplicada à Decisão. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra (FEUC).

Data de Conclusão: 28 de Fevereiro de 2011 **Orientadores:** Luis Dias

Resumo: No contexto da agregação multicritério aditiva, consideramos problemas com informação ordinal, focando-nos na Teoria de Valor Multicritério. O principal objectivo é apresentar e comparar métodos para ajudar os decisores, mesmo que estes optem por fornecer informação ordinal sobre as suas preferências. Propomos duas novas regras para lidar com informação incompleta relativamente ao valor de cada alternativa em cada critério e estudamos até que ponto estas regras conduzem a bons resultados. Estas regras são testadas tanto no caso da decisão individual como no caso da negociação e da decisão em grupo. Sugerimos ainda três novas aproximações, para o caso da negociação, e uma nova aproximação, para o caso da decisão em grupo, para que um mediador, ou um facilitador, possa sugerir uma ou mais alternativas.

A informação eliciada, mesmo não sendo completa, facilita o conhecimento da questão em análise e pode ser usada para fornecer algumas linhas de referência sobre qual a melhor escolha, usando ferramentas como a simulação e a programação matemática.

TESE DE DOUTORAMENTO NA FEUP

Autor: Bruno de Athayde Prata

Título: Uma Nova Abordagem para a Programação Integrada de Veículos e Tripulações

Instituição: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data de Conclusão: 29 de Abril 2011

Orientadores: Maria Teresa Galvão Dias e Jorge Pinho de Sousa

Resumo: Traditionally, the vehicle and crew scheduling processes are performed manually by human planners in public transportation companies. Due to their complexity, these tasks may take days or even weeks of planning. On the other hand, it is usual to schedule vehicles and crews in a sequential process. However, this practice of separating problems does not take full advantage from the available resources, as the simultaneous scheduling of

vehicles and crews will in general lead to a significant reduction of the operational costs.

Considering the range of variables related to the planning process of vehicles and drivers, several practical characteristics of the problem are not reflected in the solutions generated computationally. Among these characteristics probably the most important is the existence of multiple objectives.

The main goal of this thesis was to develop a new approach for the integrated vehicle and crew scheduling problem.

Mathematical models were developed for this problem. These models produce good solutions faster than the traditional approaches. Heuristic algorithms were also developed, with excellent results. Next, multi-objective extensions of the have been developed.

The approaches were tested with real data of public transportation companies. The solutions obtained by the proposed approaches were in general of better quality than the ones currently produced.

CALL FOR PAPERS:INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL EM AÇÃO

A Comissão Diretiva da APDIO e os editores convidam à apresentação de Casos de Estudo Aplicados para publicação em LIVRO intitulado

INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL EM AÇÃO - CASOS DE APLICAÇÃO

A publicação deste livro será uma excelente oportunidade para apresentar a Investigação Operacional como ciência aplicada, contribuindo para demonstrar inequivocamente todo o seu potencial através de atuações em situações de decisão e de otimização bem reais realizadas em Portugal. Assim, um primeiro público-alvo desta publicação é constituído pelos gestores/decisores que se veem confrontados com problemas decisórios complexos e que, através dos casos publicados, ganhem consciência do potencial desta ciência aplicada e motivação para a explorar. Por outro lado, deseja-se que o livro constitua um apoio notável para professores e uma motivação acrescida para estudantes desta área do conhecimento.

O livro tem os seguintes objetivos claros:

- Incluir uma variedade de casos nas mais diversificadas organizações e empresas que ilustre a riqueza das aplicações efetivamente realizadas;
- Mostrar como se pode lidar com situações reais complexas através de adequadas metodologias de estruturação do problema e modelação para apoio à decisão;
- Desenvolver capacidades para estruturar problemas, encarar e avaliar alternativas de decisão e seleccionar métodos de resolução (algoritmos);
- Permitir trabalhar com os casos expostos ou réplicas, discutindo abordagens, propondo outros métodos de solução e resolvendo exemplos concretos;
- Alertar os estudantes para as significativas diferenças entre exercícios de aulas (canned problems) e problemas reais.

