

Reflexões sobre o Ensino da Pesquisa Operacional

João Clímaco

Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra

Domingos M. Cardoso

Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro

Jorge Freire de Sousa

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

XXXVI SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional,
São João del-Rei, MG, Brasil, 23-26 de Novembro, 2004

1 Nota Introdutória

Fomos convidados pelo Professor João Carlos Soares de Mello a preparar uma comunicação para a sessão dedicada ao ensino da PO no Simpósio da SOBRAPO. Os autores encaram este desafio como uma contribuição para o debate, que esperamos venha a ter lugar em S. João del Rei. Sendo assim, optámos por incluir em apêndice as questões que serviram de base a uma mesa redonda sobre o assunto, coordenada por João Clímaco, realizada no Congresso da Sociedade Portuguesa de Investigação Operacional, em 2000. Inspirados nestas questões, segue-se um comentário de cada um dos autores sobre o ensino da PO. Optou-se por este modelo, visto que se trata de pessoas com experiências diversas, que ensinam pesquisa operacional em ambientes distintos, a saber: uma Faculdade de Economia, uma Faculdade de Engenharia e um Departamento de Matemática.

2 Comentário de João Clímaco

Na divulgação e no ensino da Pesquisa Operacional (PO), trata-se, não só de garantir a formação de profissionais competentes e adequados ao ambiente em que vão intervir, mas também de abrir caminho a uma melhor compreensão dos agentes políticos, económicos e sociais sobre as potencialidades desta área do conhecimento. Por exemplo, é imperativo que 'todos' entendamos que o apoio à tomada de decisões - mesmo quando existe - não passa de uma fase do processo decisório. E que, se em alguns casos se pretende apontar soluções, noutras é mais sensato ficarmo-nos pela tentativa de clarificação do que está em causa para os agentes envolvidos no processo... A Pesquisa Operacional, se é uma ciência (e essa é uma discussão que transcende estas linhas), então será certamente uma 'ciência social' com um património histórico particularmente rico no domínio dos métodos quantitativos, que não pode - nem deve - ser desprezado. Há todavia que combater a 'atração fatal' pelo óptimo. Esta visão positivista,

subjacente ao paradigma da optimalidade (predominante na PO clássica), não é, obviamente, a mais adequada em muitas circunstâncias. As técnicas de optimização, que têm dominado grande parte da pesquisa e do ensino em PO são, e serão, de grande importância prática, mas em muitos casos como se diz em (Bouyssou, 2000) "...Les modèles d'optimisation constituent d'excellents points d'entrée dans un processus de décision complexe: ils aident à la structuration des finalités et à l'exploration de la frontière des possibles, ils facilitent la communication en fournissant un langage non ambigu, ils autorisent les analyses de sensibilité et ils permettent rapidement de repérer les aspects cruciaux d'un problème. Laisser au 'bon sens' et au 'savoir-faire' l'étape de contextualisation et d'implémentation des résultats du modèle constitue cependant une caractéristique majeure de la RO, bien qu'insuffisamment mise en avant". Por outro lado, nos últimos anos têm sido desenvolvidos Modelos Multicritério, por vezes considerando múltiplos agentes de decisão e processos de negociação. Põe-se em causa o 'paradigma da optimalidade', e, em muitos casos, trata-se de modelos de raiz construtivista que combinam aspectos quantitativos com aspectos qualitativos. Obviamente, abordam questões muito relevantes nos processos de decisão. Em particular, não podemos esquecer que a negociação está presente em muitos casos, e, contudo, foi ignorada durante décadas pela PO. Note-se que as novas tecnologias permitem construir sistemas Interactivos de Apoio à Decisão (SIAD) muito flexíveis, o que facilita pôr em prática uma visão construtivista da PO; e estes SIAD's podem ainda ser usados de forma simbiótica com ferramentas mais abrangentes de natureza sistémica, ou com análises qualitativas de prospectiva. Em suma, o ensino e a prática profissional de PO vivem uma época de desafios imensos, e dispõem de meios técnicos fantásticos, assim não lhes falte o engenho... O ensino da PO encerra um melindre suplementar por razões que têm a ver com o ensino universitário em geral, ampliadas por certos aspectos específicos da PO. Trata-se de um problema difícil e multifacetado. Os vários agentes envolvidos, directa ou indirectamente, contribuem para o actual estado de coisas. A questão levar-nos-ia muito longe. Teríamos de analisar do ponto de vista de alunos e professores, de universidades e do ministério do ensino superior, e finalmente do sistema produtivo e do poder político em geral. Como é manifestamente impossível fazê-lo neste comentário, limitar-me-ei a manifestar algumas das minhas preocupações. Por exemplo, o excessivo 'pragmatismo' da visão 'politicamente correcta'"do ensino universitário actual. O aluno médio transforma-se num misto de aluno 'cliente' e de aluno 'recipiente'. Aluno 'cliente' por razões óbvias! Aluno 'recipiente' porque é hoje comum a atitude passiva de quem aguarda a transmissão de conhecimentos - de preferência já 'mastigados' - para armazenar, com vista ao sucesso nos exames. Na universidade não se deveria abdicar de um ensino que privilegie a reflexão individual e em grupo, a pesquisa bibliográfica e o trabalho laboratorial. Tudo isto sem baixar o nível de exigência. O que acabo de dizer é particularmente relevante no ensino da PO, em que é necessário conjugar o estudo teórico com a apresentação de casos e a experiência prática, utilizando programas de computador. Um ensino motivante de PO deve 'entrelaçar' uma visão pluridisciplinar da disciplina com a utilização rigorosa dos instrumentos matemáticos disponíveis. É uma missão difícil mesmo quando se dispõe de boas condições de ensino, o que é raro... Se frequentemente se aponta a falta de meios materiais, não é menos importante chamar a atenção para a formação dos professores e para os conhecimentos de base dos alunos. É Temos de encontrar formas de promover um

