

BOLETIM

PUBLICAÇÃO SEMESTRAL | 55 | DEZEMBRO '16

APDIO



CARLOS HENGGELER ANTUNES

**OTIMIZAÇÃO
MULTIOBJETIVO**

ENTREVISTA

**GERHARD WILHELM
WEBER**

ANA BARBOSA PÓVOA

**AS CADEIAS
DE ABASTECIMENTO
E A SUSTENTABILIDADE**

ÍNDICE

03 ENTREVISTA
OR AND SUSTAINABILITY
Gerhard - Wilhelm Weber

05 ARTIGO DE OPINIÃO

AS CADEIAS DE ABASTECIMENTO E A SUSTENTABILIDADE
Ana Barbosa Póvoa

10 TÉCNICAS DE IO

OPTIMIZAÇÃO MULTIOBJECTIVO
Carlos Henggeler Antunes

14 IO EM AÇÃO

MELHOR SUSTENTAÇÃO PARA MAIS SUSTENTABILIDADE
Luís Dias

17 PORTUGUESES EM IO PELO MUNDO

UMA EXPERIÊNCIA NÃO-ACADÉMICA NO REINO UNIDO
Sandro Faria

18 LUGAR AOS NOVOS

OTIMIZAÇÃO EM CADEIAS DE ABASTECIMENTO SUSTENTÁVEIS
Mariana Correia e Ana Carvalho

22 NOTÍCIAS DA APDIO



ANA CARVALHO

Centro de Estudos de Gestão
Departamento de Engenharia e Gestão
Instituto Superior Técnico,
Universidade de Lisboa



TÂNIA RAMOS

Centro de Estudos de Gestão
Departamento de Engenharia e Gestão
Instituto Superior Técnico,
Universidade de Lisboa

EDITORIAL

Como todos vós já verificaram, esta edição do Boletim Informativo da APDIO apresenta uma nova "cara". Após 6 anos de um Boletim que todos bem conhecíamos, considerámos que era o momento para renovar a imagem, apresentando um novo *design* que visa uma modernização da imagem da APDIO. Esperamos que gostem!

People, Planet, Profit. Os 3 P's estão na ordem do dia na sociedade em geral, não se encontrando alheia a esta realidade a comunidade de Investigação Operacional. Desta forma, esta edição do Boletim Informativo da APDIO é dedicada ao tema da **Sustentabilidade**, apresentando vários contributos sobre esta temática.

Aproveitando a sua vinda à Universidade de Aveiro no âmbito do Workshop *OR in a Modern World*, entrevistámos Gerhard-Wilhelm Weber do Institute of Applied Mathematics da Middle East Technical University, Ancara, Turquia, que partilhou connosco o seu percurso pela Investigação Operacional, sendo atualmente um dos membros do *Sustainable Supply Chain - Euro Working Group*.

No Artigo de Opinião, Ana Póvoa dá-nos a sua perspetiva sobre a evolução das cadeias de abastecimento e de como os três pilares da Sustentabilidade devem ser integrados para se alcançarem cadeias de abastecimento mais sustentáveis. Apresenta também um exemplo ilustrativo de como a IO pode contribuir para a criação destes sistemas.

Os 3 P's da Sustentabilidade representam três objetivos diferentes (e, muitas das vezes, contraditórios). Como tal, na rubrica Técnicas de IO, Carlos Henggeler Antunes descreve técnicas para lidar com problemas de otimização multi-objetivo, na sequência do lançamento do seu novo livro (em co-autoria com Maria João Alves e João Clímaco) - *Multiobjective Linear and Integer Programming*.

Na rubrica IO em Ação, Luís Dias faz uma análise evolutiva das publicações existentes sobre o tema da Sustentabilidade em revistas de Investiga-

ção Operacional, onde conclui que a IO tem correspondido ao desafio de contribuir para a mesma. Retrata, ainda, alguns trabalhos elaborados pela comunidade portuguesa de IO em prol da sustentabilidade.

Continuando a dar um Lugar aos Novos neste Boletim, Mariana Correia apresenta o seu trabalho de tese de mestrado, orientado por Ana Carvalho, sobre a reestruturação do *design* e planeamento da cadeia de abastecimento de congelados de uma empresa nacional, com o objetivo de aumentar a sua eficiência, reduzindo custos, e promovendo uma relação saudável com o ambiente e a sociedade em redor.

À semelhança da edição anterior, e continuando a querer envolver mais a comunidade IO, incentivámos o envio de notícias por parte dos sócios da APDIO. Agradecemos desde já as contribuições enviadas e apresentamos uma rubrica relativa às Notícias do último semestre. Para além das notícias enviadas pelos sócios, anunciamos também nesta rubrica o próximo grande encontro da comunidade APDIO - o IO 2017, que será realizado de 28 a 30 de junho, em Valença, no Instituto Politécnico de Viana do Castelo.

Por fim, temos boas notícias para os Especialistas em Investigação Operacional! O *U.S. Bureau of Labor Statistics* estima que esta profissão apresentará um crescimento de 30% entre 2014 e 2024, um crescimento muito acima da média de 7%, considerando todas as profissões. Com base nesta notícia, decidimos recolher um contributo para a rubrica Portugueses em IO pelo Mundo a Sandro Faria, que não pertence à Academia, mas que frequentou o MIOES e usa os princípios da Investigação Operacional para tomar as suas decisões no dia-a-dia enquanto Gestor de Produção e Serviços Técnicos numa empresa de Rádio Comunicações no Reino Unido.

Como nota final, e aproveitando esta época natalícia, a equipa editorial deseja a todos um Feliz Natal e um 2017 maximizado de sucessos, s.a. poucas restrições! ☺

Esperamos vê-los a todos em Valença!

Ana Carvalho Tânia Ramos

OR AND SUSTAINABILITY: BUILDING A CAREER TODAY TACKLING THE ISSUES OF TOMORROW

Your former studies were in Economics and Business Administration (BA), however afterwards, your background is mostly related to mathematics and operational research. Why have you moved in this direction and how has this small turn affected your career?

Before I answer your first question, let me please add that I am very glad and honoured to be a member of APDIO, the Portuguese OR society, people that I love!

Yes, after I started my studies in Economics and Business Administration (BA), I re-discovered my Mathematical gifts, namely, when applied to those two fields. I understood that the more our quantitative methods are applied to Economics and BA, the more “crisp” and also more “fair” these methods can make our real-world decisions. In this sense, quantitative methods can serve for better understanding, and development. So I went on with Mathematics and OR and always looked for their close relations to Economics and BA, to real-world motivations in general, to inspiration and liveliness.

By the way, when we had Professor John Nash at our EURO 2010 Conference in Lisbon, it was an iconic expression of these relations and it has been appreciated so much ever since, by our worldwide community. Regularly I receive very positive words about it.

You have built an impressive academic curriculum in the OR field, what do you think that are the key drivers for a successful OR career?

Thank you very much for your kind and generous words – a compliment that I would like to convey further to all who have had a great share in it: my parents, my teachers and, especially, the OR community in Germany, in Europe and the world!

In my opinion, OR has tremendous potentials: by its interdisciplinary approach, bringing fields together, by its internationality, bridging and combining the different traditions, by its real-world impact on emerging challenges, and by its well-organized national OR societies like APDIO, by EURO and IFORS, all of them with great efficiency and productivity plus a “Human face”.

Given these advantages of OR and considering its international family: working hard, having hope for oneself and for others, showing respect to everybody, and giving and taking of encouragement and hope to develop new creativity and solve problems, can be key drivers for a successful OR career – of us individuals but also at the levels of community and society.

You have studied in your home country and then you worked there for several years.

Why have you decided to move abroad? Do you think internationalization is a “must do” in a successful career?

Yes, internationalization is so important: to learn other languages and cultures, to cope with obstacles and challenges of all kinds, to gain new friends and collaborators, to build up a “network” in giving and taking ...

I went abroad due to the aforementioned reasons, but I also went abroad because the academic labour market in Germany and other European countries have few open positions, and a position to the Institute of Applied Mathematics of METU in Ankara, Turkey, was offered to me. Moreover, I am a “servant”, who 14 years ago was ready to leave my home in order to work in a country considered, at that time, to be less developed. Certainly, my (Christian) belief and life helped me here to take this Step into Turkey – which turned out to become a stepping stone into the wide world.

As a member of the Sustainable Supply Chain - Euro Working Group, how do you think that OR can contribute to this field?

This EURO Working Group belongs to our newest ones. I was happy to take part in its “foundation meeting” during IFORS 2014 in Barcelona; there were so many bright and dedicated colleagues from various areas of modern OR. That prosperity of our OR family, especially, in EURO, means a strong support for this new EURO Working Group. There is excellence in the “SC”-areas related to traffic and transportation, environmental protection, production and inventory management, the energy sector, game theory, combinatorial and discrete optimization, OR for Development,



GERHARD - WILHELM
WEBER

Institute of Applied Mathematics
Middle - East technical University
Ankara, Turquia
gweber@metu.edu.tr

“I USED THE WORD “SUSTAINABLE” FOR AN EXPLANATION OF THE CONDITION TO BE “REGULAR” WHICH IS IMPORTANT IN MATHEMATICS AND VARIOUS ENGINEERING SCIENCES. TO REGULARIZE A PROBLEM IS TO MAKE ITS SOLUTION “STABLE”, GUARANTEEING MEANINGFUL SOLUTIONS IN A WORLD FULL OF UNCERTAINTIES – AND CONTINUING TO HAVE MEANINGFUL SOLUTIONS TOMORROW, THEREFORE MAKING IT “SUSTAINABLE””

etc. This all can mean an excellent “head start” for the EURO WG and it will hopefully lead to a further great community-life and very good scientific results. What is more, our EURO WGs conduct warm and fruitful relations among each other, they advise and help one another in so many ways; EURO’s positive role for them all and their togetherness can hardly be overestimated.

Can you give some insights on how OR can be expanded to tackle some other problems related to sustainability, which go beyond the supply chain?

This is again a very interesting question. In fact, in some of my presentations in Aveiro at the Workshop “OR in a modern world” half a year ago, I used the word “sustainable” for an explanation of the condition to be “regular” which is important in Mathematics and various Engineering sciences. To regularize a problem is to make its solution “stable”, guaranteeing meaningful solutions in a world full of uncertainties – and continuing to have meaningful solutions tomorrow, therefore making it “sustainable”. This has consequences in so many fields of OR, which employ our quantitative methods and where natural, financial and human resources of various kinds are involved, e.g., related with Production, Civil Engineering, Finance and Development – Sustainable Development. Here, the human-oriented Working Groups and Streams at our conferences are very important, too; let me just mention “OR and Ethics”. I believe that they are also needed for the implementation of Sustainability into our modern industries and communities, for guaranteeing process efficiency and product quality combined with a maintenance and protection of us humans - our health, freedom and life quality, and of our attractive, open, committed and Sustainable societies.

Your work covers an impressive diversity of areas (financial mathematics, nonlinear optimisation, discrete math, differential equations, bioinformatics, inverse problems, just to mention a few). If you were to select two or three, which are those you believe to be the hottest topics for the near future?

Yes, if you permit I might just select two

interfaces between those areas:

One is “Optimal Control of Stochastic Hybrid Systems” where Financial Mathematics and Differential Equations meet. That kind of optimal control allows for a “best” decision making in a world with Regime Switches and Paradigm Shifts, which makes this field both practically relevant and charismatic. I hope that it will mean a strong methodology for modern Economics – as a contribution by our OR community and its scholars. Some of these scientists are young friends of mine from Portugal!

Another one is “OR for Neuroscience” where Bioinformatics and Inverse Problems meet. To better understand the human brain and its working is a hard task, but it is very important to better diagnose and “predict” diseases like Parkinson’s and Alzheimer’s. In fact, the theory of Inverse Problems and Data Mining provide scientific means for the development of “Early-Warning Systems” – in Neuroscience and Healthcare, but also in Earth Sciences such as for earthquakes and droughts, in Finance, etc.

Those systems require further deep investigations in the future. I am very glad that here our OR community with its activities and events of various formats, including EURO Conferences and IFORS Conferences, provide a qualified, lively and empathetic home and platform. And it is great that “We in Portugal” – me included – are a part of these dynamics.

Thank you very much for giving me the chance of answering these precious questions! I hope to see you and many readers in the future - perhaps already at IFORS 2017 in Quebec, Canada, and, then, at EURO 2018 in Valencia, Spain; its Chairs of the Organizing and Program Committees with their teams and so many friends from all over the world are waiting for us.

“I AM VERY GLAD AND HONOURED TO BE A MEMBER OF APDIO”

AS CADEIAS DE ABASTECIMENTO E A SUSTENTABILIDADE

INTRODUÇÃO

O conceito de Gestão de Cadeias de Abastecimento possui mais de 30 anos de idade, tendo sido referido pela primeira vez, em publicação, em 1982 com o artigo de Oliver e Webber (1982). No entanto, só a partir dos anos 90 é que o interesse por esta área começou a ter uma maior atenção, quer por parte da comunidade académica quer por parte da comunidade empresarial (Barbosa-Póvoa, 2014). Esta atenção tem crescido ao longo dos anos, sendo hoje a Gestão das Cadeias de Abastecimento uma área bem estabelecida onde diversos tipos de preocupações têm vindo a ser estudadas. Nos dias de hoje, as cadeias de abastecimento são sistemas basilares de qualquer organização que pretenda atuar numa economia competitiva global. Acresce que no clima atual, de maior responsabilidade organizacional pela preservação do ambiente e contribuição para o bem-estar da sociedade, as cadeias de abastecimento possuem um papel fulcral na definição e implementação de práticas sustentáveis nas suas atividades, pois sendo sistemas globais, que envolvem diversas entidades, as suas atividades provocam impactos globais. A gestão das cadeias de abastecimento tem, pois, alargado o seu foco, até aqui puramente financeiro (ex., maximização de lucro ou minimização de custos), focando-se também agora na consideração de aspetos de sustentabilidade (económico; ambiental; social), ambicionando desta forma uma gestão responsável que responda a uma maior consciencialização da sociedade pelos problemas ambientais e sociais. Este facto encontra-se traduzido em diversas publicações, salientando-se a contribuição da iniciativa do Pacto Global das Nações Unidas¹ onde se reconhece uma clara mudança nas atitudes das organizações face à sustentabilidade. Refira-se Sustentabilidade associada à utilização de recursos para fazer face às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades (WCED, 1987).