No seguimento do livro 'Casos de Aplicação da Investigação Operacional', com coordenação de Carlos H. Antunes e Luís V. Tavares, já publicado em 2000, também este novo livro tem como destinatários privilegiados os estudantes em cursos superiores (Licenciaturas, Mestrados, Doutoramentos) envolvendo Investigação Operacional, Métodos de Decisão, Otimização ou Gestão e os seus professores ou orientadores.

As contribuições para o livro **INVESTIGAÇÃO OPERA- CIONAL EM AÇÃO** - casos de aplicação deverão descrever uma aplicação real, envolvendo um cliente, organização, serviço ou empresa, tendo em conta os seguintes pontos fundamentais:

- Apresentação clara do enquadramento real da situação/problema estudado;
- Dificuldades, indefinições, incertezas/riscos associados;
- Metas ou objetivos, mais ou menos consensuais, a serem alcançados;
- · Dados disponíveis, dados necessários;
- Abordagens consideradas e apostas assumidas;
- Modelo(s) formulado(s);
- Métodos de resolução (algoritmos, heurísticas, etc) escolhidos, na sua relação com modelos propostos;
- Desenvolvimentos computacionais, software utilizado e testes realizados;
- Detalhes de implementação em ambiente real e barreiras/dificuldades ultrapassadas;
- Avaliação dos resultados práticos alcançados, nomeadamente sob a óptica dos utilizadores e interessados;
- · Desafios e novos desenvolvimentos potenciais.

Será importante dispor de dados reais, tanto quanto possível. Caso existam problemas de confidencialidade, a simulação/apresentação de dados realistas será uma possibilidade.

Ficará disponível um local para possível colocação de informação e de dados relevantes a cada contribuição.

Rui Carvalho Oliveira,

Entendem os editores que também poderão ser aceites contribuições que constituam versões adaptadas e/ou expandidas de artigos já recentemente publicados em revistas internacionais (acautelados que estejam os direitos de copyright associados).

Haverá, naturalmente, um processo de revisão cuidado que, para além da rigorosa avaliação científica e técnica, atenderá aos objectivos, abrangência/diversidade e ao estilo pretendidos para esta publicação.

O formato final das contribuições será definido de acordo com a edição final, esperando-se que cada uma não ultrapasse as 20 páginas.

O processo de submissão desenvolver-se-á em duas fases: i. submissão de resumos, até 31 de Outubro de 2011; ii. submissão de artigos completos, relativos a resumos aceites, até 15 de Janeiro de 2012.

As contribuições, respeitando as datas indicadas, deverão ser enviadas para o Secretariado da APDIO:

Associação Portuguesa de Investigação Operacional

CESUR - Instituto Superior Técnico Av. Rovisco Pais

1049 - 001 Lisboa

1049 - 001 LISDOA

E-mail: apdio@civil.ist.utl.pt

Espera-se que o livro INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL EM AÇÃO - casos de aplicação esteja concluído em 2012.

TESE DE DOUTORAMENTO NA UNIVERSIDADE DE AVEIRO

Autor: Rui Jorge Ferreira Soares Borges Lopes Título: Location-Routing Problems of Semi-Obnoxious

Facilities: Approaches and Decision Support Instituição: Universidade de Aveiro Data conclusão: 4 de Abril de 2011

Orientador: Carlos Manuel dos Santos Ferreira

Co-orientador: Maria Beatriz Alves de Sousa Santos Resumo: O problema de localização-distribuição (PLD) permite abordar, de forma integrada, duas actividades logísticas intimamente relacionadas: a localização de equipamentos e a distribuição de produtos.

Este trabalho centra-se em dois PLDs (os problema capacitados com procura nos nós e nos arcos), sendo apresentadas, para ambos, propostas de resolução (modelos e algoritmos). Aborda-se, também, a localização-distribuição de serviços semiobnóxios, numa perspectiva multi-objectivo, com propostas de métodos não interactivos e interactivos. As propostas foram integradas numa ferramenta de apoio à decisão, para plataformas Windows, de perspectiva modular e com grandes preocupações nas questões da usabilidade.

A tese e a aplicação informática estão disponíveis em: http://sweet.ua.pt/~f2597 e http://lore.web.ua.pt/ respectivamente.

Keywords: Logística, Localização-distribuição, Multi-objectivo, Serviços Semiobnóxios, Sistemas de Apoio à Decisão.