ensino motivante, sem prescindir da exigência e do rigor. Não se pode confundir 'facilitismo' com motivação!!! E não se pode esquecer um dos males do nosso tempo, a saber: está hoje em moda desvalorizar o estudo teórico! Argumenta-se que a melhor maneira de preparar os estudantes para a vida profissional é 'praticar'. Não será que a prática da PO tem contornos comparáveis aos de qualquer profissão em que o processo social associado é muito complexo? Vejamos o caso do Direito. É bem conhecida e discutida a diferença entre a lei e a aplicação da justiça. Contudo, não é por isso que sugerimos o encerramento das disciplinas dedicadas à teoria nas Faculdades de Direito, indo os estudantes desde o início 'praticar' para o escritório de um advogado. Em minha opinião, por um lado, o estudo teórico tem grande importância na formação de futuros profissionais, independentemente do aspecto 'utilitário' imediato, e, por outro, não se podem menosprezar os aspectos interdisciplinares dos processos decisórios, bem como a experiência e a intuição dos actores envolvidos. Reconheço que o meu ponto de vista sobre estes assuntos não é hoje nem muito popular, nem fácil de levar à prática, mas, até por isso, creio que deve ser sublinhado! Os sistemas interactivos de apoio à decisão, com carácter didáctico, podem revelar-se como uma luz ao fundo do túnel, contribuindo decisivamente para a motivação dos alunos. Nas Faculdades de Economia e Gestão são particularmente acentuados alguns dos problemas que acabo de aflorar, nomeadamente: a fraca formação de base dos alunos em matemática e a visão 'ultra utilitária', hoje predominante, no que se refere aos conteúdos das disciplinas. Em alguns casos pretende-se reduzir o ensino à transmissão de um conjunto de 'receitas', pretensamente 'prontas a usar' na vida prática... Um aspecto que não queria deixar de focar com um pouco mais de detalhe, tendo em vista os conteúdos do ensino, diz respeito à evolução metodológica da PO. Como sabemos, a PO clássica, ou hard, desenvolveu-se imenso durante a década de 50, tendo-se criado então a (falsa) expectativa de que a PO acabaria por integrar métodos e técnicas adequados à resolução, se não de todos, pelo menos de grande parte dos problemas de decisão que se colocam a diversos níveis, quer na indústria, quer no sector dos serviços. Passados alguns anos, no fim da década de 60, a crescente complexidade do ambiente económico e social e, um pouco mais tarde, a cadência vertiginosa da inovação tecnológica, particularmente nos domínios da informática e das comunicações, tornaram claro que o desenvolvimento dependia cada vez mais da adopção de procedimentos de planeamento e gestão inovadores, esbatendo-se a fronteira entre a componente tecnológica e a componente metodológica do sistema produtivo. À semelhança do que se referiu para as técnicas de optimização; de um modo geral, os métodos quantitativos tradicionais de PO não puderam então, isoladamente, revelar-se adequados a muitos problemas. Como reacção às fragilidades da PO clássica surgiu a chamada PO soft, prestando atenção especial a aspectos qualitativos e marcadamente subjectivos dos processos de decisão (sobre este assunto veja-se (Vidal 1995)). A PO surge agora como uma metodologia de abordagem de problemas complexos de decisão e as técnicas de PO como ferramentas potenciadoras dessa metodologia. As alternativas metodológicas são desenvolvidas a partir de princípios filosóficos e teóricos, e de práticas científicas diversas. Por exemplo, como diz (Michel Croizier, 1983), enquanto a análise racional, hipotético-dedutiva, da decisão se constrói à volta do binómio 'objectivos-recursos', a análise sociológica baseia-se na criação e/ou eliminação de oportunidades. Este paradigma reflecte-se na tendência actual de se considerar que, em muitos casos, o conjunto das alternativas é evolutivo ao