Mesmo no atual contexto de crise económica, a maior em quase um século, os compromissos com a sustentabilidade nas cadeias de abastecimento estão neste momento num nível nunca antes atingido. A organização Gartner²,

responsável pela definição do *ranking* das “top 25” cadeias de abastecimento, identifica no seu último relatório a importância da sustentabilidade na gestão destes sistemas e salienta que as cadeias com um maior desempenho investem profundamente na sustentabilidade. Todavia, e apesar de existirem progressos por parte das empresas, a implementação da sustentabilidade nas cadeias de abastecimento é ainda hoje um problema com diversas questões que carecem de resposta (Seuring and Muller, 2008; Barbosa-Póvoa, 2009; Bradenburg *et al.*, 2014). Tais questões começam desde logo pelo que se entende por Cadeias de Abastecimento Sustentáveis havendo a necessidade de construir uma clara compreensão, por parte das organizações, do seu verdadeiro significado e como devem as diversas entidades envolvidas desenvolver uma gestão sustentável. Acresce que o interesse nas Cadeias de Abastecimento Sustentáveis tem criado um elevado número de iniciativas em múltiplos sectores originando uma grande dispersão de métodos e normas utilizados, e deixando às empresas a difícil tarefa de identificar as melhores práticas a seguirem. É, pois, essencial uma clara compreensão do significado de Cadeias de Abastecimento Sustentáveis e como devem estas ser edificadas pelas organizações. Além disso, o tamanho e a complexidade destes sistemas implicam que muitas organizações, que iniciam a sua jornada rumo à sustentabilidade, necessitem de apoio no seu processo de tomada de decisão, onde a incerteza e o risco estão presentes.

Neste contexto a Investigação Operacional (IO) tem um papel fundamental a desempenhar, ajudando na estruturação e modelação dos problemas complexos que surgem no processo de decisão destes sistemas, podendo estes atuar como sistemas de apoio à decisão que informam e suportam a garantia de atingir a sustentabilidade nas cadeias de abastecimento.

Assim, o remanescente deste artigo faz um apanhado histórico de como o conceito de cadeias de abastecimento tem evoluído, originando as cadeias de abastecimento sustentáveis. Um exemplo ilustrativo em como a IO pode contribuir para a criação destes sistemas, desenvol-



ANA BARBOSA-PÓVOA

Centro de Estudos de Gestão
Departamento de Engenharia e Gestão
Instituto Superior Técnico,
Universidade de Lisboa
apovoa@tecnico.ulisboa.pt

vido no meu grupo de Gestão de Operações e Logística no IST, será apresentado. Finalmente, concluo discutindo alguns aspetos sobre os quais, na minha opinião, a comunidade de IO poderá contribuir para a criação de cadeias de abastecimento sustentáveis.

DAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO TRADICIONAIS ÀS SUSTENTÁVEIS

Cadeias de Abastecimento podem ser definidas como redes complexas de entidades que gerem fluxos de materiais e informação desde os fornecedores até aos clientes garantindo a satisfação dos mercados com o produto certo, na localização correta, quantidade certa e no tempo exato a um custo mínimo (Simchi-Levi *et al.*, 2007). Como referido atrás, estes sistemas surgiram há mais de 30 anos e são hoje em dia a sustentação de qualquer organização que queira competir num mercado global.

A necessidade de incluir aspetos de sustentabilidade nestes sistemas surge no final do século XX, com a preocupação de lidar com os produtos em fim de vida. Um dos artigos seminais na área é o artigo de Fleischman *et al.*, (1997) onde os autores fazem uma revi-

1. <https://www.unglobalcompact.org/what-is-gc/our-work/supply-chain>

2. <http://www.gartner.com/technology/supply-chain/top25.jsp>

são sobre modelos de IO na logística inversa e concluem sobre a necessidade de através destes modelos integrar os fluxos diretos com os fluxos inversos, tipicamente para assim as organizações poderem planejar adequadamente toda a cadeia. Alguns anos mais tarde, em 2002, Guide and Wassenhove (2002) definem pela primeira vez o conceito de Cadeia de Abastecimento em Ciclo Fechado (CLSC – Closed Loop Supply Chain) onde também defendem a coordenação integrada dos fluxos diretos e inversos das cadeias de abastecimento. Mostram que as empresas mais bem-sucedidas na gestão das suas cadeias de abastecimento são aquelas que as consideram como cadeias em ciclo fechado, através das quais garantem uma redução do consumo de matérias-primas utilizando a reciclagem e recuperação dos seus produtos não conformes ou em fim de ciclo de vida.

Esta tendência é reforçada em 2005 com a publicação do trabalho de Kleindorfer *et al.* (2005), onde os autores reveem um conjunto de artigos publicados sobre a Sustentabilidade na Gestão de Operações. Nesta publicação os autores identificam a necessidade de incorporar no estudo das Operações os três pilares da sustentabilidade: lucro; ambiente e pessoas, propostos por Elkington (2004). Este trabalho foca-se, no entanto, na Gestão de Operações e não tanto nas Cadeias de Abastecimento. Mas em 2008, Muller e Seuring (2008) publicam um dos artigos de revisão mais citados na área das cadeias de abastecimento sustentáveis onde se evidencia que se trata de uma área em

“AS CADEIAS DE ABASTECIMENTO SUSTENTÁVEIS SÃO VISTAS NÃO APENAS COMO SISTEMAS QUE FAZEM A INCORPORAÇÃO DOS FLUXOS INVERSOS, MAS ALARGA-SE ESTA VISÃO A FIM DE CONSIDERAR NA SUA GESTÃO OS CONCEITOS DE SUSTENTABILIDADE”

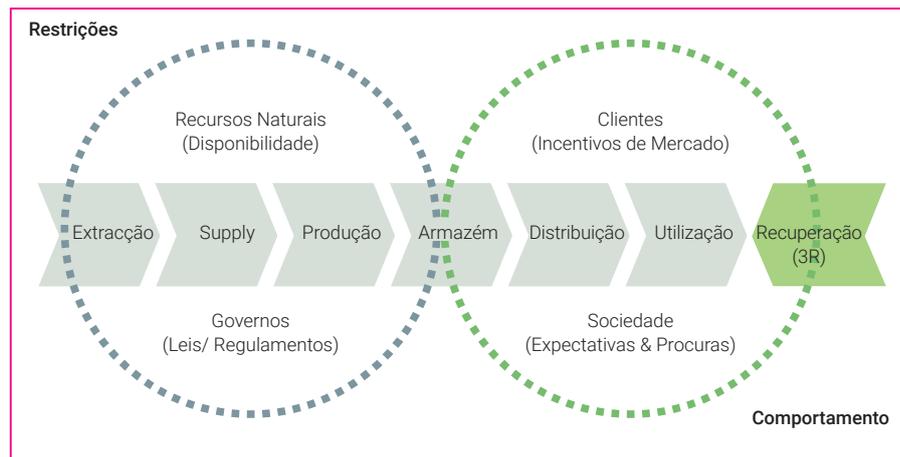


Fig. 1 – Cadeias de Abastecimento Sustentáveis (fonte: Barbosa-Póvoa, 2016)

forte crescimento onde existe ainda muito espaço para investigar.

As cadeias de abastecimento sustentáveis são vistas não apenas como sistemas que fazem a incorporação dos fluxos inversos, mas alargam-se esta visão a fim de considerar na sua gestão os conceitos de Sustentabilidade. Estes sistemas passam pois a ser definidos como redes complexas capazes de gerir de forma coordenada os fluxos diretos de materiais e de informação, desde a extração das matérias-primas até à produção dos produtos finais e sua distribuição ao consumidor final; com os fluxos inversos que consideram o tratamento e incorporação na cadeia direta dos produtos não conformes ou em fim de vida. Desta forma contribuindo para a sociedade e para o planeta, maximizando a utilização de recursos e minimizando o desperdício sem deixar de descurar a realização de lucro (Barbosa-Póvoa, 2009). As cadeias de abastecimento sustentáveis deverão pois ser caracterizadas pelo estabelecimento de parcerias estratégicas entre os seus colaboradores com a finalidade de no presente e futuro reduzir o consumo de recursos naturais, cada vez mais escassos, e criar as melhores condições para a sociedade. Na figura 1 está representado de forma esquemática o contexto das cadeias de abastecimento sustentáveis. Aqui fica patente a necessidade de integrar todas as atividades existentes nas cadeias de abastecimento com o objetivo de criar uma gestão sustentável desde a extração

das matérias-primas, fornecimento e produção até à distribuição dos produtos finais e sua gestão após utilização. Para além desta integração de atividades há ainda que considerar o comportamento do meio envolvente da cadeia, desde os clientes à sociedade em geral, tendo em conta as suas expectativas e necessidades, bem como todas as restrições cada vez mais exigentes criadas pela escassez de recursos naturais e pelas leis e regulamentos que visam a criação de um melhor ambiente e qualidade de vida na sociedade.

Esta visão alargada das cadeias de abastecimento acrescenta, à já complexa cadeia de abastecimento, novos objetivos a considerar – os da sustentabilidade – que irão influenciar o processo de tomada de decisão desde o nível mais estratégico até ao mais operacional. Todavia, estes objetivos podem surgir como contraditórios pois o que ajuda a minimizar os impactes ambientais ou maximizar os sociais pode não contribuir para o objetivo económico (ex. aumentar lucro ou reduzir custos). Neste contexto existe, pois, a necessidade de construir sistemas que possam ajudar este processo de tomada de decisão utilizando metodologias que permitam estabelecer soluções de compromisso entre os três componentes da sustentabilidade: economia, ambiente e sociedade. Acresce que, em combinação com estas metodologias, claramente de investigação operacional, há ainda necessidade integrar metodologias de avaliação ambiental e social.

PROJETO E PLANEAMENTO DE CADEIAS DE ABASTECIMENTO SUSTENTÁVEIS

A fim de exemplificar como a IO em combinação com metodologias de avaliação ambiental e social pode ajudar a construir cadeias de abastecimento sustentáveis apresenta-se de seguida e de forma resumida um trabalho desenvolvido no grupo de Operações e Logística do IST em colaboração com o CMA da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova. Neste trabalho desenvolvemos um modelo de otimização que considera explicitamente as três componentes da sustentabilidade no projeto e planeamento de cadeias de abastecimento em ciclo fechado. A avaliação dos impactes ambientais é considerada através do uso da metodologia de avaliação ambiental RECIPE 2008 e na modelação da componente social é proposto um indicador que privilegia a criação de emprego em regiões menos desenvolvidas. A abordagem multiobjectivo é utilizada para chegar a uma solução de compromisso entre os três pilares da sustentabilidade. O modelo é aplicado a um estudo de caso desenvolvido em colaboração com uma empresa Portuguesa, líder na produção de baterias. Para mais informação por favor consultar o artigo Mota *et al.* (2015).

A EMPRESA

A empresa LBP é uma das principais empresas em Portugal dedicada à produção e venda de baterias. Um dos seus principais objetivos é fornecer o melhor serviço em termos de entregas aos clientes. À data do caso de estudo, a empresa seguia uma estratégia de auto-venda, onde uma política de entrega de 24 horas tinha de ser garantida. Para atingir essa meta, a empresa decidiu internalizar a distribuição aos clientes finais. Armazéns possuíam existências que, para além da flexibilidade de transporte, permitiam a entrega de produtos dentro do tempo pré-definido. Neste contexto, surge a necessidade de otimizar a rede logística da empresa de forma a minimizar não apenas os custos logísticos, mas também os impactes ambientais e sociais, a fim de atingir uma cadeia de abastecimento sustentável. Este objetivo estava em consonância com a estratégia de reciclagem implementada pela empresa onde o objetivo era o de reciclar tanto quanto possível as baterias em fim de vida, o que se

justifica por um fator económico - chumbo como matéria-prima é muito caro - bem como por preocupações ambientais. Por razões de sigilo, o nome da empresa bem como os dados, são alterados. No entanto, a relação entre os valores é mantida.

CARACTERÍSTICAS DA REDE EXISTENTE: CONFIGURAÇÃO, TRANSPORTE E PRODUTOS

A rede de distribuição existente era composta por 12 armazéns alugados, localizados em diversos pontos em Portugal (ver figura 2 – como cenário A). Estes armazéns eram abastecidos por uma única fábrica (que também tem a função de armazenagem), localizada no centro de Portugal continental. Os 13 armazéns diferiam entre si em termos de função e dimensão. Para além de servirem de pontos de distribuição, todos os armazéns funcionavam como pontos de venda direta.

A empresa possuía cerca de 2300 clientes distribuídos por vários municípios portugueses. Tendo em conta a natureza estratégica deste trabalho, os clientes foram agrupados de acordo com seu município, o que resultou em 237 grupos de clientes a tratar. Este agrupamento de clientes levou também ao agrupamento da procura por município e por mês, sendo o mês a unidade de tempo menor assumido neste estudo. Para o transporte a empresa possuía uma frota

de veículos que garantia a distribuição aos clientes mas que originava elevados custos. Daí a importância da otimização da rede de distribuição. Este transporte de distribuição dos produtos aos clientes garantia ainda o fluxo inverso de transporte de baterias usadas para os armazéns. Por outro lado, o transporte da fábrica de/para os armazéns era por sua vez subcontratado e utilizava veículos de grande porte.

A nível dos produtos a empresa vendia diferentes tipos de baterias, as quais todavia foram simplesmente agrupados num só produto denominado como baterias. Todavia, como mencionado, juntamente com os produtos vendidos, a empresa lida também com o retorno de baterias em fim de vida (EOL). Estes fluxos correspondem a uma taxa de retorno máximo de 15% face à procura dos clientes. Para diferenciar baterias novas de usadas, dois tipos de produtos são considerados no problema em estudo. As baterias em fim de vida uma vez na fábrica são negociadas com os fornecedores por novas matérias-primas. Considera-se que, a partir de quatro baterias de fim de vida, a empresa recupera a quantidade de matéria-prima necessária para a produção de uma nova bateria.

FUNÇÕES OBJETIVO E RESTRIÇÕES

Como referido anteriormente, neste problema irão ser considerados três tipos de objetivos:

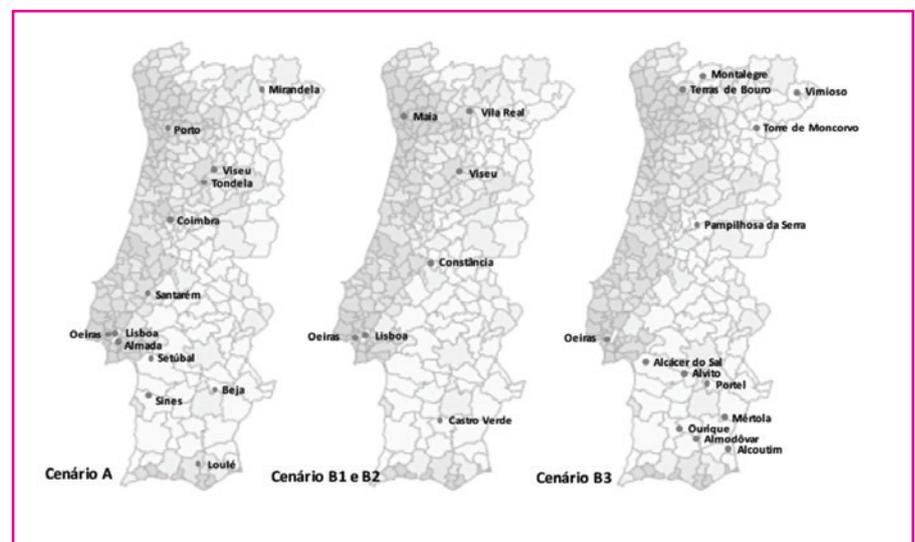


Fig. 2 – Rede atual (cenário A); rede com minimização de custos (cenário B1); rede com minimização de impactes (cenário B2) e rede com maximização do benefício social (cenário B3)

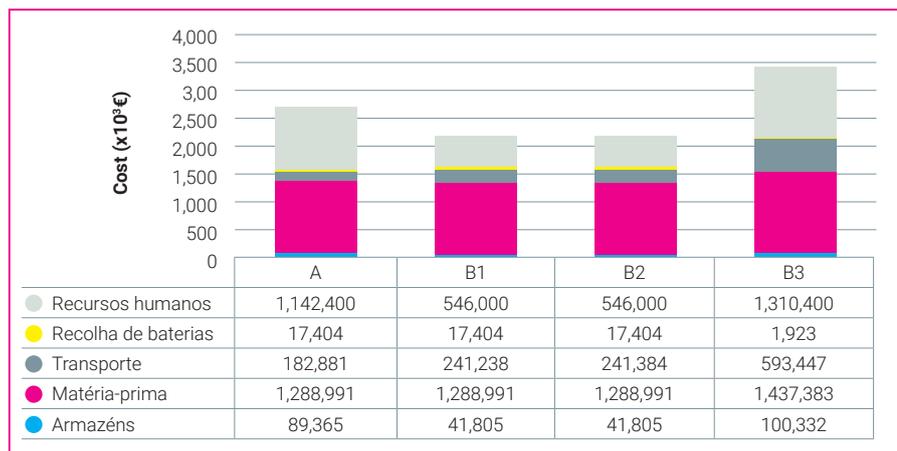


Fig. 3 – Distribuição de custos para os cenários A, B1, B2 e B3.

