

# BOLETIM

# APDIO

PUBLICAÇÃO SEMESTRAL | 58 | JUNHO '18

ENTREVISTA

TIAGO MARTINS  
DE OLIVEIRA

ARTIGO DE OPINIÃO

GESTÃO DO FOGO  
PARA A INVESTIGAÇÃO  
OPERACIONAL

IO EM AÇÃO

GESTÃO DO FOGO  
E DA FLORESTA

TÉCNICAS DE IO

SIMULAÇÃO-OTIMIZAÇÃO

# ÍNDICE

---

## 03 ENTREVISTA

Tiago Martins de oliveira

## 05 ARTIGO DE OPINIÃO

ALGUNS PROBLEMAS  
DE GESTÃO DO FOGO PARA  
A INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL

José Miguel Cardoso Pereira

## 08 TÉCNICAS DE IO SIMULAÇÃO-OTIMIZAÇÃO: PORQUE E COMO COMBINÁ-LAS?

Gonçalo Figueira

## 12 IO EM AÇÃO A INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL E A INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS DE PLANEAMENTO DA GESTÃO DO FOGO E DA GESTÃO FLORESTAL

José G. Borges

## 14 LUGAR AOS NOVOS CORVOS E TARTARUGAS: DESIGN FLEXÍVEL DE SISTEMAS DE GESTÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

Abílio Pereira Pacheco

## 17 O SÓCIO N.º...

...1023

Lino Costa

## 18 NOTÍCIAS DA APDIO



ELIANA COSTA E SILVA

Centro de Inovação e Investigação  
em Ciências Empresariais  
e Sistemas de Informação  
Escola Superior de Tecnologia e Gestão,  
Politécnico do Porto



RUI BORGES LOPES

Departamento de Economia,  
Gestão, Engenharia Industrial e Turismo.  
Universidade de Aveiro

## EDITORIAL

---

Não sendo um tema novo, os eventos trágicos do ano passado vieram novamente dar destaque a um dos maiores problemas que Portugal enfrenta: os **Incêndios Florestais**. A capacidade do país dar resposta a este problema resulta do empenho de diversos atores, não podendo a comunidade científica ficar alheia deste desafio. Importa por isso perceber qual o papel que a comunidade de IO tem tido até ao momento e ainda de que forma as suas competências poderão contribuir para melhorar a resposta a estes trágicos eventos.

Desta forma, o boletim começa com uma Entrevista a Tiago Oliveira, Presidente da Estrutura de Missão para a Instalação do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais, que nos fornece um enquadramento dos desafios atuais e algumas pistas de como a IO pode contribuir nesta temática.

José Pereira, no Artigo de Opinião, dá-nos uma outra perspectiva relativa ao fogo (a sua enorme utilidade em certas condições) e faz uma súmula das revisões de literatura que se têm focado no papel da IO na gestão do fogo.

Nas Técnicas de IO, Gonçalo Figueira introduz os métodos de simulação-otimização, mostrando uma taxonomia dos mesmos e dando uma visão dos diferentes tipos de problemas que podem ser abordados com estes métodos. José Borges, em IO em Ação, dá-nos uma visão de alguma da investigação que se tem feito em Portugal relativa a incêndios, concluindo com alguns problemas em aberto, passíveis de serem tratados com técnicas de IO.

No Lugar aos Novos, Abílio Pacheco dá-nos uma visão das principais conclusões do seu trabalho, realçando a necessidade da com-

preensão das relações entre os diferentes sistemas para um eficiente sistema de gestão de fogos rurais.

Continuando na senda de dar voz aos sócios da APDIO, em "O sócio n.º...", Lino Costa, sócio número 1023, partilha connosco de onde surgiu a motivação para o seu percurso académico e detalha qual tem sido o seu percurso profissional, pautado pela leccionação e pela participação em diversos projetos relacionados com problemas de engenharia.

O Boletim termina com o espaço para as notícias, onde é possível tomar conhecimento das atividades relevantes do primeiro semestre de 2018 e perspetivar eventos relevantes para a área num futuro próximo, dos quais destacamos o XIX Congresso da APDIO que irá ocorrer já em setembro em Aveiro.