longo do processo de decisão. A aprendizagem e conseqüente criação de novas alternativas contrapõe-se à visão estática do conjunto das alternativas, definido a priori, a montante do processo de escolha. Por outro lado, destaque-se a estruturação de problemas (por exemplo, utilizando mapas cognitivos), questão menosprezada pela PO clássica, mas primordial sempre que não se conhece bem - a priori - os contornos do que se pretende. Apesar dos mapas cognitivos serem um instrumento típico de PO soft, começa hoje a tomar-se consciência de que a utilização de matemática pura e dura, como conceitos de grafos, pode dar grande apoio à sua operacionalização, e, para além disso, por vezes são utilizados em conjugação com métodos mais tradicionais de PO, fazendo-se apelo a Sistemas Interactivos de Apoio à Decisão cada vez mais avançados. É, pois, urgente perceber que a linha de fronteira entre a PO hard e a soft é completamente artificial. Por vezes há uma fronteira nítida entre aqueles que investigam, ensinam e praticam estas duas vertentes da disciplina, mas trata-se de algo 'inventado pelas pessoas', dando expressão à nossa tendência de procurar refúgio em 'terreno' conhecido. Uma questão de hábito e de facilidade . . . É claro que nos cursos de Economia e Gestão o espaço dedicado à PO é muito reduzido, e a formação básica dos alunos é, em geral, inadequada. É, portanto, praticamente impossível pôr em prática um ensino da PO satisfazendo os requisitos adequados à situação que temos vindo a caracterizar. Contudo, o actual estado de coisas parece paradoxal, se tomarmos em linha de conta que a era do 'tempo real', suportada por redes de computadores, usando a WEB, abre desafios imensos à PO, nomeadamente em áreas relacionadas com a Economia e a Gestão. Por exemplo, (Geoffrion e Krishnan 2001), num artigo muito interessante intitulado "Prospects for Operations Research in the E-Business Era", afirmam: "The digital economy is creating abundant opportunities for Operations Research (OR) applications. Several factions of the profession are beginning to respond aggressively, leading to notable successes in such areas as financial services, electronic markets, network infrastructure, packaged OR-software tools, supply-chain management, and travel-related services. . . . OR professionals should prepare for a future in which most businesses will be e-businesses". Num contexto mais geral, em (Wierzbick, 2004) diz-se a dado passo: "...telecommunications and other informational sciences influence our way of understanding the world in the new civilisation era of informational and knowledge-based economy". Nestas circunstâncias, torna-se inconcebível, e cada vez mais gravosa, a tendência histórica dos pesquisadores operacionais para ignorar as mais diversas questões relacionadas com a estrutura e evolução das organizações. Isto é, o ensino e a prática profissional de PO deveriam reflectir as relações que existem com a Economia, a Psicologia, a Ciência Política, a Sociologia, a Teoria do Conhecimento, a Ciência das Organizações, etc, etc, o que, como é óbvio, não se afigura nada fácil... A realidade é adversa, mas isso não dispensa os professores de motivar os seus alunos para a importância das metodologias de PO na abordagem de casos reais, e para o carácter pluridisciplinar da grande maioria dos problemas em estudo. 'The last but not the least', apesar da impopularidade dos métodos quantitativos, e da matemática em geral, no contexto actual das Faculdades de Economia e Gestão, nunca nos devemos esquecer da sua importância nos aspectos formativo e disciplinador do pensamento, e, portanto, na formação de profissionais com capacidade de organização, realização e criatividade! É preciso remar contra a maré! Não prescindir do rigor pode ser impopular, mas é indispensável se não quisermos ser acusados de contribuir para a criação de

gerações de 'profissionais rascas'...

3 Comentário de Domingos M. Cardoso

Considerando a Pesquisa Operacional (PO) como uma metodologia para a resolução de problemas da vida real ou para responder a questões essenciais que se colocam previamente quando é necessário tomar decisões complexas, os modelos e abordagens matemáticas são, certamente, as que mais a credibilizam e as que lhe dão maior objectividade, relativamente à fundamentação e justificação da qualidade da solução encontrada. Porém, a multiplicidade de modelos (mesmo considerando apenas os modelos clássicos já estudados), a diversidade de conhecimentos matemáticos necessários ao seu tratamento e, principalmente, a dificuldade de encontrar modelos matemáticos que representem formalmente os problemas reais, transformam a PO numa disciplina com características únicas. Com efeito, as potencialidades da PO enquanto espaço de formação e os exigentes e constantes relacionamentos interdisciplinares que a modelação de problemas reais (aspecto fulcral no ensino e prática da PO) obrigam transformam a PO numa espécie de super-disciplina que, potencialmente, tudo relaciona e de tudo tira partido. Assim, é essencial que o ensino da PO seja precedido de uma formação de base adequada que permita olhar para os problemas e respectivos modelos segundo pontos de vista amadurecidos por uma cultura matemática que deve incluir as disciplinas de Análise Matemática, Análise Numérica, Álgebra e Matemática Discreta, por alguma formação na área da Computação, que inclua a Análise de Algoritmos e a Metodologia da Programação, e ainda por alguns conhecimentos de Sociologia, com incidência nos aspectos sociológicos das organizações. No ensino da PO, admitindo como adquirido que a formação de base anteriormente referida é indispensável (questão que talvez não seja assim tão pacífica), a grande dificuldade reside na aquisição de competências na área da modelação matemática de problemas, as quais, em geral, se obtêm estudando modelos já existentes e analisando diferentes formulações. Este estudo e análise requer, porém, o conhecimento das propriedades que os objectos formalizados têm nos ambientes em que se inserem e, a partir delas, dos instrumentos e técnicas matemáticas de resolução ou simulação analítica e/ou combinatória. Aceitar que a modelação matemática de problemas pode ser realizada sem que se tenha uma ideia quer das propriedades dos formalismos a adoptar, quer das metodologias a aplicar, é equivalente a admitir que se pode conceber um sistema de transporte fluvial sem se conhecerem as propriedades de impulsão da água, nem se saber o que é um barco. Porém, é difícil dizer se a modelação matemática de problemas reais é uma técnica ou uma arte. Eventualmente tem um pouco das duas coisas e, independentemente da maior ou menor apetência para o seu desempenho, uma formação adequada nesta área passa, necessariamente, pelo treino, qualificação e teste. Esta técnica ou arte requer não só uma preparação matemática consistente como também um grande espírito de observação e elevada experiência. Questões como