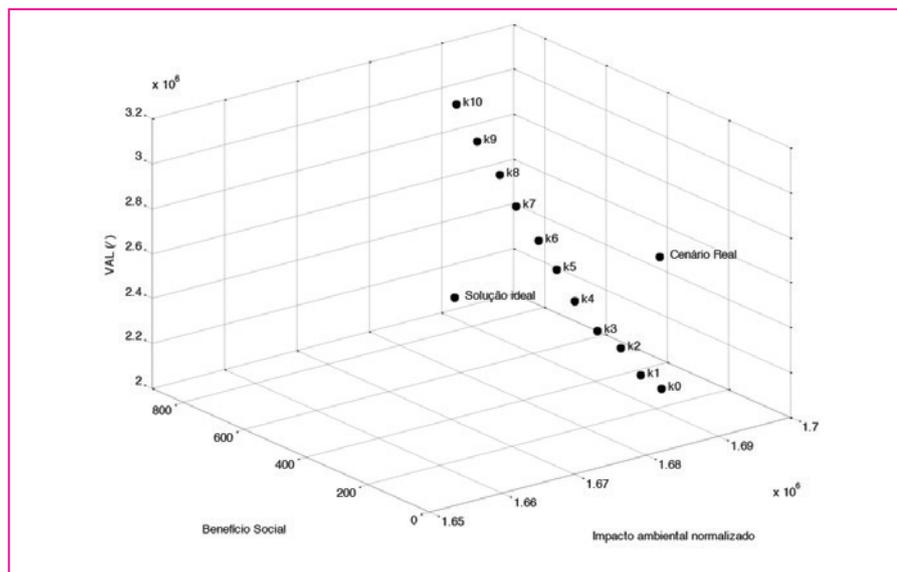


Fig. 4 – Abordagem multi-objetivo para a maximização do benefício social com limitação de custos, com a otimização lexicográfica e uma superestrutura de 84 localizações possíveis. O cenário real e a solução ideal também estão representados para comparação.

económico, ambiental e social.

Objetivo económico: minimização de custos, onde se consideram um conjunto de custos definidos com base nas práticas da empresa: os custos de renda dos armazéns; custos de transporte (internos e externos); custos de matérias-primas; custos de incentivo à entrega de baterias usadas; custos de recursos humanos associados aos armazéns e transporte de distribuição dos armazéns aos clientes.

Objetivo ambiental: minimização de impactes

ambientais onde se consideram três atividades como as principais contribuintes para o impacto ambiental da rede: produção, transporte e instalação de entidades. Usando a metodologia de avaliação ambiental RECIPE 2008, e fazendo uso do SimaPro 7.3.2, foi realizada uma análise de inventário de ciclo de vida (LCI).

Objetivo social: maximização da criação de empregos em zonas com menor população. Fatores regionais foram selecionados com

base na realidade económica Portuguesa. A criação destes empregos irá contribuir para o desenvolvimento de regiões do interior.

As restrições do modelo consideram todas as equações associadas à produção; balanço de fluxos ao longo da rede; capacidades de armazenamento, transporte e produção e satisfação de procura dos clientes.

Como resultado final, desenvolveu-se um modelo de programação inteira mista multiobjectivo o qual foi implementado no software GAMS.

RESULTADOS

Diversos cenários foram estudados. Numa primeira análise avaliou-se por problema, considerando cada objetivo por si só. Os principais resultados estão traduzidos nas Figuras 2 e 3.

Ao analisar os resultados é possível concluir que ao minimizar o custo (cenário B1) se obtém uma rede com menores custos (21,5%) quando comparados com a rede existente (cenário A). A rede otimizada é caracterizada pela abertura de 7 armazéns (incluindo o que pertencia à fábrica, situado em Oeiras) ao contrário dos 13 existentes. Todavia, este resultado está associado a um menor benefício social. Considerando a minimização do impacto ambiental (cenário B2) obteve-se uma rede com a mesma estrutura de rede obtida para o mínimo custo. Este resultado é explicado pelo facto de, neste problema, o transporte possuir um peso bastante elevado a nível de custos e também de impactes ambientais. Por outro lado, ao maximizar o benefício social (cenário B3), o resultado final origina uma rede de 13 armazéns favorecendo claramente a localização de armazéns em zonas do interior. Esta última solução envolve maiores custos de aluguer (maior número de armazéns), bem como de recursos humanos, e ainda de custos de transporte. Acresce que, neste caso, observa-se uma menor quantidade de baterias recuperadas, o qual se traduz também em custos mais elevados de matérias-primas. Todos estes aspetos resultam em que esta solução seja inviável de implementar por parte da empresa.

Ao analisar os resultados e a fim de obter uma solução de compromisso resolveu-se o problema através de uma metodologia multiobjectivo. Os resultados estão representados na figura 4, e pela sua análise concluiu-se que existe pouca variação de impacto ambiental. Tal facto é justificado pelo peso elevado que a produção provoca

a nível ambiental, valor que não está, todavia, sujeito a qualquer otimização pois o nível de produção é constante e a localização da fábrica é fixa. Observa-se ainda que o impacto ambiental varia linearmente com o custo total. Por outro lado, conseguem-se obter melhorias significativas a nível social e a nível económico. Mantendo aproximadamente o mesmo benefício social da rede atual, pode ser obtida uma redução de custos de 21,5%, e para um mesmo custo, consegue-se um aumento de benefício social em mais de 300%. Com base nestes resultados e em discussão com a empresa, cujo principal objetivo é a redução de custos e por outro lado alterar o menos possível a rede existente, a solução a adotar foi a solução K3 que se traduz num ganho de 17% a nível de custo; 135% a nível social e apresenta o mesmo impacto ambiental face a outras soluções. Esta solução mantém 3 dos 13 armazéns existentes.

Da análise feita ao longo deste caso de estudo fica claro que os métodos de investigação operacional podem ser extremamente úteis como apoio à decisão na construção de cadeias sustentáveis.

CONCLUSÕES E DESAFIOS

Como conclusão, pode-se afirmar que as cadeias de abastecimento e a sua ligação a preocupações de sustentabilidade são hoje, para as comunidades académica e industrial, uma área emergente onde existem ainda muitas questões por responder.

Na resposta a estas questões, a comunidade de IO tem um papel muito importante a desempenhar, pois possuindo uma visão sistémica dos problemas possuiu as competências para contribuir no desenvolvimento de ferramentas que in-

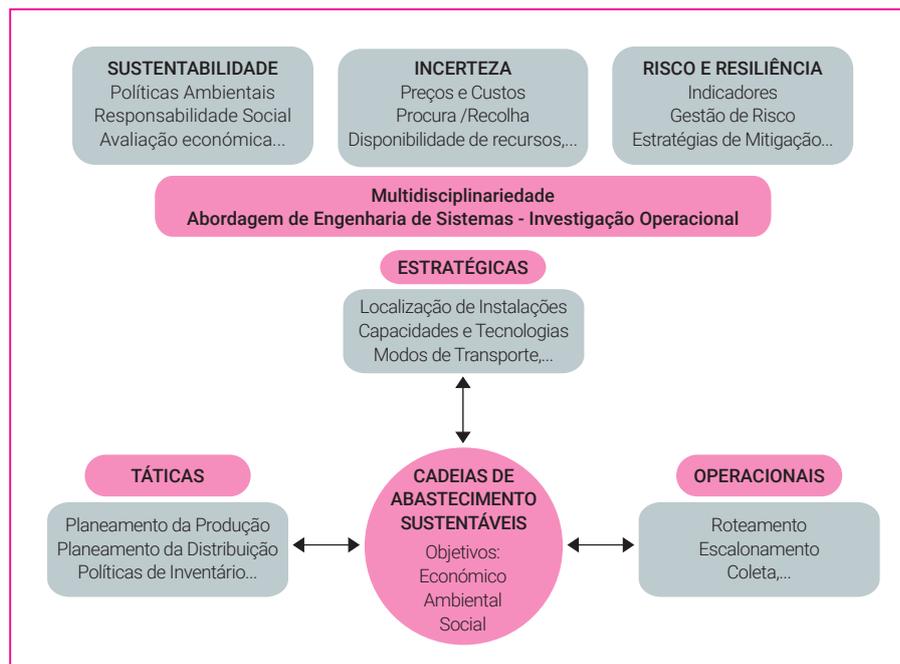


Fig. 5 – Quadro para a tomada de decisão nas Cadeias de Abastecimento Sustentáveis

formem e apoiem o processo de decisão destes sistemas logísticos complexos, onde uma abordagem multidisciplinar que garanta a consideração dos três pilares da sustentabilidade de forma integrada deve ser explorada. Acresce que, para além da integração dos aspetos económicos, ambientais e sociais nas cadeias de abastecimento e dado que estes sistemas estão sujeitos a uma constante alteração das condições onde atuam, surgem outros aspetos que devem ser incorporados na sua modelação e solução dos problemas, como sejam a incerteza, risco e resi-

liência. Esta conclusão apresenta-se na figura 5 através da definição de um quadro conceptual que resume, o que na minha opinião, são os aspetos prioritários a considerar pela comunidade de IO na construção de cadeias de abastecimento sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Bruna Mota, Ana Carvalho e Isabel Gomes, todo o trabalho que têm desenvolvido comigo nesta área, e que permitiu partilhar neste artigo o caso de estudo apresentado.

REFERÊNCIAS

- Barbosa-Póvoa A.P. (2009) Sustainable Supply Chains: Key Challenges. 10th International Symposium on Process Systems Engineering - PSE2009, Computer Aided Chemical Engineering, Computer-Aided Chemical Engineering, 27:127-132.
- Barbosa-Póvoa, A.P. (2014), Process Supply Chains Management - Where are we? Where to go next? Frontiers in Energy Research-Process and Energy Systems Engineering, 22 June 2014, doi: 10.3389/fenrg.2014.00023. <http://journal.frontiersin.org/Journal/10.3389/fenrg.2014.00023/full>
- Barbosa-Póvoa, A.P. (2016), Cadeias de Abastecimento Sustentáveis: a contribuição da Optimização, A investigação Operacional em Portugal: Novos Desafios, Novas Ideias IST-Press Editora.
- Brandenburg, M., K. Govindan, J. Sarkis. S. Seuring (2014). Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions, European Journal of Operational Research, 233: 299–312.
- Elkington, J. (2004). Enter the triple bottom line. The triple bottom line: Does it all add up, 1-16.
- Fleischmann M., J.M. Bloemhof-Ruwaard, R. Dekker, E. van der Laan, J.A.E.E. Van Nunen, Van L.N. Wassenhove, (1997). Quantitative models for reverse logistics: a review. European Journal of Operational Research, 103:1–17.
- Kleindorfer P.R., K. Singhal, L. N. Van Wassenhove, (2005). Sustainable operations management. Production and Operations Management, 14(4):482–92.
- Guide, D. R. & L.N. Van Wassenhove (2002). The Reverse Supply Chain, Harvard Business Review, 80,2,25-26.
- Oliver, R. K., & M.D. Weber, (1982). Supply-chain management: Logistics catches up with strategy. In M. L. Christopher (Ed.), Logistics: The strategic issues (pp. 63–75). London: Chapman & Hall
- Mota, B., I. Gomes, A. Carvalho, A.P. Barbosa-Póvoa (2015), Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning, Journal of Cleaner Production, doi:10.1016/j.jclepro.2014.07.052.
- Seuring, S., M. Müller, (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. Journal of Cleaner Production 16, 1699-1710.
- Simchi-Levi, D., P. Kaminsky, E. Simchi-Levi (2007), Designing and managing the Supply Chain : Concepts, Strategies and Case Studies*, 3ª edition, McGraw-Hill/Irwin.
- WCED, World Commission on Environmental and Development, (1987). Our common future, Oxford University Press, New York.

OPTIMIZAÇÃO MULTIOBJECTIVO

UMA ABORDAGEM ESSENCIAL PARA TER EM CONTA PREOCUPAÇÕES DE SUSTENTABILIDADE EM PLANEAMENTO ENERGÉTICO



CARLOS HENGGELER ANTUNES

INESC Coimbra
Departamento de Engenharia
Electrotécnica e de Computadores,
Universidade de Coimbra
ch@deec.uc.pt

O argumento mais frequente em favor da consideração de múltiplos eixos de avaliação do mérito das soluções em modelos matemáticos para apoio à tomada de decisões é de natureza "realista", i.e. "o mundo é multiobjectivo/multicritério". Contudo, as abordagens de optimização multiobjectivo, ao considerarem explicitamente múltiplas dimensões de avaliação, têm ainda a capacidade de permitir explorar uma gama mais alargada de soluções, e não apenas uma única "solução ótima", as quais representam distintos compromissos entre os diferentes eixos de avaliação, permitindo uma análise mais rica das soluções potenciais face ao contexto do problema. Adicionalmente, estas abordagens possibilitam incluir de uma forma coerente as preferências e perspectivas de análise dos decisores no processo de apoio à tomada de decisões (o qual basicamente não existe quando é considerada uma única função objectivo e, portanto, a "melhor solução" está "embutida" no modelo desde o início, competindo ao algoritmo descobri-la). Este en-

volvimento dos decisores promove a capacidade de aceitação de uma recomendação final num contexto em que não existe, em geral, uma solução que seja melhor do que todas as outras em todos os aspectos de avaliação. Num problema de optimização multiobjectivo (OM), as soluções são implicitamente definidas por um conjunto de restrições, sendo as múltiplas funções objectivo e/ou as restrições lineares ou não lineares, podendo envolver variáveis contínuas e/ou inteiras. Por seu lado, a designação análise multicritério (AMC) refere-se tipicamente a problemas de escolha, de ordenação ou de categorização entre um conjunto finito de alternativas conhecidas a priori, de acordo com múltiplos critérios de avaliação. Por exemplo, onde localizar uma central de produção de energia eléctrica entre um conjunto de locais previamente identificados como adequados, segundo critérios económicos, técnicos, de impacto nos ecossistemas, de população afectada em caso de acidente, de criação de emprego local, etc.

O economista (e engenheiro e sociólogo) Vilfredo Pareto (1848-1923) definiu o conceito de eficiência ou optimalidade (depois dita de Pareto), no contexto de estudos sobre a eficiência económica e a distribuição de rendimento, como um

“AS ABORDAGENS DE OPTIMIZAÇÃO MULTIOBJECTIVO, AO CONSIDERAREM EXPLICITAMENTE MÚLTIPLAS DIMENSÕES DE AVALIAÇÃO, TÊM AINDA A CAPACIDADE DE PERMITIR EXPLORAR UMA GAMA MAIS ALARGADA DE SOLUÇÕES, E NÃO APENAS UMA ÚNICA “SOLUÇÃO ÓPTIMA””

estado de afectação de recursos a partir do qual é impossível melhorar a posição de um indivíduo sem piorar a situação de pelo menos outro indivíduo. Este é o conceito essencial em OM, permitindo classificar uma solução como ótima de Pareto (ou usando os termos equivalentes solução eficiente, não dominada ou não inferior; alguns autores fazem a distinção entre estes termos, usando uns para a solução no espaço das variáveis de decisão e outros para a imagem dessa solução no espaço das funções objectivo) quando não existe uma outra solução admissível que melhore simultaneamente os valores de todas as funções objectivo, i.e. a melhoria de uma função objectivo só pode ser alcançada aceitando degradar o valor de pelo menos outra função objectivo. Sendo a noção essencial em OM, o conceito de solução eficiente/não dominada é "pobre" do ponto de vista do apoio à tomada de decisões, no sentido em que é pouco discriminativo. De facto, na grande maioria dos problemas é possível identificar um vasto (ou mesmo ilimitado) conjunto de soluções não dominadas, as quais só podem ser comparadas recorrendo a informação sobre as preferências do decisor. Assim, num problema de OM é necessário recorrer a utensílios técnicos para garantir o cálculo de soluções não dominadas, mas também incorporar informação adicional, em geral resultante de alguma forma de eliciação das preferências do decisor, que permita "navegar" no conjunto de soluções não dominadas e reunir o conhecimento, quer sobre o problema (clarificando os compromissos a estabelecer), quer sobre as próprias preferências (refinando-as e tornando-as mais estáveis), que permita aceitar uma dessas soluções como resultado do processo de apoio à tomada de decisão (ou seleccionar um conjunto restrito de soluções para uma análise mais detalhada).

A figura 1a ilustra os conceitos de solução não dominada (que geralmente é usado no espaço das funções objectivo, enquanto o conceito de solução eficiente é usado no espaço das variáveis de decisão) num problema de programação linear com duas funções objectivo a maximizar.

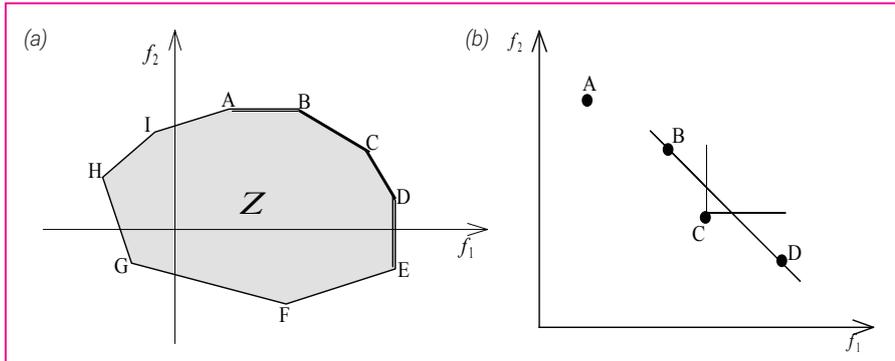


Fig. 1 – Soluções estrita e fracamente não dominadas, suportadas e não suportadas em (a) programação linear e (b) programação linear inteira [1]

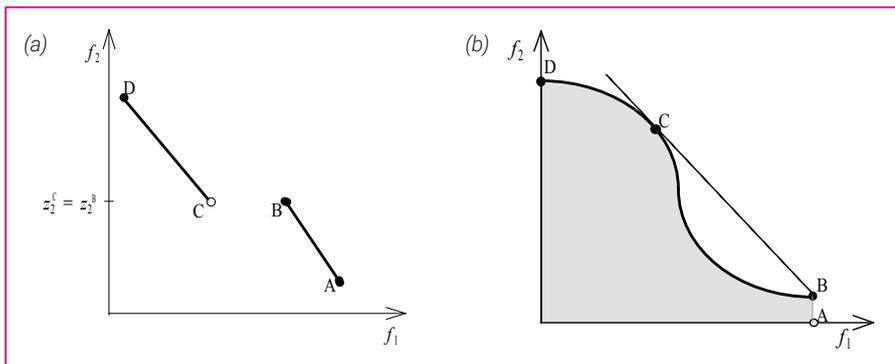


Fig. 2 – Soluções estrita e fracamente não dominadas, suportadas e não suportadas em (a) programação linear inteira mista e (b) programação não linear [1]

As soluções nas arestas [BC] e [CD] são (estritamente) não dominadas. Esta figura ilustra ainda o conceito de solução fracamente não dominada, que pode ser entendido como uma “relaxação” do anterior, caracterizando soluções para as quais não existe outra solução admissível que melhore estritamente o valor de todas as funções objectivo. As soluções nas arestas [AB] e [ED] são apenas fracamente não dominadas (i.e. excepto os pontos B e D), pois é possível melhorar uma função objectivo sem piorar o valor da outra, neste caso devido à existência de soluções óptimas alternativas para ambas as funções. A figura 1b ilustra o conceito de solução não dominada não suportada num problema de programação inteira com duas funções objectivo a maximizar. Os pontos A, B e D são soluções não dominadas suportadas, enquanto C é uma solução não dominada não suportada porque é dominada por combinações convexas (que não são admissíveis dado que as variáveis são

inteiras) de B e D – i.e., C localiza-se dentro do invólucro convexo definido pelas soluções suportadas. Note-se que em programação linear multiobjectivo (só com variáveis contínuas) todas as soluções não dominadas são suportadas. A figura 2a mostra a região não dominada num problema de programação linear inteira mista com duas funções objectivo a maximizar. A solução D e todas soluções no segmento [AB] são soluções não dominadas suportadas. As soluções no segmento [CD] são não dominadas não suportadas porque são dominadas por combinações convexas (não admissíveis) de B e D. A solução C é fracamente não dominada porque não existe outra solução estritamente melhor do que C em ambas as funções objectivo, mas é dominada por B, a qual tem o mesmo valor para f_2 e um valor melhor para f_1 . A figura 2b mostra a região admissível no espaço das funções objectivo, ambas a maximizar, de um problema não linear onde o conjunto de

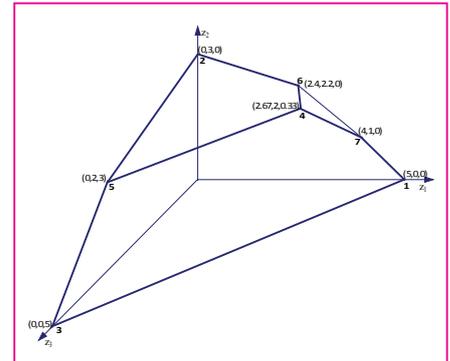


Fig. 3 – Região admissível no espaço das funções objectivo para um problema de programação linear com três funções objectivo [1]

soluções não dominadas é constituído por toda a fronteira de B até D. As soluções no segmento [AB], i.e. excluindo B, são fracamente não dominadas. As soluções no arco de B (excluindo B) até C (excluindo C) são não dominadas não suportadas, pois seriam dominadas por soluções (não admissíveis) resultantes de combinações convexas de B e C. A solução B e as soluções no arco CD são não dominadas suportadas.

A figura 3 mostra a região admissível no espaço das funções objectivo para um problema linear a maximizar. Este problema tem sete vértices, oito arestas e duas faces não dominadas. Note-se que as soluções na face definida pelos vértices não dominados 4, 6 e 7 são apenas fracamente não dominadas, enquanto as soluções nas arestas 4-6 e 4-7 são estritamente não dominadas.

Em geral, os métodos de apoio à decisão para tratar modelos de OM são classificados em três categorias, de acordo com o processo usado para agregar as preferências do decisor:

- métodos em que é feita uma agregação a priori das preferências do decisor (conduzindo à construção de uma função valor/utilidade);
- métodos em que não há agregação das preferências do decisor (métodos geradores de todas as soluções não dominadas, ou algum tipo de caracterização mais ou menos extensiva destas soluções);
- métodos em que existe uma articulação progressiva de preferências (métodos interactivos). Os métodos interactivos comportam duas fases essenciais: de cálculo de soluções não dominadas e de diálogo entre o decisor (possivelmente auxiliado por um analista) e o método

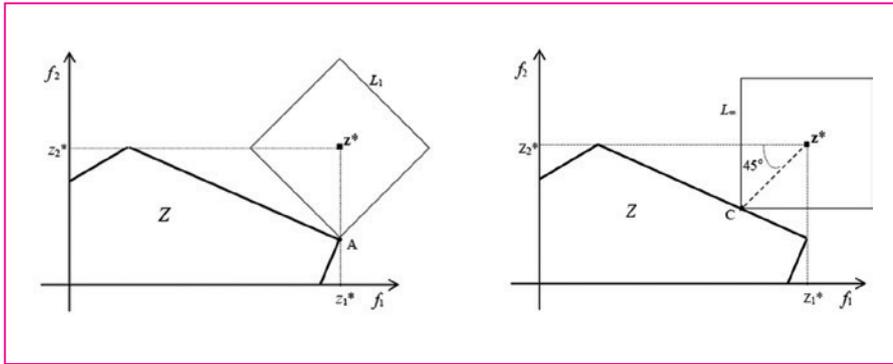


Fig. 4 – Ilustração das soluções não dominadas obtidas num problema de programação linear com duas funções objectivo a maximizar, através da métricas de Manhattan (A) e de Chebyshev (C) [1]

(através da sua implementação computacional que deve facilitar esta interacção). Em cada fase de cálculo é obtida (em geral) uma solução não dominada que é colocada à apreciação do decisor. De acordo com as indicações dadas face a essa solução, através de um protocolo de diálogo específico de cada método destinado a eliciar as preferências do decisor, é preparada a fase de cálculo seguinte para obter uma nova solução, expectavelmente mais de acordo com essa expressão de preferências. Cada fase de cálculo consiste tipicamente na resolução de um problema escalar substituto, agregando as múltiplas funções objectivo e incluindo parâmetros de informação de preferências, de forma a que a solução óptima deste problema seja não dominada do problema de OM inicial. Uma solução

“NA MÉTRICA DE MANHATTAN TODAS AS DIFERENÇAS CONTAM NA PROPORÇÃO DA SUA GRANDEZA, E PEQUENAS DIFERENÇAS EM ALGUMAS FUNÇÕES OBJECTIVO PODEM COMPENSAR GRANDES DIFERENÇAS NOUTRAS FUNÇÕES OBJECTIVO, NA MÉTRICA DE CHEBYSHEV PRETENDE-SE MINIMIZAR “O PIOR QUE PODE ACONTECER””

final de compromisso, aceitável como resultado do processo de apoio à tomada de decisões face à evolução/construção das preferências do decisor, deve pertencer ao conjunto de soluções não dominadas.

Estas funções escalares podem consistir na:

- optimização de uma das funções objectivo considerando as outras como restrições;
- optimização de uma soma ponderada das funções objectivo;
- minimização de uma distância a um ponto de referência (constituído pelos valores que o decisor gostaria de obter em cada função), de acordo com uma dada métrica. Os problemas escalares substitutos podem combinar estas técnicas, por exemplo, minimizando uma distância ponderada a um ponto de referência, considerando restrições adicionais nos valores das funções objectivo (indicando um limite inferior que o decisor está disposto a aceitar). Entre as métricas usadas nessas funções distância merecem destaque a métrica de Manhattan (i.e., minimização da soma das diferenças de todas as funções objectivo em relação à respectiva componente do ponto de referência) e a métrica de Chebyshev (i.e., minimização da máxima diferença), possivelmente considerando coeficientes de ponderação, i.e., essas diferenças têm distintos factores de escala para cada função objectivo. Para além de em problemas de OM lineares a minimização de uma distância a um ponto de referência usando as métricas de Manhattan e de Chebyshev conduzir a problemas escalares lineares, estas métricas captam diferentes atitudes do decisor. Enquanto na métrica de Manhattan todas as diferenças contam na proporção da sua grandeza, e pequenas diferenças em algu-

mas funções objectivo podem compensar grandes diferenças noutras funções objectivo, na métrica de Chebyshev pretende-se minimizar “o pior que pode acontecer” (i.e. a máxima diferença em todas as funções objectivo em relação aos respectivos valores desejados), captando uma atitude mais conservativa, não compensatória. A figura 4 ilustra o cálculo de soluções não dominadas num problema de programação linear com duas funções objectivo a maximizar, minimizando a distância a um ponto de referência z^* , constituído pelo óptimo individual de cada função objectivo, usando as métricas de Manhattan (obtendo a solução A) e de Chebyshev (obtendo a solução C). O losango na métrica de Manhattan e o quadrado na métrica de Chebyshev representam contornos de isodistância em relação ao ponto de referência z^* .

Para além dos métodos baseados em programação matemática, as meta-heurísticas multiobjectivo têm ganho recentemente uma crescente popularidade para tratar problemas de OM, sobretudo problemas fortemente não lineares e/ou de natureza combinatoria. Como está em causa a caracterização, mais ou menos exaustiva, do conjunto de soluções não dominadas, as meta-heurísticas multiobjectivo que trabalham com populações (por exemplo, algoritmos genéticos/evolucionários, optimização por enxames de partículas, evolução diferencial, etc.) têm sido alvo de extensa investigação e aplicação em diversas áreas, dado que permitem fazer evoluir a população de soluções para a frente não dominada, embora sem garantias de convergência, através dos mecanismos próprios de cada técnica (recombinação, mutação, etc.) em vez de resolver um problema escalar substituto com diferentes parâmetros para obter uma solução não dominada em cada optimização.