- O que é o problema?
- Quais os dados relevantes?
- Como se relacionam?

- Quais as decisões em jogo?

estão frequentemente associadas à modelação de situações complexas perante as quais é necessário tomar decisões.

Para um matemático, a PO constitui uma área privilegiada de aplicação de resultados e uma fonte inesgotável de problemas que motivam constantemente novas abordagens em optimização contínua ou combinatória, nas suas diferentes variantes, mono e multiobjectivo. A presença de disciplinas da área da PO, nos curricula das Licenciaturas em Matemática e em cursos de pós-graduação, a nível de Mestrado, é actualmente muito comum e esse tipo de formação tem facilitado a integração de matemáticos em equipas multidisciplinares de elevado desempenho na implementação de projectos de grande complexidade e dimensão, como sejam, a determinação de rotas em sistemas de entrega de encomendas a longa distância, a definição de políticas de investimento energético, a produção de equipamentos de alta tecnologia produzidos a baixo custo, etc. Na verdade, são inúmeras as organizações e os objectos cujos modelos e princípios de funcionamento são de natureza matemática. Vivemos numa sociedade dominada pela noção de produto industrial (i.e., objecto com uma função bem definida cuja existência se deve ao facto de se ter identificado um mercado para ele). O seu aparecimento, porém, exige um processo precedente de optimização de vários aspectos que vão desde a sua concepção até à sua comercialização, passando, naturalmente, pela respectiva produção. Em todo este percurso existem vários constrangimentos e torna-se cada vez mais crítico reflectir sobre eles, modelar convenientemente os problemas associados, simular cenários alternativos, aplicar técnicas de análise apropriadas, etc. Por exemplo, é da maior relevância o tempo de comercialização de um determinado produto (logo, a previsão do número de consumidores, das quantidades consumidas, da sua renovação, entre outros). Com efeito, se se pretender manter um produto em comercialização mais do que o tempo adequado, certamente surgirão problemas (nomeadamente nos casos de produtos de alta tecnologia), que os tornarão incompatíveis com o seu ambiente de utilização. Assim, por maior êxito que tenha (junto do mercado) um dado produto industrial, deve ter-se sempre presente a estimativa do seu tempo de vida. Adicionalmente, nas sociedades modernas, por todo o lado se encontram sistemas de grande complexidade cujo acompanhamento e controlo são essenciais. Para tal, é necessário filtrar as características relevantes e avaliar a sua evolução. Nos serviços, de utilização massiva, há que estar atento ao comportamento das populações de utentes, ir ao encontro das suas necessidades e desejos. Caso contrário, inevitavelmente surgirão alternativas que acomodarão essas necessidades e desejos e tornarão obsoletos os sistemas mais distraídos. Nos tempos modernos, a modelação matemática de problemas tem-se revelado como a abordagem mais poderosa para a sua resolução, estando presente em grande parte das abordagens multidisciplinares responsáveis pelos enormes avanços conseguidos em diferentes domínios tecnológicos e do conhecimento.

- O estudo dos sistemas biológicos é cada vez mais multidisciplinar e tem cada vez mais ligações com a Matemática: o estudo das Populações Genéticas faz-se com recurso aos Sistemas Dinâmicos e à Estatística, os processos de crescimento recorrem ao reconhecimento de padrões, etc. O maior e o mais recente dos grandes desafios, o GENOMA (Genomics), requer a manipulação de grande quantidade de informação, parte da qual é de

natureza discreta (como são as longas sequências de dígitos do alfabeto de 4 letras com que se codifica o ADN).