O sector energético tem constituído, desde sempre, um terreno fértil para a aplicação de modelos e métodos de investigação operacional. A capacidade de fornecer de forma fiável a energia necessária para suprir uma vasta gama de necessidades nos vários sectores económicos, incluindo o sector residencial e os transportes, é uma característica distintiva das sociedades desenvolvidas. Até aos anos 1970, quando ocorreu uma crise energética causada pelo aumento da procura nos principais países desenvolvidos e embargos dos países produtores, os modelos de planeamento energético eram quase exclu-

“A NECESSIDADE DE CONSIDERAR EXPLICITAMENTE MÚLTIPLOS USOS EM SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS E DE TER EM CONTA OS IMPACTOS AMBIENTAIS NUM VASTO CONJUNTO DE PROBLEMAS DE PLANEAMENTO ENERGÉTICO CONSTITUIU ENTÃO A PRINCIPAL MOTIVAÇÃO PARA A UTILIZAÇÃO DE MODELOS E MÉTODOS DE OM E DE AMC”

sivamente guiados pela minimização de custos face a restrições tecnológicas e de satisfação da procura. Este paradigma começou a alterar-se substancialmente devido à crise energética e às crescentes preocupações associadas aos impactos ambientais de todo o ciclo de vida da indústria energética, desde a extracção de matérias-primas até às utilizações finais.

Neste contexto, os méritos das decisões energéticas, do nível operacional ao estratégico, não podiam ser avaliados apenas considerando os custos ou benefícios económicos, mas diversos impactos ambientais, a fiabilidade do abastecimento, a diversificação das fontes, as perdas, etc., passaram também a ser explicitamente tidos em conta, muitas vezes numa perspectiva societal. A necessidade de considerar explicitamente múltiplos usos em sistemas de recursos hídricos e de ter em conta os impactos ambientais num vasto conjunto de problemas de planeamento energético constituiu então a principal motivação para a utilização de modelos e métodos de OM e de AMC, que ganharam uma especial relevância na literatura científica da área desde a década de 1980. De facto, muitos modelos de planeamento energético já incorporavam estas preocupações, mas geralmente faziam-no reduzindo-as a uma dimensão monetária englo-

bada numa única função objectivo a otimizar, perdendo assim a capacidade de evidenciar os compromissos (*trade-offs*) entre os múltiplos, conflitantes e incomensuráveis eixos de avaliação que concorrem para a apreciação do mérito das potenciais soluções.

A importância crescente das questões associadas à sustentabilidade, intrinsecamente envolvendo múltiplos aspectos de avaliação, em decisões operacionais e de planeamento, a introdução de mercados de energia com diferentes configurações, a natureza conflituante das perspectivas das diferentes partes interessadas (*stakeholders*), a incerteza associada aos modelos de energia, tornaram os modelos de OM e de AMC indispensáveis para lidar com a maioria dos problemas que surgem no sector energético [2].

Uma das primeiras aplicações da OM no sector energético tendo em conta questões de sustentabilidade foi o planeamento da expansão da capacidade de produção de energia eléctrica. Tipicamente estes problemas envolvem a determinação da capacidade a instalar (número e tipo de unidades produtoras, i.e. fontes de energia primária e tecnologias de conversão, podendo ainda ter em conta aspectos associados à localização) e o regime de produção, num período de planeamento de décadas. Mais recentemente, para além da consideração de grandes centrais produtoras (carvão, gás natural, nuclear, grandes hídricas, etc.) estes modelos consideram instalações baseadas em recursos renováveis (eólico, fotovoltaico, etc.). As funções objectivo incluem a minimização dos custos, a minimização das emissões poluentes (SO_2 , CO_2 , NO_x , etc.), a maximização da fiabilidade, a minimização da dependência externa do país em relação aos combustíveis fósseis, a maximização do emprego a nível regional ou nacional, a maximização da capacidade de usos múltiplos energéticos e não energéticos de água em sistemas hídricos, a minimização de resíduos nucleares, etc.

Outro tipo de problemas nos quais as abordagens de OM e de AMC têm tido um papel relevante diz respeito ao planeamento das infraestruturas de rede, que está parcialmente ligado ao problema acima referido. As infraestruturas de rede (de gás e de electricidade) têm caracte-

terísticas de monopólio natural, o que impõe a necessidade de mecanismos transparentes de acesso tendo em conta a perspectiva societal. O planeamento das redes de transporte e de distribuição envolve a determinação da localização, dimensionamento e escalonamento temporal da instalação de novos equipamentos, considerando objectivos de natureza económica, técnica e de qualidade de serviço. As funções objectivo mais habitualmente consideradas nestes problemas são a minimização do custo de construção ou reforço das infraestruturas e da instalação ou substituição de equipamentos, minimização dos custos associados ao congestionamento das redes, maximização do crescimento económico induzido pelos projectos, minimização dos impactos ambientais, por exemplo associados aos corredores para as redes, maximização da capacidade de controlo dos fluxos, maximização dos indicadores de qualidade de serviço (frequência e duração de falhas).

A provisão sustentável de energia de forma a satisfazer as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade de as futuras gerações o poderem fazer, é inescapável no desenvolvimento de modelos de apoio à tomada de decisões no sector energético. A exploração dos recursos energéticos deve ser equilibrada com as ameaças das alterações climáticas, através da redução das emissões de gases de efeito de estufa, para o que concorre decisivamente a incorporação de fontes de energia renováveis na matriz de geração, a mitigação dos efeitos na saúde humana e nos ecossistemas, os riscos geopolíticos, as questões sociais, a eficiência técnica e de mercados, etc., em contextos transnacionais e transgeracionais. As preocupações associadas à sustentabilidade, nas suas múltiplas dimensões, invocam inerentemente as abordagens de MO e AMC, que contribuem para resolver problemas de grande dimensão e complexidade, os quais, por sua vez, são também fonte de motivação para a investigação de novas propostas metodológicas.

Este texto foi escrito segundo as regras do antigo acordo ortográfico.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Henggeler Antunes, M. J. Alves, J. Climaco. "Multiobjective Linear and Integer Programming", *EURO Advanced Tutorials on Operational Research*, Springer, 2016.
- [2] C. Henggeler Antunes, C.O. Henriques. "Multi-objective optimization and multi-criteria analysis models and methods for problems in the energy sector", in: M. Ehrgott, J.R. Figueira, S. Greco (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 2nd edition, Chapter 25, 1067-1165, Springer.

MELHOR SUSTENTAÇÃO PARA MAIS SUSTENTABILIDADE O PAPEL DA INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL



LUIS DIAS

INESC Coimbra e CeBER,
Faculdade de Economia,
Universidade de Coimbra
luisdias@fe.uc.pt

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade da civilização humana e do planeta em que esta habita é uma preocupação central da sociedade contemporânea. Existe hoje a percepção de que vivemos com recursos finitos, cuja exaustão ou inutilização poderão levar ao desaparecimento da nossa civilização, à semelhança de exemplos como o da antiga civilização da Ilha da Páscoa [1]. No relatório “Our common future” (Relatório Brundtland) [2], redigido sob os auspícios das Nações Unidas pela Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento, o desenvolvimento sustentável é definido como aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. Importa, pois, que os processos de decisão apoiados pela Investigação Operacional (IO) contribuam para este objetivo, incorporando uma avaliação para a sustentabilidade que tenha em conta a “Tripple Bottom Line” da sustentabilidade económica, social e ambiental [3]

A responsabilidade dos analistas de IO e dos decisores de promoverem a sustentabilidade surge, entre outros, em vários artigos do volume especial acerca da Ética e IO editado pelo nosso colega João Clímaco com J. P. Brans, V. Gallo e F. Wenstøp nas *International Transactions in Operational Research* (volume 17, 2010). Wenstøp [4] nota que desde cedo os especialistas em IO têm debatido a dimensão ética desta disciplina, com uma particular atenção às consequências das soluções recomendadas pelos estudos para a sociedade e para a natureza. Entre as preocupações mais visadas na literatura sobre a ética em IO, encontra-se a de contribuir para promover um desenvolvimento sustentável [5], [6], tendo em particular atenção a necessidade de ter em conta critérios ambientais, económicos e sociais. Em códigos de conduta de algumas sociedades de IO chega-se a explicitar esta preocupação de teor consequencialista ou teleológico, a par das tradicionais normas de natureza deontológica. Por exemplo no código de conduta da sociedade japonesa de IO explicita-se o dever de “Estimar a sociedade, o ambiente, as organizações e os indivíduos” [7]. A mesma preocupação não foi esquecida por Brans,

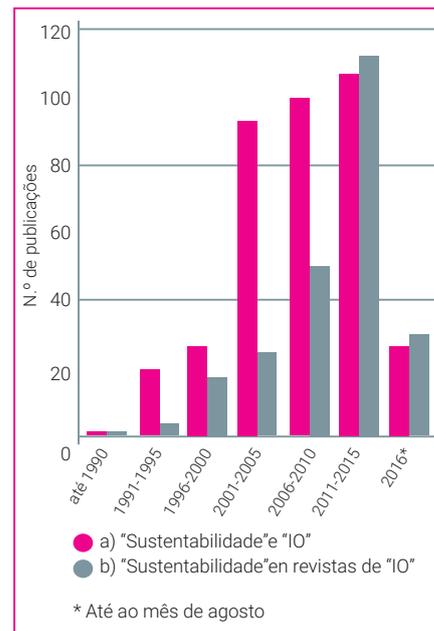


Fig 1.- a) Número de artigos em revista na base de dados Scopus, de todas as áreas, que incluem “sustentabilidade” e “investigação operacional” (ou variações) no título, resumo ou palavras-chave (cor rosa); b) Número de artigos na base de dados Scopus que incluem a palavra “sustentabilidade” (ou variações), em algumas revistas de IO: *Annals of Operations Research*, *Asia Pacific Journal of Operational Research*, *Computers and Operations Research*, *Decision Sciences*, *Decision Support Systems*, *European Journal of Operational Research*, *Evolutionary Computation*, *IEEE Transactions on Cybernetics*, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, Interfaces*, *International Journal of Forecasting*, *International Transactions In Operational Research*, *Journal of Optimization Theory and Applications*, *Journal of the Operational Research Society*, *Management Science*, *Omega*, *Operations Research*, *OR Spectrum*, *Reliability Engineering and System Safety* (cor cinzenta).

quando propôs que profissionais, investigadores e docentes de IO fizessem um “Juramento de Prometeus” (por analogia ao Juramento de Hipócrates) em que se comprometessem a ter sempre em conta as dimensões sociais, económicas e ecológicas dos problemas [8].

IO E SUSTENTABILIDADE

A IO tem correspondido ao desafio de contribuir para a sustentabilidade. Numa pesquisa de artigos científicos na base de dados Scopus usando como filtro a condição (*sustai-*

nability OR sustainable) AND (“operations research” OR “operational research”), aplicada a título, resumo e keywords foram encontrados 375 artigos, dos quais apenas 40 anteriores ao ano 2000 (Fig. 1). Naturalmente, trata-se de uma pesquisa muito limitada, porquanto muitos artigos de IO não incluem as palavras “operations research” ou “operational research” no título, resumo ou keywords, mormente quando se trata de revistas de IO. Tal justifica uma pesquisa por variações da palavra sustentabilidade (“*sustainab*”) em revistas de IO, agora limitada ao título e keywords. Tal pesquisa (Fig. 1) corrobora a ideia de que até 1990 não havia praticamente nenhum trabalho na área, mas tem havido um grande crescimento desde então.

As palavras-chave mais comuns em artigos na base de dados Scopus que incluem a palavra “sustentabilidade” revelam as áreas de aplicação e os modelos de IO mais comumente encontradas neste contexto (Fig. 2). No que respeita áreas de aplicação, encontram-se sobretudo os temas do ambiente e da energia, bem como vários tópicos de logística e gestão de operações (supply chain management, reverse logistics, location, sustainable manufacturing, etc.). A ideia de melhorar a eficiência das operações está no cerne da IO. Conseguir utilizar menos recursos naturais e menos energia contribui para o tradicional objetivo de minimizar custos, mas a incorporação de outros objetivos referentes a impactes ambientais

“NO QUE RESPEITA A MODELOS DE IO, É SEM SURPRESA QUE SURGEM EM GRANDE DESTAQUE A ANÁLISE DE DECISÃO MULTI-CRITÉRIO (MCDA), A ANÁLISE DA ENVOLVENTE DE DADOS (DEA) E A PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA MULTIOBJETIVO”



Fig 2 - Palavras-chave mais comuns em artigos na base de dados Scopus que incluem a palavra “sustentabilidade” (ou variações), nalgumas revistas de IO (lista na legenda da Fig.1).

tem vindo a tornar-se mais comum [9], bem como mais recentemente a incorporação de impactes sociais [10].

No que respeita a modelos de IO, é sem surpresa que surgem em grande destaque a análise de decisão multi-critério (MCDA), a análise da envolvente de dados (DEA) e a programação matemática multiobjetivo. Estes modelos têm em comum a consideração explícita de várias vertentes de avaliação em simultâneo, o que constitui a forma mais natural de atender a preocupações de natureza económica, social e ambiental, a par de outras eventuais preocupações (p.ex. de ordem técnica ou de segurança). A seguir, surgem destacados na Fig. 2 o uso de Sistemas de Apoio à Decisão e de modelos de Dinâmica de Sistemas. Trata-se de utensílios computacionais que facilitam a análise de problemas considerando múltiplos cenários, permitindo aos decisores envolvidos analisar de forma interativa os efeitos de alterar alguns dos pressupostos do modelo ou os efeitos de possíveis medidas que possam potencialmente implementar. Os modelos de Dinâmica de Sistemas, em particular, apresentam a virtude de modelar as interações ao longo do tempo entre diferentes elementos de um sistema, um aspeto crucial quando se discute sustentabilidade.

IO E SUSTENTABILIDADE EM PORTUGAL

Em Portugal, a IO em ação também já se preocupa com a questão da sustentabilidade. Procurando artigos recentes com a palavra “sustentabilidade” (ou variações), no título, resumo

ou palavras-chave nalgumas revistas de IO (v. legenda da Fig. 1) é possível identificar alguns casos em território português, brevemente resumidos nos parágrafos seguintes.

Covas *et al.* [11] analisaram todas as freguesias portuguesas para identificar as mais interessantes com vista à localização de um *data center* que pretendia ser exemplar a nível de sustentabilidade. Para além dos analistas, foi envolvida a equipa responsável pelos *data centers* da empresa portuguesa interessada. Foi utilizado o método ELECTRE TRI para proceder a uma classificação em quatro categorias de aptidão, para quatro conjuntos de critérios que refletiam exposição a riscos, o impacte económico para a empresa, os aspetos sociais e o impacte ambiental. Permitted-se assim sintetizar uma grande quantidade de informação em quatro indicadores de síntese. Martins *et al.* [12] modelaram os aspetos socioeconómicos e ambientais da pesca artesanal na costa sul de Portugal, no âmbito de um projeto europeu INTERREG. Para além de especialistas em IO, foram envolvidos especialistas na área da gestão das pescas e contou-se com a colaboração de entidades oficiais portuguesas para fornecimento de dados. Foi construído um modelo de Dinâmica de Sistemas para simular e estudar a evolução de várias variáveis do sistema, tendo em conta cenários alternativos e diferentes estratégias regulatórias, que pode constituir um importante auxílio para a gestão das pescas e a sensibilização dos seus atores.

Ramos *et al.* [13] construíram um modelo para

“DIFICILMENTE SE PODERÁ ENTENDER COMO SUSTENTÁVEL UMA SOLUÇÃO QUE NÃO O SEJA PARA ALGUMA DAS PARTES INTERESSADAS. O ENVOLVIMENTO DOS “STAKEHOLDERS” TORNA-SE POR ISSO IMPRESCINDÍVEL EM ESTUDOS DE IO QUE SE PREOCUPEM COM A SUSTENTABILIDADE”

apoiar o planeamento de operações num sistema de recolha de desperdícios recicláveis (vidro, papel e plásticos/metals), num contexto de logística inversa, tendo em conta a vertente económica (custos), a vertente ambiental (emissões de CO₂) e a vertente social (equidade). Trata-se de um modelo de programação inteira mista multiobjetivo, que permite obter soluções eficientes para o problema de definir percursos de recolha e proceder à afetação de trabalhadores/veículos a essas rotas, ao longo de um período de planeamento. O trabalho foi motivado pela realidade de uma empresa de recolha que serve uma região com 19 municípios. Foi possível aos autores propor uma so-

lução que permitia melhorar o plano então em vigor nos três objetivos considerados.

Estes trabalhos são apenas alguns exemplos ilustrativos, que estarão muito longe de retratar a atividade da IO portuguesa em prol da sustentabilidade, até porque esta não se cinge ao território português. Os membros da nossa comunidade intervêm em casos de IO em ação noutros países, como são exemplo o trabalho de Pinto *et al.* [14] relativo ao planeamento da distribuição de água e saneamento básico no Brasil, ou o trabalho de Sanchez-Lopez *et al.* [15], relativo à avaliação de programas de desenvolvimento rural na Bolívia. Noutros casos, estão em causa realidades que não se cingem a um país em particular, como é exemplo a proposta de Zanella *et al.* [16] para um indicador de qualidade de vida nas cidades agregando dimensões relativas ao bem-estar dos habitantes (transportes, educação, lazer, etc.) e outras relativas à qualidade do ambiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desta breve nota pode-se concluir que a preocupação com a sustentabilidade na literatura de IO é relativamente recente (inicia-se nos anos 90 do Sec. XX), mas tem crescido significativamente desde então. Os modelos de IO mais referidos são os que preterem o reducionismo a favor de uma visão holística dos sistemas e de uma multiplicidade de pontos de vista. Assumem particular relevo modelos que permitem avaliar o desempenho de soluções em múltiplas vertentes de natureza ambiental, económica e social: os modelos de análise de decisão multicritério, os modelos de programação multiobjetivo, a análise da envolvente de dados e a dinâmica dos sistemas. Alguns

exemplos recentes encontrados em Portugal corroboram plenamente esta visão.

A consideração explícita de múltiplos critérios, (ou objetivos, ou fatores) de avaliação facilita a incorporação dos pontos de vista de diferentes partes interessadas, que é um aspeto crucial na discussão da sustentabilidade: dificilmente se poderá entender como sustentável uma solução que não o seja para alguma das partes interessadas. O envolvimento dos “stakeholders” torna-se por isso imprescindível em estudos de IO que se preocupem com a sustentabilidade. Neste âmbito, a utilização de técnicas de estruturação de problemas (“soft OR”) [17] poderá ser muito útil (e.g., [18], [19]).

O envolvimento de partes interessadas traz consigo a necessidade de conciliar diferentes opiniões, mormente em modelos que eliciem informação relativa a preferências, como é o caso dos modelos de avaliação multicritério/multiobjetivo. Um desafio porventura ainda pouco tido em conta é o de trazer para este contexto a investigação em IO relativa a modelos de apoio à decisão em grupo e à negociação.

O desafio maior, porém, é o de sensibilizar para o uso da IO os decisores a todos os níveis, nas instâncias internacionais, nos governos e organismos públicos, nas empresas e na sociedade civil. A IO possui já instrumentos de reconhecido rigor e comprovada utilidade para corresponder às necessidades destes decisores, entre as quais se inclui a necessidade de sustentar bem as suas escolhas. Urge que os decisores procurem a melhor sustentação para as suas decisões, através da IO, para que o sistema em que vivemos se torne mais sustentável.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Diamond, “Easter Island’s end,” in *Global environmental challenges of the twenty-first century*, D. E. Lorey, Ed. Wilmington: Scholarly Resources, 2003, pp. 205–214. [2] WCED - World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press, 1987. [3] J. Pope, D. Annandale, and A. Morrison-Saunders, “Conceptualising sustainability assessment,” *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 24, no. 6, pp. 595–616, 2004. [4] F. Wenstøp, “Operations research and ethics: development trends 1966-2009,” *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 17, no. 4, pp. 413–426, Jun. 2010. [5] J.-P. Brans and P. L. Kunsch, “Ethics in operations research and sustainable development,” *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 17, no. 4, pp. 427–444, Jun. 2010. [6] R. J. Ormerod and W. Ulrich, “Operational research and ethics: A literature review,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 228, no. 2, pp. 291–307, Jul. 2013. [7] S. I. Gass, “Ethical guidelines and codes in operations research,” *Omega*, vol. 37, no. 6, pp. 1044–1050, Dec. 2009. [8] J. P. Brans, “OR, Ethics and Decisions: the OATH of PROMETHEUS,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 140, no. 2, pp. 191–196, 2002. [9] C. S. Tang and S. Zhou, “Research advances in environmentally and socially sustainable operations,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 223, no. 3, pp. 585–594, 2012. [10] L. White and G. J. Lee, “Operational research and sustainable development: Tackling the social dimension,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 193, no. 3, pp. 683–692, 2009. [11] M. T. Covas, C. A. Silva, and L. C. Dias, “Multicriteria decision analysis for sustainable data centers location,” *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 20, no. 3, pp. 269–299, May 2013. [12] J. H. Martins, A. S. Camanho, M. M. Oliveira, and M. B. Gaspar, “A system dynamics model to support the management of artisanal dredge fisheries in the south coast of Portugal,” *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 22, no. 4, pp. 611–634, Jul. 2015. [13] T. R. P. Ramos, M. I. Gomes, and A. P. Barbosa-Póvoa, “Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns,” *Omega*, vol. 48, pp. 60–74, 2014. [14] F. S. Pinto, J. R. Figueira, and R. C. Marques, “A multi-objective approach with soft constraints for water supply and wastewater coverage improvements,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 246, no. 2, pp. 609–618, 2015. [15] R. Sanchez-Lopez, C. A. Bana e Costa, and B. De Baets, “The MACBETH approach for multi-criteria evaluation of development projects on cross-cutting issues,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 199, no. 1, pp. 393–408, 2012. [16] A. Zanella, A. S. Camanho, and T. G. Dias, “The assessment of cities’ livability integrating human wellbeing and environmental impact,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 226, no. 1, pp. 695–726, 2015. [17] J. Mingers and J. Rosenhead, “Problem structuring methods in action,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 152, no. 3, pp. 530–554, Feb. 2004. [18] L. P. Neves, L. C. Dias, C. H. Antunes, and A. G. Martins, “Structuring an MCDA model using SSM: A case study in energy efficiency,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 199, no. 3, pp. 834–845, Dec. 2009. [19] R. G. Souza, J. Rosenhead, S. P. Salhofer, R. A. B. Valle, and M. P. E. Lins, “Definition of sustainability impact categories based on stakeholder perspectives,” *J. Clean. Prod.*, vol. 105, pp. 41–51, Sep. 2015.

UMA EXPERIÊNCIA NÃO-ACADÊMICA NO REINO UNIDO

Foi com alguma surpresa que recebi o convite para partilhar a minha experiência em IO pelo mundo. Por regra estes artigos são focados em personalidades académicas o que certamente não é o meu caso. Por tal, desde já agradeço à equipa editorial a oportunidade de descrever a minha relação com a IO na Indústria.

Sou filho de emigrantes portugueses e nasci na Alemanha. Aos 6 anos voltei para Portugal e aí fiz todo o percurso académico. Após o percurso escolar secundário feito em Torres Novas, veio o tempo de mudar para Lisboa para fazer a parte universitária. Sem certezas do que queria mesmo fazer na vida, decidi-me por um curso híbrido fazendo a Licenciatura de Gestão e Engenharia Industrial no ISCTE. Aí fui contagiado pela paixão do Professor Crespo de Carvalho pela Logística e rapidamente fiz dessa ciência a minha vocação. Percebi também nessa altura que as chamadas “soft skills” não seriam suficientes para progredir nesta área e fiquei logo “de olho” nas potencialidades de aplicação da IO na Logística.

Comecei por trabalhar em Consultoria em Logística e cedo cimentei a minha ideia de que otimização é fundamental para quem anda no mundo de melhoria de Processos e de Logística. IO fazia assim todo o sentido e, embora tendo mudado de consultoria para a Indústria, 5 anos após terminado a licenciatura, lá me aventurei no Mestrado de Investigação Operacional e Engenharia de Sistemas (MIOES) do IST, com o objetivo de aumentar o meu leque de ferramentas para melhorar as minhas skills.

Desde então trabalhei quer na Indústria quer nos Serviços e em ambos os casos os problemas tendem a seguir os mesmos princípios. Nas funções que exerço/exerci sempre me foi pedido o mesmo: minimizar *inputs* e maximizar *outputs*. Estes vêm normalmente em formato de recursos, pessoas, tempo e qualidade, mas continuam a ser problemas de otimização.

Há algum tempo tinha também o objetivo de trabalhar no estrangeiro e em 2009 essa oportunidade surgiu mudando-me para Nottingham - Inglaterra com a família, onde ainda continuo a viver.

Atualmente tenho assento no conselho de gestão e coordeno a cadeia de abastecimento de uma empresa de Radio comunicações, a Simoco Group. Como qualquer outra empresa tecnológica que inclui R&D e produção, temos a nossa cadeia de abastecimento a montante espalhada

pelo mundo e em particular na Ásia, onde temos as nossas fábricas. Tenho responsabilidade direta pela produção e em todas as fases da cadeia de abastecimento até à distribuição nos centros de negócio internacionais, tendo assim várias equipas afetas a diferentes responsabilidades na chamada *Supply Chain*.

Seria fastidioso explicar a complexidade do sistema, mas fica a ideia que os fluxos são complexos, quer pela sua natureza (*project approach - low volume/high mix*), quer pela sua mutabilidade, uma vez que a tecnologia de ontem é *old news* e mudança e obsolescência são intrínsecas ao negócio.

Num mundo com estas características há normalmente duas restrições fundamentais: tempo e dinheiro. É aqui que sinto que os meus conhecimentos de Investigação Operacional ajudam significativamente e fazem talvez a diferença comparando com a abordagem mais comum na gestão. Na minha função e neste ambiente mutável não formulo formalmente a grande maioria dos problemas, mas ao guiar as minhas equipas tenho presentes os princípios de otimização e recorro diariamente às teorias de decisão (obrigado Professor Bana e Costa pelo seu excelente modelo de apoio à decisão multi-critério), modelos de previsão, análise de redes, gestão de projetos e à simulação. Há 5 anos que estou com esta empresa e tenho desde essa altura conseguido melhorar significativamente os seus indicadores de gestão e financeiros, batendo muitas vezes a concorrência que parece menos capaz a responder aos requisitos de cada oportunidade/projeto. Deixem-me explicitamente referir que considero que a Investigação Operacional é, sem dúvida, uma vantagem competitiva para quem a compreende e a aplica na gestão industrial.

Infelizmente, sinto que a IO tem na minha experiência pouca visibilidade comercial sofrendo do que me atrevo a chamar de dificuldades de marketing. Salvo algumas bem-vindas exceções, é surpreendente ver o desconhecimento geral da indústria relativamente a esta área de conhecimento sendo obrigado, na maioria das vezes, a explicar o que é, como pode ser aplicada e como é útil. Isto tende a ser particularmente problemático aquando da candidatura a um emprego onde quer os profissionais da indústria, quer a entidade contratante a desconhecem e por isso não a conseguem valorizar. Talvez o nome em si



SANDRO FARIA

Manufacturing & Technical Services
Manager, Simoco Group,
Derby, UK
sandro.faria@simocogroup.com

(quer em inglês, quer em português) não seja claro o suficiente ou talvez o facto de incluir “investigação” no nome remeter as pessoas imediatamente para que seja associado apenas ao foro académico. O problema parece ser global, não se restringindo a Portugal ou a Inglaterra. Tendo dito isto, continuo confiante que as ferramentas da Investigação Operacional estarão a meu lado para me apoiar nos próximos desafios que se atravessarem no meu caminho.

“NAS FUNÇÕES QUE EXERÇO/EXERCI SEMPRE ME FOI PEDIDO O MESMO: MINIMIZAR INPUTS E MAXIMIZAR OUTPUTS. ESTES VÊM NORMALMENTE EM FORMATO DE RECURSOS, PESSOAS, TEMPO E QUALIDADE, MAS CONTINUAM A SER PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO”

OTIMIZAÇÃO EM CADEIAS DE ABASTECIMENTO SUSTENTÁVEIS

CADEIA DE ABASTECIMENTO DE PRODUTOS CONGELADOS



MARIANA CORREIA

Centro de Estudos de Gestão
Instituto Superior Técnico,
Universidade de Lisboa



ANA CARVALHO

Centro de Estudos de Gestão
Departamento de Engenharia e Gestão
Instituto Superior Técnico,
Universidade de Lisboa

INTRODUÇÃO

A preocupação com a aplicação de práticas sustentáveis tem criado uma necessidade do tecido empresarial na integração deste conceito nas suas atividades. Consequentemente, as empresas procuram otimizar as suas cadeias de abastecimento, de modo a satisfazer os consumidores de modo sustentável.

Neste contexto, o presente trabalho pretende otimizar a cadeia de abastecimento de congelados de uma empresa nacional que atua na área do retalho, com intuito de esta se adaptar às exigências da atualidade. Em particular, a empresa pretende otimizar a sua cadeia de abastecimento (CA) de produtos congelados através de uma reestruturação do *design* e planeamento da sua rede, com o objetivo de aumentar a sua eficiência, reduzindo custos, e promovendo uma relação saudável com o ambiente e a sociedade em redor.

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A cadeia de congelados desta empresa nacional de retalho compreende três centros de distribuição nas regiões Norte, Centro e Sul, nos quais os produtos são armazenados e posteriormente enviados para as lojas segundo os pedidos das mesmas (configuração descrita no primeiro mapa da figura 1). O sortido de congelados foi classificado em quatro tipos de produtos, de acordo com a sua rotatividade no armazém. O armazém do Norte é o único que dispõe o sortido de produtos completo, sendo que nos restantes apenas são armazenados os artigos com alta rotatividade.