- O desempenho das redes de Telecomunicações é medido pela sua capacidade de não alterar a informação que as percorre e tal é usualmente conseguido à custa de códigos de correcção de erros que encapsulam propriedades algébricas sofisticadas. Outro tipo de problema relacionado com as Telecomunicações tem a ver com a quantidade e estrutura dos dados a transmitir. Com efeito, dado um sistema físico desenhado para transporte de informação, é necessário comprimir os dados, tipicamente, imagens, de modo a não exceder a capacidade da rede. O desenho de algoritmos de compressão e descompressão de dados (que de modo automático permitam o reconhecimento de contornos de imagens) é uma das áreas de investigação matemática corrente com utilização frequente da teoria das ondas. Existe ainda outro aspecto relacionado com a transmissão de dados e que tem a ver com a sua segurança a qual exige, em muitas situações, que a informação se mantenha confidencial durante a transmissão (por exemplo quando se faz um pagamento com recurso a um cartão de crédito).
- Os sistemas de posicionamento global (Global Position Systems), actualmente, essenciais para navegadores e até condutores de autocarros, são outros exemplos de aplicações matemáticas de uso corrente.
- A prestação de serviços em redes de grande dimensão, como sejam, os sistemas de transportes aéreo e terrestre (autocarros), a recolha de resíduos sólidos, a distribuição de frequências por diferentes estações emisoras de rádio, etc., recorrem frequentemente a modelos e resultados da Teoria dos Grafos.
- A escolha otimizada de carteiras de investimento com o mínimo de risco e sujeitas a restrições decorrentes das regras do mercado ou das Comissões Reguladoras é outro campo de aplicação matemática.
- A optimização de formas, com vista obter o maior aerodinamismo, o menor atrito ao ar, a utilização da menor quantidade de material, etc., são também campos de presença intensiva das técnicas matemáticas.
- Existem muitos outros exemplos de aplicações da Matemática, como sejam,
 - Os sistemas de visualização computacional;
 - A simulação da visualização tridimensional a partir de dados bidimensionais;
 - A reconstrução visual dos diferentes materiais que compõem certos objectos;
 - A visualização de dados sísmicos;
 - A filtragem de imagens de modo a retirar-se o ruído;
 - etc, etc, etc.

A PO e as suas metodologias têm constituído e, certamente, continuarão a constituir o ambiente privilegiado para muitas das aplicações da Matemática e para a sua cada vez maior utilização enquanto instrumento de conceptualização, formalização, manipulação e simulação de modelos que traduzam problemas complexos. Neste contexto, a inclusão dos modelos matemáticos da PO nas componentes de formação em cursos de Engenharia, Economia, Gestão e Matemática parece-me absolutamente inquestionável, desde que precedidos das bases matemáticas anteriormente referidas e que, infelizmente, cada vez mais generalizadamente, tendem a ser preteridas por componentes de formação mais tecnológica e conjuntural.

4 Comentário de Jorge Freire de Sousa

4.1 Introdução

A Pesquisa Operacional (PO) tem dado provas de lidar bem com situações muito diversas e em áreas muito distintas de actividade. Um dos aliciantes da PO, mas também um dos factores mais inibidores da sua afirmação identitária, é precisamente esta diversidade. As mudanças tecnológicas e organizacionais têm ocorrido a um ritmo até há poucos anos inimaginável, afectando profundamente o *modus faciendi* dos mundos económico e social. Neste ambiente, favorável ao reconhecimento de uma importância crescente à tomada de decisões de um modo racional e apoiado, ganham mais relevância capacidades como as de 'modelação conceptual, de estruturação de problemas, de formalização analítica e de resolução computacional' mas também atributos como a percepção rápida e adequada das situações, a apetência pelo trabalho em equipa e a facilidade de gerar consensos. Um problema que tem vindo a suscitar intenso debate é o da necessidade de fazer interagir, com equilíbrio, indivíduos e grupos com um crescimento exponencial da disponibilidade de dados, muitos deles inúteis, sabendo transformar esses dados em informação útil para a decisão. Outro problema é o de reagir positivamente à exigência de encontrar soluções cada vez mais rápidas para novos problemas que vão surgindo. Se é verdade que poucas áreas científicas estão tão bem apetrechadas de metodologias capazes de responder a estes desafios como a PO, também é verdade que o apoio à tomada de decisões não passa de uma fase do processo decisório e que não basta formar bons profissionais se, simultaneamente, não se conseguir 'uma melhor compreensão dos agentes políticos, económicos e sociais sobre as potencialidades desta área do conhecimento'. Neste contexto, como deverá ser o ensino da PO? Este comentário sumário procurará contribuir para o debate sobre estas e outras questões tendo em vista promover uma melhor compreensão da articulação entre as características do cenário traçado para o mercado contemporâneo e as necessidades de formação e de atitude de agente de mudança no trabalho dos profissionais da PO, obrigatoriamente geradora de valor adicional para as organizações que apoiam ou onde se inserem.

4.2 Engenheiros - uma profissão em redefinição

Por razões que se prendem com os motivos expostos na Nota Introdutória, dedicarei mais atenção ao ensino da PO nos cursos de Engenharia. Assim sendo,

começarei por realçar alguns aspectos que estão a mudar na inserção profissional dos engenheiros e, conseqüentemente, no ensino da Engenharia. Hoje em dia há engenheiros que trabalham activamente na análise do trabalho dos músculos, no desenvolvimento de interfaces para nervos artificiais, na construção de cenários de realidade virtual, na criação de regras físicas realísticas para jogos de vídeo e em tantas outras áreas que estão a contribuir para a necessidade de repensar o papel de um engenheiro. Por exemplo, num estudo da Universidade de Berkeley, estima-se que foram engenheiros mecânicos que construíram o código de mais de metade do software industrial e de simulação que existe no mercado. Num inquérito aos alunos da Universidade de Michigan, em 2001, mais de um terço trabalhava em gestão, tinha formado a sua própria companhia ou tinha-se deslocado para áreas como a medicina, as leis ou a gestão de negócios. A indústria automóvel é paradigmática de algumas das mudanças que se têm vindo a verificar. Durante os anos 90, os fabricantes começaram a fazer o outsourcing praticamente integral do fabrico de componentes. Muitos engenheiros passaram de uma situação em que criavam sistemas, integrados na estrutura empresarial dos fabricantes de automóvel, para outra em que são obrigados a colaborar com designers e outros engenheiros quer nos fabricantes quer nas pequenas companhias que fornecem os componentes. A capacidade de trabalhar concorrencialmente em equipas flexíveis e em constante mudança tornou-se um requisito crítico no seu trabalho. Do mesmo modo, a distribuição física do exercício da profissão e o tipo de actividades a que se dedicam os engenheiros mudaram imenso devido às novas tecnologias. Graças ao baixo custo das telecomunicações e da internet, o custo de contactos permanentes entre empresas muito distantes caiu drasticamente, o que, juntamente com a automação, a simulação inteligente e o software computacional, leva a que haja menos necessidade de aplicar uma supervisão especializada a certo tipo de actividades, que podem ser deslocalizadas com vantagem. Muitos engenheiros estão a encontrar trabalho em empresas de serviços. É que a produção de serviços não é tão eficiente como a produção industrial. Precisamos de mais gente para produzir um serviço e, por isso, há engenheiros que estão a ser deslocados para os serviços para os tornar mais produtivos. Os engenheiros têm respondido a estas mudanças de uma de duas maneiras. Têm procurado desenvolver novas capacidades para lidar com as situações ou têm-se transferido para áreas de tecnologias mais avançadas que lhes abram melhores perspectivas relativamente ao mercado de trabalho. Os conhecimentos de engenharia são um campo inesgotável que tornam o exercício da profissão um desafio de longo curso. 'A ideia no ensino da engenharia será então a de formar generalistas com uma óptima formação de base em áreas como a Física, a Matemática e know-how em computadores e de desenvolver capacidades de ver as interconexões entre uma ampla gama de actividades que os torne líderes através do seu potencial para influenciar e inspirar o trabalho de outros, de construir pontes entre as múltiplas tecnologias' (Brown, 2004). Tudo isto faz com que o conhecimento dos futuros engenheiros não possa ser estritamente técnico. O paradigma da missão da universidade tem vindo a ser alterado e substituído pelo 'paradigma da formação de cidadãos capazes de mudar a realidade envolvente, em sentido socialmente útil, para o desenvolvimento humano integral, sustentável e eticamente válido e valorizante' (Barbedo et al., 2004). Torna-se necessário desenvolver capacidades de empreender, de cooperar com terceiros e com eles criar novas empresas. Nos países mais desenvolvidos, a acreditação de cursos de engenharia contempla, cada vez

mais, não apenas o ensino das ciências e técnicas próprias da engenharia, mas também:

- desenvolvimento da capacidade de aplicar, com sucesso, a teoria à prática, isto é, a capacidade de transformar as ideias em obras concretas;
- desenvolvimento da capacidade de análise crítica;
- desenvolvimento de capacidades de comunicação (oral, escrita, através do desenho, audiovisual e outras formas de comunicação);
- o desenvolvimento de capacidades de trabalho em grupo, e nomeadamente em grupos pluridisciplinares;
- o desenvolvimento de competências de gestão, nas suas diferentes componentes (desde a financeira à gestão de pessoal);
- o desenvolvimento de capacidade de aprendizagem ao longo da vida, o que envolve capacidade de pesquisa, integração e organização de novos conhecimentos, etc.