Atualmente, a cadeia de congelados da empresa apresenta como principal desafio a classificação de artigos de acordo com a sua rotatividade, em *fast* ou *slow movers*, e a falta de capacidade de armazenamento dos seus centros de distribuição, que se encontram no seu limite, podendo pôr em causa o nível de serviço da CA com o futuro crescimento do volume de vendas. Apesar da cadeia de congelados apresentar um menor volume de caixas movimentadas quando comparada com outros tipos de produtos comercializados pela empresa, esta dispõe de um sortido que inclui perto de 2000 arti-

gos distintos, provenientes de cerca de duas centenas de fornecedores. Estes fatores demonstram a complexidade da análise e subsequente tomada de decisão, quanto ao funcionamento da CA de congelados desta empresa de retalho.

O presente trabalho teve por base a necessidade da empresa explorar novas alternativas para a sua CA de congelados, no plano estratégico-tático, avaliando uma possível reestruturação física da mesma. A empresa pretende otimizar a rede da sua CA, assim como definir o número e localização de possíveis centros de distribuição que se traduzam numa maior eficiência, alcançando custos inferiores, menores impactos ambientais e maiores benefícios sociais.

Desta forma, o problema em estudo consiste na determinação do número de armazéns ótimo, com respetiva localização, dimensão e artigos centralizados, de modo a satisfazer as necessidades de procura atuais e futuras, da CA de congelados nacional da empresa.

MODELO DE OTIMIZAÇÃO

A presente modelação tem por base o modelo desenvolvido por Mota *et al.* (2015), que apresenta um modelo MOMILP para o *design* e planeamento de uma cadeia de abastecimento sustentável.

Deste modo, desenvolveu-se um modelo que permite projetar e planear a cadeia de abastecimento direta do presente caso de estudo. Este modelo pretende apoiar simultaneamente decisões estratégicas como a localização e o dimensionamento dos armazéns que satisfazem a cadeia de abastecimento, como decisões táticas relacionadas com o planeamento de fluxos de produtos,

**“AS EMPRESAS
PROCURAM OTIMIZAR
AS SUAS CADEIAS DE
ABASTECIMENTO, DE
MODO A SATISFAZER
OS CONSUMIDORES DE
MODO SUSTENTÁVEL”**

armazenamento e transporte. O modelo apresenta a avaliação do desempenho da cadeia de abastecimento segundo as três dimensões da sustentabilidade, sendo assim definidas três funções objetivo: 1) minimização do custo total da cadeia de abastecimento; 2) minimização do impacto ambiental obtido através de metodologias LCIA (*Life Cycle Impact Assessment*); 3) maximização do benefício social. Nesta última, foram adotadas duas funções objetivo para a avaliação social, uma que pretende favorecer regiões com maior taxa de desemprego e outra que prioriza zonas com menor densidade populacional.

Assim, a formulação apresenta a função objetivo [1] que considera o desempenho econômico da cadeia de abastecimento modelada, na qual os custos totais da CA são minimizados. Nesta são incluídos os seguintes custos: a) compra do terreno e construção das instalações (1º e 2º termos), contemplando, no 1º termo, o preço por metro quadrado do terreno (it_i) e área dos armazéns implementados (AI_i), na localização i , e no 2º termo, novamente, a área implementada e o custo de construção por metro quadrado implementado (ic); b) pessoal especializado e não especializado (4º e 3º termos), sendo considerados o número de trabalhadores especializados ($staff$) e não especializados (w) por metro quadrado, os respectivos salários para cada período t (fwc_t e wc_t) e a área de cada armazém implementado (AI_i); c) operacionais (5º termo), com base na área de cada armazém implementado (AI_i) e nos custos operacionais por metro quadrado (uc_t) para cada período t ; d) inventário (6º termo), que consideram os custos de inventário por cai-

xa (inc) e o inventário em cada armazém nos diferentes períodos t (IP_{mit}), incluindo ainda o fator de dimensionamento ($dimprod$) de modo a considerar a quantidade total de artigos movimentados, pois o modelo considera apenas os artigos classe A (80% da quantidade de produtos movimentados), permitindo a definição das áreas dos armazéns para comportar a totalidade das quantidades movimentadas e não apenas as correspondentes aos artigos modelados; e) transporte (7º termo), dependendo dos fluxos movimentados de cada produto m entre as entidades em cada período t (Z_{mijt}), do dobro da distância percorrida ($2 \times d_{ij} / (1 - desvio)$) (já que se considera a viagem de retorno ao armazém) e do custo por quilômetro associado ao transporte de unidade de produto ($ctransp_{ij}$), sendo também aplicado o fator de dimensionamento com o intuito de contemplar as quantidades movimentadas de todo o sortido.

Na equação [2] analisa-se o desempenho ambiental considerando os impactos da atividade de transporte e da implementação das instalações, 1º e 2º termos respectivamente. Assim, o primeiro termo determina o impacto ambiental dado o fator de caracterização do impacto do transporte por quilograma movimentado e quilômetro percorrido (iat_c), na categoria Midpoint c , o peso dos produtos movimentados ($mass_m$), a distância percorrida entre os armazéns e as lojas (d_{ij}) e o fluxo de produtos entre as entidades durante cada período de tempo. O segundo termo integra o impacto ambiental por metro quadrado do armazém instalado em i (iai_c), por categoria Midpoint c , pela área implementada (AI_i). Estas duas parcelas são então normalizadas pelo fator η_c . A

“FORAM ADOTADAS DUAS FUNÇÕES OBJETIVO PARA A AVALIAÇÃO SOCIAL, UMA QUE PRETENDE FAVORECER REGIÕES COM MAIOR TAXA DE DESEMPREGO E OUTRA QUE PRIORIZA ZONAS COM MENOR DENSIDADE POPULACIONAL”

presente função objetivo integra também o fator de dimensionamento, tendo em vista o estudo do impacto da movimentação do sortido completo.

Por fim, as funções [3] e [4] permitem estudar o desempenho social segundo o benefício quantificado pelos indicadores de taxa de desemprego e densidade populacional regionais, respetivamente. Em ambas as equações, no primeiro termo, a contribuição é calculada pela soma do produto do número de trabalhadores especializados ($staff$), da área de armazém implementada (AI_i) do número de armazéns instalados e do indicador regional (Emp_i ou Pop_i). O segundo termo representa a contribuição social da contratação de pessoal não especializado para os armazéns instalados, considerando o número de trabalhadores necessários por metro quadrado (w), a área instalada por armazém implementado (AI_i) e o parâmetro regional. Deste modo, a função [3] privilegia as regiões com maior taxa de emprego e a [4] as zonas de menor densidade populacional.

$$\min y = \sum_{i \in I_w} (it_i \times AI_i + ic \times AI_i) + \sum_{t \in T} w \times wc_t \times AI_i + \sum_{t \in T} staff \times fwc_t \times AI_i + \sum_{t \in T} uc_t \times AI_i + \sum_{\substack{(m,i) \in V \\ t \in T}} inc \times IP_{mit} \times dimprod + \sum_{\substack{(m,i,j) \in N \\ t \in T}} 2 \times \frac{d_{ij}}{1 - desvio} \times ctransp_{ij} \times Z_{mijt} \times dimprod \quad [1]$$

$$\min ImpAmb = \sum_{c \in C} \eta_c \left(\sum_{t \in T} \sum_{\substack{(m,i,j) \in O \\ t \in T}} iat_c \times mass_m \times 2 \times \frac{d_{ij}}{1 - desvio} \times Z_{mijt} \times dimprod + \sum_{i \in I_w} iai_c \times AI_i \right) \quad [2]$$

$$\max Emp = \sum_{i \in I_w} Emp_i \times staff \times AI_i + \sum_{i \in I_w} Emp_i \times w \times AI_i \quad [3]$$

$$\max Pop = \sum_{i \in I_w} Pop_i \times staff \times AI_i + \sum_{i \in I_w} Pop_i \times w \times AI_i \quad [4]$$

CENÁRIOS	A	B	C	D	E
Custo total (€)	70.836.039,30	48.191.592,20	54.078.721,40	48.263.437,10	50.601.171,80
Impacte ambiental total	61.990,56 (=48.657,56 + 13.333,00)	30.241,54 (=20.083,22 + 10.158,32)	38.413,51 (=28.255,19 + 10.158,32)	30.232,09 (=20.073,77 + 10.158,32)	31.377,13 (=20.357,50 + 11.019,63)
Benefício social (taxa de desemprego)	100,738	94,627	96,020	94,051	103,151
Benefício social (densidade populacional)	36,856	34,229	41,638	34,490	60,178
Nº de instalações	3	7	3	7	7

Tabela 1 - Desempenhos económico, ambiental e social para todos os cenários estudados.

RESOLUÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Devido à complexidade do presente caso de estudo, foram definidas estratégias de simplificação do problema real com o intuito de minorar a complexidade computacional do modelo. Neste sentido, algumas das estratégias implementadas foram: 1) a redução do sortido modelado com agregação dos produtos por características comuns como a categoria do artigo, a dimensão e o peso da sua respetiva caixa; 2) a seleção de possíveis localizações para a implementação de instalações; 3) a simplificação do modelo de transportes seguido pela empresa, sendo apenas considerados o meio de transporte rodoviário e uma capacidade de 24 ton para todos os veículos que circulam na cadeia de abastecimento.

Consequentemente, a presente resolução contempla apenas 10 artigos representativos do sortido. Considera ainda 9 localizações possíveis para os centros de distribuição (as 3 atuais mais 6 novas, obtidas através de um procedimento que tem por base os critérios da distribuição geográfica da procura e das lojas da empresa) e não impõe nenhuma restrição associada à quantidade abastecida por parte dos fornecedores e assumindo que estes podem fornecer em qualquer localização. Ainda, por se tratarem de decisões no plano estratégico-tático, a análise é realizada num período temporal de 10 anos, dividido em 10 períodos anuais.

Para a análise do presente problema definiu-se diversos cenários com o objetivo de avaliar as diferentes configurações obtidas, considerando as diferentes dimensões, sendo os seus desempenhos expostos na tabela 1:

> Cenário A: caso real, contemplando as 3

atuais localizações, as atuais dimensões e regiões de abastecimento e o tipo de produtos armazenados de cada armazém;

> Cenário B: minimização dos custos totais, considerando todas as localizações possíveis;

> Cenário C: minimização dos custos totais, considerando todas as localizações e limitando a implementação, no máximo, de 3 instalações;

> Cenário D: minimização do impacte ambiental, contemplando a metodologia LCIA ReCiPe Midpoint *hierarchical*;

> Cenário E: maximização do benefício social segundo o indicador da densidade populacional, uma vez que a maximização deste indicador permite um benefício superior ao verificado em todos os cenários, para ambos os indicadores.

Dos cenários modelados, constatou-se que o cenário B apresenta os melhores desempenhos económico e aproxima-se do óptimo ambiental, uma vez que este estabelece uma configuração da cadeia de abastecimento (figura 1) composta por 7 armazéns (incluindo os 3 atuais) localizados e dimensionados de acordo com a procura nos seus arredores e de modo a diminuir o impacto da atividade dos transportes nestas duas dimensões. Assim, o modelo estabelece esta configuração com o intuito de reduzir as distâncias percorridas entre os armazéns e as lojas que estes abastecem, motivo pelo qual todos os armazéns armazenam o sortido completo, reduzindo a necessidade de *transshipment*, quando comparado com o cenário A.

A atividade de transporte encontra-se no foco da otimização, pois a presente análise considera um período de 10 anos, minorando o impacto da criação de novas infraes-

“ESTE TRABALHO REVELA QUE UM CUSTO DE INVESTIMENTO INICIAL DEVIDO A LOCALIZAÇÕES MAIS CARAS OU MAIS ARMAZÉNS, PODE COMPENSAR NO LONGO PRAZO, CASO PERMITA A REDUÇÃO DA ATIVIDADE DE TRANSPORTE”

truturas. Assim, este trabalho revela que um custo de investimento inicial devido a localizações mais caras ou mais armazéns, pode compensar no longo prazo, caso permita a redução da atividade de transporte. Em comparação com a situação atual (A), este cenário apresenta uma redução de cerca de 32% nos custos totais devido ao ajuste da área total implementada e à redução nos transportes, através da adequação das localizações à distribuição geográfica da procura.

Contudo, o presente modelo não contempla restrições associadas aos fornecedores, como quantidades mínimas de encomenda ou centros de distribuição em que realizam a entrega. Mais se acrescenta que como os custos de transporte entre fornecedores e armazéns são suportados pelos primeiros, considera-se pouco provável que os fornecedores se encontrem disponíveis para entregas em mais do que 3 armazéns. Assim, estabeleceu-se o cenário C, no qual é impos-

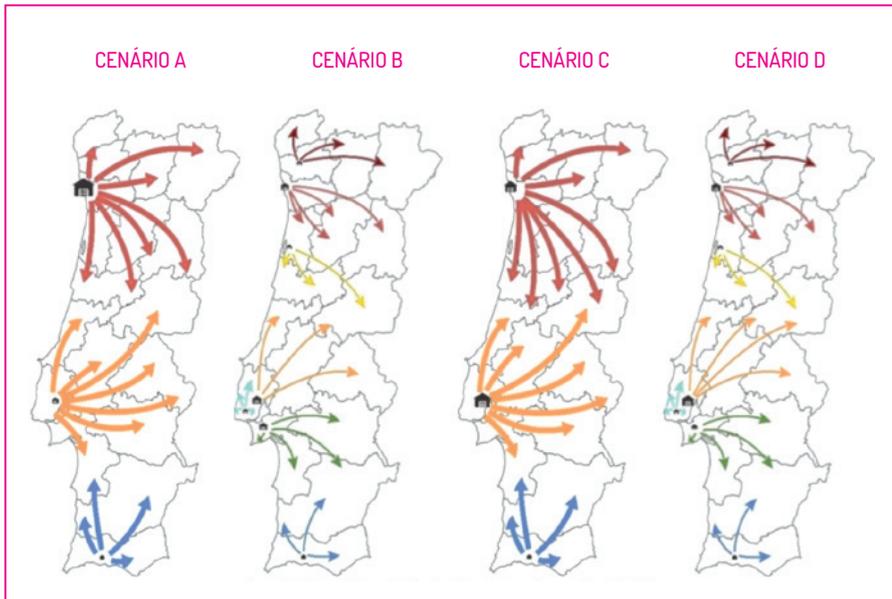


Fig 1 - Configuração da cadeia de abastecimento segundo os cenários A, B, C e D.

to um limite máximo de 3 armazéns implementados.

A configuração obtida no cenário C (figura 1) considera apenas as atuais localizações (de todas as possíveis), revelando a adequação das mesmas para a presente CA. No entanto, é visível alterações nas capacidades dos armazéns e na rede de lojas que abastecem, sendo que o armazém do Centro apresenta aqui uma dimensão superior ao do Norte (que tem a sua área reduzida para quase metade do valor atual), em resposta à maior procura verificada nesta região e ao foco do modelo na redução da distância percorrida, para mitigar o impacto dos transportes na cadeia. Apesar de apresentar os piores desempenhos económico e ambiental entre os cenários fictícios, este permite, no entanto, uma redução considerável nos custos (24%) e no impacto ambiental, quando comparado com o caso real (A).