Não é novidade para ninguém que a aprendizagem, na maior parte dos casos, é mais efectiva quando o estudante é um participante activo e não passivo no próprio processo de aprendizagem. "A aprendizagem num sistema passivo tem uma tendência muito maior para ser simultaneamente superficial e rapidamente esquecida. O envolvimento activo na aprendizagem ajuda o estudante a desenvolver as suas capacidades de auto-aprendizagem, ao mesmo tempo que contribui para um conhecimento mais profundo e mais permanente do conhecimento do material teórico"(McCowan, 2002). Consideram os autores no artigo acima referido que a "aprendizagem activa é quase a única maneira efectiva de desenvolver competências profissionais e realizar a integração de matérias de diferentes fontes". Daí a tendência que não sendo nova, é hoje cada vez mais valorizada da "aprendizagem integrada". Esta não dispensa a aprendizagem de disciplinas científicas e técnicas especializadas, com as suas metodologias e linguagens próprias, mas complementa-a e integra-a num corpo organizado de conhecimentos, aberto a novas aquisições e desenvolvimentos e capacitando para a sua aplicação prática, efectiva e útil.

4.3 A Pesquisa Operacional (PO) no ensino da engenharia

As potencialidades da PO enquanto disciplina fundamental para o cumprimento harmonioso desta alteração de paradigma no ensino universitário são óbvias. No entanto, a PO ocupa hoje um lugar muito reduzido nos cursos de Engenharia (não mais do que dois semestres). Atrever-me-ia a dizer, ainda assim, que nos cursos em que às técnicas se juntam os aspectos metodológicos, inserindo os estudantes na prática social dos profissionais da PO, a disciplina adquire uma importância acrescida na formação dos alunos. Não é este, infelizmente, o caso mais comum. Em geral, as ferramentas, modelos e técnicas são sobrestimados, o que torna a PO sinónimo de métodos quantitativos aplicados a problemas de decisão. Esta visão é manifestamente redutora. De facto, apesar do aspecto formativo e disciplinador do pensamento associado aos métodos quantitativos e da importância da informação analítica na transformação de crenças e opiniões

em factos, constitui claramente uma limitação não realçar o carácter pluridisciplinar quer do ensino quer das equipas de trabalho na PO bem como o papel da Comunicação e da Psicologia Cognitiva, entre outras ciências sociais, na estruturação de problemas. Na minha opinião, é muito difícil conjugar, de uma forma equilibrada, o rigor das ferramentas matemáticas com a percepção dos aspectos subjectivos dos processos de decisão. Tal dificuldade não deve, contudo, conduzir à desistência. Do mesmo modo que não se ensina a um aluno do nível primário a usar a máquina de calcular antes de aprender as operações numéricas elementares, também não se pode, no nível universitário, usar as extraordinárias potencialidades das folhas de cálculo sem, previamente, falar de modelos de optimização e de técnicas de simulação. Simultaneamente, deve-se procurar transmitir o modo como os modelos e os resultados analíticos podem ser usados para comunicar e persuadir, como podem ser usados para responder a um problema real. Isto pode ser feito através de casos de estudo, de projectos e de aplicações, desenvolvidos em grupo, com a entrega de relatórios e a apresentação oral dos trabalhos na presença de todos os estudantes da disciplina. Pode, inclusivamente, envolver-se os alunos em casos de empresas, que obriguem a, previamente à abordagem do problema, conceber o projecto, vendê-lo internamente e apresentar sugestões sobre a forma de o gerir. Tais casos devem obrigar a um esforço de estruturação dos problemas que os exemplos didácticos não proporcionam, pelo que o uso de técnicas soft, como os mapas cognitivos, devem estar presentes nos programas de PO. A perspectiva de construção de Sistemas de Apoio à Decisão (SAD's) como uma boa forma de promover a autonomia dos diversos tipos de utilizadores finais relativamente à construção de modelos que apoiem as suas tomadas de decisão, permitindo a inclusão dos seus próprios pontos de vista relativamente aos problemas em causa, parece-me também essencial. Finalmente, todos estes aspectos devem ser acompanhados de diálogos que digam respeito à importância quer do uso da intuição, da experiência e do senso comum na resolução participada de problemas reais quer da prática ética e socialmente responsável que deve comandar sempre a intervenção dos profissionais da PO.

Referências

- [1] Arnold, V., Atiyah, M., Lax, P. and Mazur, B. (Editors), *Mathematics: Frontiers and Perspectives*, IMU - International Mathematical Union, AMS, 2000.
- [2] Barbedo, A.M., A. Camanho, A. Oliveira, A. Torres Marques, F. Freitas, F. Xavier de Carvalho e P. Tavares de Castro, *Proposta à Direcção e ao Conselho Pedagógico da FEUP para uma Nova Pedagogia visando o desenvolvimento de capacidades por Trabalho de Projecto Multidisciplinar*, FEUP, 2004.
- [3] Bouyssou, D., *Questioning the History of Operational Research in Order to Prepare its Future*, Cahier du LAMSADE n.º196, Junho 2002.
- [4] Brown, Alan S., *Redefining the ME, in Mechanical Engineering*, magazine of the ASME, September 2004.