O ótimo ambiental é apresentado no cenário D, representado por uma configuração (quarto mapa da figura 1) muito semelhante à obtida no cenário B, diferindo apenas com pequenas

variações nas áreas dos armazéns implementados. A conformidade entre os cenários B e D é justificada pelo facto de, em ambas as dimensões económica e ambiental, a atividade de transporte revelar o maior impacto, o que se traduz na minimização das distâncias percorridas por parte do modelo em ambos os cenários.

Por fim, o cenário E maximiza o benefício social considerando um agravamento de 5% nos custos totais da cadeia de abastecimento, restrição esta, que foi implementada de forma a evitar resultados irrealistas. Apesar de não esquematizada, a configuração obtida assemelha-se às apresentadas nos cenários B e D, diferindo apenas na dimensão de alguns armazéns, sendo que estes apresentam uma área superior, pois encontram-se em regiões de menor densidade populacional. Assim, este cenário maximiza o benefício social com o aumento da área total implementada, traduzindo-se num número superior de trabalhadores contratados, focando esse acréscimo de área em zonas menos densas. Com o aumento de

número de trabalhadores empregues, o indicador da taxa de desemprego é também positivamente impactado, sendo que este cenário apresenta o melhor desempenho para ambos os indicadores. Contudo, este cenário dificilmente se verificará, uma vez que provoca uma diminuição da eficiência da cadeia, pelo excesso de área implementada.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo de otimização com o objetivo de apoiar a tomada de decisões estratégico-táticas como o número, localização e dimensão de armazéns e a região que estes abastecem. Os resultados obtidos sugerem que a cadeia com 7 armazéns satisfaz as necessidades atuais com os menores custos totais e impacto ambiental. Contudo, quando aplicada a restrição de um máximo de 3 armazéns, os resultados obtidos consideram 3 instalações que correspondem às atuais localizações o que reforça as opções consideradas pela empresa até agora. Porém, esta propõe um redimensionamento e redistribuição das zonas de abastecimento para cada armazém, ajustando-se à distribuição geográfica da procura e lojas, de modo a reduzir o impacto dos transportes. Para ambos os cenários também o impacto ambiental da cadeia de abastecimento é minorado, uma vez que estas configurações possibilitam a redução da atividade de transporte através da minimização das distâncias percorridas, sendo que a cadeia com 7 armazéns obtém o melhor resultado, reforçando a importância da reestruturação da cadeia. Considerando a dimensão social, realça-se um pior desempenho na maioria das configurações, já que estas propõem a redução da área total implementada, resultando na diminuição do total de trabalhadores empregues, considerando as atuais necessidades da cadeia de abastecimento. Destaca-se ainda que, com a distribuição geográfica da procura com maior foco em zonas mais populosas, as localizações mais próximas destas zonas tornam-se mais adequadas do ponto de vista da eficiência, desfavorecendo o desempenho social.

REFERÊNCIAS

Mota, B., Gomes, M.I., Carvalho, A., Barbosa-Povoa, A.P., 2015. Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning. *Journal of Cleaner Production* 105, 14-27.

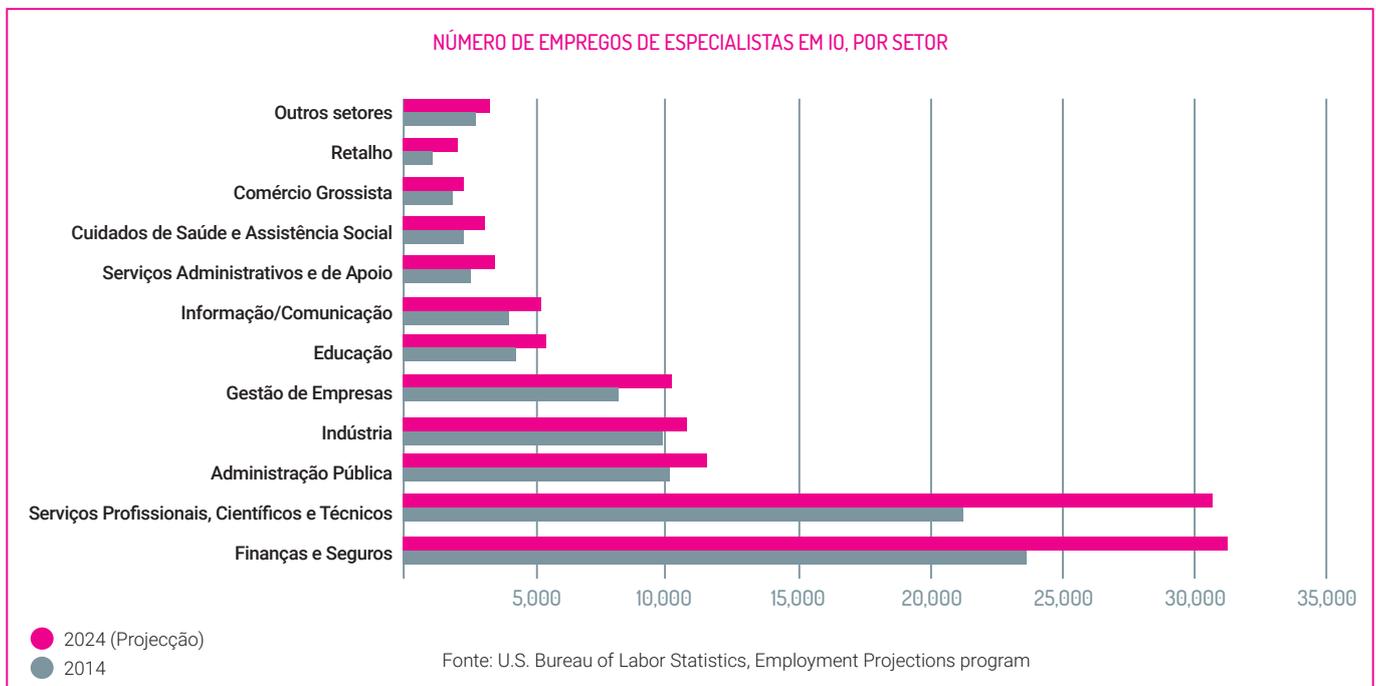
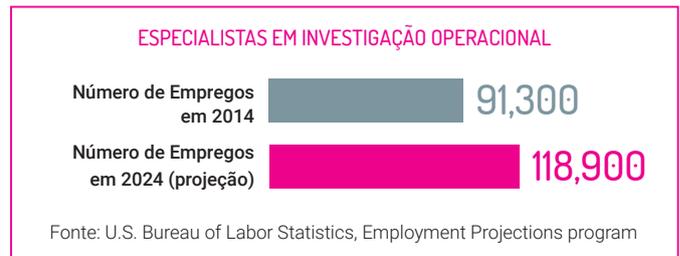
EMPREGO EM IO

Especialista em Investigação Operacional: Uma profissão com futuro!

Foi estimado pelo *U.S. Bureau of Labor Statistics* que o emprego para especialistas em IO cresça 30% entre 2014 a 2024, um crescimento muito acima da média de crescimento considerando todas as profissões. Enquanto a tecnologia avança e as empresas procuram eficiência e poupança de custos, a procura por especialistas em IO continuará a crescer. Os avanços tecnológicos tornaram mais rápida e mais fácil a obtenção de dados para as organizações. Além disso, as melhorias no software analítico fizeram a IO mais acessível e mais aplicável a uma ampla gama de áreas. Mais empresas devem empregar especialistas em IO para ajudá-los a transformar dados em informações valiosas que os gestores podem usar para tomar melhores decisões em todos os aspetos do seu negócio. Por exemplo, os especialistas em IO serão necessários para ajudar as empresas a melhorar as suas operações de produção e logística.

As oportunidades de emprego devem ser melhores para aqueles que têm um mestrado ou doutoramento em investigação operacional, *management science*, ou áreas afins. Os candidatos com experiência empresarial, além de fortes competências analíticas, irão também ter as melhores perspectivas de emprego.

Apesar de estas estatísticas referirem-se à Economia dos Estados Unidos da América, esta tendência pode também estender-se às economias dos países desenvolvidos em geral, nomeadamente na Europa, revelando assim que as perspectivas no Mercado de trabalho para os especialistas em IO são muito animadoras!



WORKSHOP SOBRE “OPTIMIZATION CHALLENGES IN THE EVOLUTION OF ENERGY NETWORKS TO SMART GRIDS”

Universidade de Coimbra, 27-28 outubro 2016

Com organização do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra (INESC Coimbra), teve lugar na Universidade de Coimbra, nos dias 27 e 28 de Outubro, o *workshop* sobre “Optimization Challenges in the Evolution of Energy Networks to Smart Grids”. Este evento científico teve o apoio da Ação COST TD1207 “Mathematical Optimization in the Decision Support Systems for Efficient and Robust Energy Networks”, bem como o patrocínio científico da Iniciativa Energia para a Sustentabilidade da Universidade de Coimbra, do Programa MIT-Portugal e da APDIO.

O *workshop* contou com a presença de dois palestrantes convidados: Steven Gabriel, University of Maryland, que apresentou a comunicação “A simulation model for determining optimal demand response actions: application to the ERCOT power market”, e Ambros Gleixner, Zuse Institute, Berlim, que se debruçou sobre “Potentials and limitations of parallel computing for mixed-integer linear energy system models”. Foram ainda apresentadas trinta comunicações, reportando trabalho realizado em universidades e institutos de investigação, bem como em empresas, para os cerca de setenta participantes, oriundos de mais de vinte países. As apresentações (que estarão brevemente disponíveis no site do *workshop*: http://www.uc.pt/en/org/inescc/org_scientific_events/optenergy2016) cobriram um vasto leque de problemas relacionados com a evolução das redes de energia, eletricidade e gás, para redes inteligentes, incluindo modelos de sistemas de energia, integração de fontes renováveis, armazenamento elétrico, previsão da procura, resposta dinâmica da procura, fiabilidade e provisão de serviços de sistema, micro-redes, papel das tecnologias da informação e comunicação, mobilidade elétrica, para os quais foram desenvolvidos novos modelos e abordagens algorítmicas.

Com o mesmo tema do *workshop* encontra-se aberta até 15 de Janeiro de 2017 um apelo a submissões para uma *special issue* da revista *Computers and Operations Research*, tendo como co-editores Carlos Henggeler Antunes (Universidade de Coimbra) e Thorsten Koch (Zuse Institute, Berlim).



10 2017

Instituto Politécnico de Viana do Castelo,
28 - 30 junho 2017

O XVIII Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional irá realizar-se na Escola Superior de Ciências Empresariais (em Valença) do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, nos dias 28 a 30 de Junho de 2017.

Contamos com a vossa participação!

Eventos a realizar apoiados pela APDIO

MIC 2017

12th Metaheuristics International Conference
4 a 7 de julho de 2017
Universitat Pompeu Fabra em Barcelona

IFORS 2017

21st Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS 2017)
OR/Analytics for a Better World
17 a 21 de julho de 2017
Québec City, Canada

Associações internacionais de Investigação Operacional

Comité Executivo do ALIO- Association of Latin-Iberoamerican Operational Research Societies

No dia 3 de Outubro, na XVIII CLAIO- Latin-Iberoamerican Conference on Operations Research, realizada em Santiago, Chile, celebrou-se uma reunião dos membros executivos da ALIO, tendo-se apresentado a nova comissão executiva que entrará em vigor em Janeiro de 2017. A nova comissão executiva é composta por Jaime Miranda (Chile, Presidente), Rosiane de Freitas (Brasil, Orimer Vicepresidente), Rosa Delgadillo (Perú, Secretaria) e Domingos Moreira Cardoso (Portugal, Vice-presidente de Eventos).

Prémio APDIO

Pelo sétimo ano consecutivo, foi atribuído o Prémio APDIO - FCT UNL ao melhor aluno de Investigação Operacional da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL. Este Prémio foi constituído com parte dos lucros do IO2009 - 14º congresso nacional da APDIO, que decorreu na FCT UNL. O Prémio relativo ao ano letivo de 2015/16 foi atribuído a Matilde Sobral Pinto Castro de Oliveira do Mestrado em Matemática e Aplicações. Na Sessão Comemorativa do 39º Aniversário da FCT UNL, em Novembro 2016, foram entregues o Diploma e cheque correspondentes ao Prémio.

Prémios Obtidos

- Delfim F. M. Torres, sócio da APDIO desde 1995, com o número de sócio 731, recebeu o prémio de Highly Cited Researcher 2016. O Highly Cited Researcher da Thomson Reuters é uma lista anual que reconhece os principais investigadores em ciências e ciências sociais de todo o mundo.
- Delfim F. M. Torres recebeu ainda o prémio "2016 Rectors Award from Warsaw School of Economics", pelo seu livro: A. B. Malinowska, T. Odziejewicz and D. F. M. Torres, Advanced methods in the fractional calculus of variations, Springer Briefs in Applied Sciences and Technology, Springer, Cham, 2015.

Projectos Investigação

Título: NEXT.parts.: Next-Generation of Advanced Hybrid Parts
Código de Identificação do Projecto: POCI-01-0247-FEDER-017963
Área Científica Principal: Engenharia Mecânica e Sistemas de Engenharia
Investigador Responsável: Maria Paula de Oliveira (Universidade de Coimbra)
Instituição proponente: 3DTECH – Produção, Optimização e Reengenharia, Lda.
Instituições participantes: TECNIFREZA – Indústria de Moldes, S.A.; Instituto Politécnico de Leiria; Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Industrial; Universidade de Coimbra

Teses de Doutoramento

Autor: Telmo Pires Pinto
Título: Models and advanced optimization algorithms for the integrated management of logistics operations
Instituição: Universidade do Minho
Designação do Doutoramento: Engenharia Industrial e de Sistemas
Data de conclusão: Julho de 2016
Orientador: Cláudio Martins Alves
Co-Orientador: José Manuel Valério de Carvalho

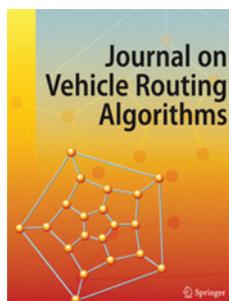
Editores

Luís Dias, sócio número 800, integrou desde setembro o corpo editorial da revista Omega como Associate Editor.

Livros

Alves, C., Clautiaux, F., de Carvalho, J.V., Rietz, J.
Dual-Feasible Functions for Integer Programming and Combinatorial Optimization: Basics, Extensions and Applications
EURO Advanced Tutorials on Operational Research, 2016

Revistas internacionais



Nova revista internacional da Springer: Journal on Vehicle Routing Algorithms (JVRA).
Esta revista é dedicada a problemas de Routing e encontra-se indexada na Thomson Reuters.
Site: <http://www.springer.com/41604/>

BOLETIM
APDIO



Associação Portuguesa de Investigação Operacional
Cesur - Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais 1049 - 001 Lisboa
T. 218 407 455
apdio@civil.ist.utl.pt

Equipa Editorial

Ana Carvalho
anacarvalho@tecnico.ulisboa.pt
Tânia Ramos
tania.p.ramos@tecnico.ulisboa.pt

Design

Inês Assis
inesassisdesign@gmail.com
Impressão
Gráfica Jorge Fernandes Lda
Tiragem 400 exemplares