- [5] Croizier, Michel, La Rationalité du Décideur du point de Vue du Sociologue. In *La Décision - Ses Disciplines et Ses Acteurs*, pp 29-46, Bernard Roy (editor), Presses Universitaires de Lyon, 1983.
- [6] Engquist, B. and Schmidt, W. (Editors), *Mathematics Unlimited - 2001 and Beyond*, Springer, Berlin, 2001.
- [7] Geoffrion, A. and R. Krishnan, *Prospects for Operations Research in the e-business Era*. INTERFACES, Vol. 31, nº2, pp 6-36, 2001.
- [8] McCowan, J.D., *An Integrated and Comprehensive Approach to Engineering Curricula*, Int. J. Eng Ed., Vol. 18, nº 6, 2002.
- [9] Vidal, R.V.V., *How to teach/learn OR?*, *Investigação Operacional*, vol. 15, pp. 97-110, Junho 1995.
- [10] Wierzbicki, A., *Telecommunications, Multiple Criteria Analysis and Knowledge Theory*, In Preliminary Proceedings of the Fourth International Conference on Decision Support for Telecommunications and Information Society, Warsaw, Polónia, 2004.

Apêndice

1. Objectivos do ensino da PO:

- Alguns autores têm defendido que "aqueles que têm um problema sejam eles próprios a resolvê-lo". O principal objectivo da PO seria então criar "wisdom". Se o ensino da PO fosse capaz de cumprir esta missão, a PO tornar-se-ia a disciplina mais importante de todo o sistema de ensino, a todos os níveis e em todos os cursos Afinal, quais os objectivos da PO? Em que níveis de ensino e em que cursos deve ser ensinada? Qual a importância do ensino à distância?

2. A PO nas licenciaturas de Engenharia e de gestão:

- Nos curricula das licenciaturas em engenharia e gestão é muito reduzido o espaço dedicado à PO (1 a 2 semestres). Alguns autores apresentam a PO como uma metodologia de abordagem de problemas complexos de decisão. As técnicas de PO aparecem como ferramentas potenciadoras dessa metodologia. Nestas circunstâncias, o que deve ser ensinado? E como deve ser ensinado?

3. A PO nos MBA:

- Nos MBA, por exemplo nos Estados Unidos da América, a PO tem vindo a ser desvalorizada face a outras disciplinas. Qual a vossa opinião? Alguns tentam "sobreviver" optando por um ensino "tipo parques de diversões". É claro que o aspecto lúdico é importante . . . Mas não será que os aspectos formativo e disciplinador do pensamento associados aos métodos quantitativos tradicionais aconselham que se mantenha "algum rigor"?

4. A teoria e a prática:

- "OR is like sex, the best way of learning it is by doing it" (René Vidal). Concordamos no que diz respeito à actividade sexual, já quanto à PO o assunto suscita alguma reflexão. Não acham?

5. Modelos e Realidade:

- Por exemplo, o conflito e a negociação estão presentes em grande parte dos processos de decisão. A maior parte dos modelos de PO ignora esta realidade. Quais as consequências? Qual a importância da Estruturação de Problemas na construção de modelos adequados? Qual a importância da Comunicação, da Psicologia Cognitiva, da Ciência Política (e de outras Ciências Sociais) na estruturação de problemas? E a matemática? Como conjugar o ensino de aspectos metodológicos da PO com as técnicas tradicionais?

6. O Ótimo ...

- A PO, se é uma ciência, então será certamente uma "ciência social". Mas, uma "ciência social" com um património histórico particularmente rico no domínio dos métodos quantitativos, que não pode, nem deve, ser desprezado. Há todavia que combater a "atração fatal" pelo óptimo. Esta visão positivista, subjacente ao paradigma da optimalidade, não é, obviamente, a mais adequada em muitas circunstâncias. Haverá consenso na comunidade da PO a este respeito? Qual a vossa opinião?

7. A PO hard e a PO soft:

- Os aspectos metodológicos e as técnicas de PO são hoje complementares. É urgente perceber que a linha de fronteira entre a PO hard e a PO soft é a completamente artificial. Por vezes há uma fronteira nítida entre aqueles que investigam, ensinam e praticam estas duas vertentes da disciplina, mas trata-se de algo "inventado" pelas pessoas, dando expressão à nossa tendência para procurar refúgio em terreno conhecido. Uma questão de hábito e de facilidade Será que o carácter pluridisciplinar, quer do ensino, quer das equipas de trabalho, é a chave para esta questão?

8. A PO - do ensino à prática:

- Deve privilegiar-se a formação de especialistas em PO, ou de profissionais em diversas áreas de engenharia e gestão com formação em PO? Será possível tipificar situações do mundo do trabalho em que seja preferível cada uma das situações? Em resumo, o que é um especialista em PO?

9. A PO e a responsabilidade social:

- "Loyalty to one is a vice, not a virtue, among professionals. It should be replaced by love for all." (R. Ackoff). Preocupações deste tipo devem, ou não, reflectir-se no ensino da PO? Se sim, de que forma?

- Será o termo "Pesquisa Operacional"(utilizado por razões históricas) adequado à tipificação da área do conhecimento a que se refere? Em alternativa poderia designar-se por "Engenharia de Sistemas"? Ou antes por "Ciência do Apoio à Decisão"?