Gostariamos de deixar uma palavra de agradecimento pelo excelente trabalho realizado pela Comissão Editorial anterior constituída pela Ana Carvalho e pela Tânia Ramos. Apresentaram boletins de enorme qualidade e com temas extremamente relevantes para a comunidade, tendo sido um contributo de louvar e ao nível dos pergaminhos de comissões editoriais anteriores. Nas edições que se seguem, assumimos o compromisso de nos empenharmos para manter a qualidade, tendo como referência o trabalho feito pelas comissões anteriores e com o objetivo de lançar e consolidar assuntos de relevância para a comunidade de IO e consequentemente para a APDIO.

# ENTREVISTA

**No passado mês de outubro, foi criada a Estrutura de Missão para a Instalação do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIF), à qual preside. Da vasta experiência como sapador, supervisor regional e coordenador nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (DFCI), responsável pela área de inovação e desenvolvimento da Navigator, destaca alguma como fundamental para esta função que agora inicia? De que forma considera que este tipo de experiência transversal é útil para um maior conhecimento da temática e para o aprofundamento da sua investigação?**

Todas as funções que desempenhei foram enriquecedoras. O período em que trabalhei nas brigadas helitransportadas foi, no entanto, marcante pelo evento dramático que ocorreu no dia 3 de agosto de 2003 na Chamusca, no qual dois camaradas Chilenos morreram, enquanto os outros 8 (onde me incluía) escaparam de morte quase certa. Este momento foi para mim um ponto de viragem que condicionou toda a minha atividade subsequente e mantém-se como fundamental para a função que atualmente desempenho.

As experiências e atividades que venho desenvolvendo, desde a atividade de terreno até à de investigação, passando por funções técnicas e de liderança, são, estou em crer, úteis para conseguir ter uma perceção suficientemente abrangente da problemática que temos em mãos.

**É um especialista em engenharia florestal e dos recursos naturais, tendo terminado recentemente o doutoramento com uma tese intitulada “A Transição Florestal e a Governança do Risco de Incêndio em Portugal nos Últimos 100 Anos”. Estando num meio empresarial, o que o motivou a prosseguir um doutoramento? Considera que esta formação académica é valorizada pelas empresas?**

Tenho, ao longo dos anos, mantido uma preocupação em participar ativamente, sobretudo como assessor técnico, no delineamento das políticas públicas e estratégias relacionadas com o tema dos incêndios florestais. O estudo que desenvolvi

no doutoramento surgiu naturalmente pelas dificuldades que senti ao longo desses anos. A empresa viu nesta minha vontade e percurso uma oportunidade, pois todos os contributos que visem a salvaguarda florestal são, com certeza, da maior importância para a sua atividade.

**Na sequência da sua investigação defende a necessidade de articulação entre a prevenção e combate a incêndios como primordial. Quais considera serem as principais barreiras para essa correta articulação e para uma boa gestão florestal?**

A falta de uma entidade coordenadora que garanta essa articulação e supervisão colaborativamente todo o sistema é essencial. Este é o caminho que está definido pela RCM n.º 157-A de 27 de outubro.

Será necessário consolidar uma cultura colaborativa entre as diferentes entidades do sistema. Todas as entidades têm a ganhar com o sucesso de cada uma individualmente. A adoção desta cultura necessita de tempo e perseverança e esse é um ponto crítico. As boas práticas de gestão florestal, têm neste momento uma janela de oportunidade para serem utilizadas. Tal, depende da determinação de todos os agentes atuantes no território (não só do setor florestal) e, estou em crer, de um serviço florestal, agro-silvo-pastoril com uma atitude contemporânea e atuante que possa influenciar positivamente a necessária transformação da paisagem rural, tornando-a mais resiliente face a incêndios rurais.

**Apontou como um dos fatores para os fogos de grandes dimensões ocorridos em 2017 o abandono das zonas rurais. Esta foi também uma das conclusões do relatório técnico apresentado em dezembro de 2017 pela *World Wide Fund For Nature*. O que poderá ser feito para mitigar os efeitos do abandono nessas regiões?**

Há que distinguir abandono de despovoamento, parafraseando António Barreto. O abandono é, de facto, o problema. O despovoamento é uma consequência da vontade legítima da população. Um território utilizado, portanto não abandonado, é aquilo que



TIAGO MARTINS DE OLIVEIRA

Presidente da Estrutura de Missão para a Instalação do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais

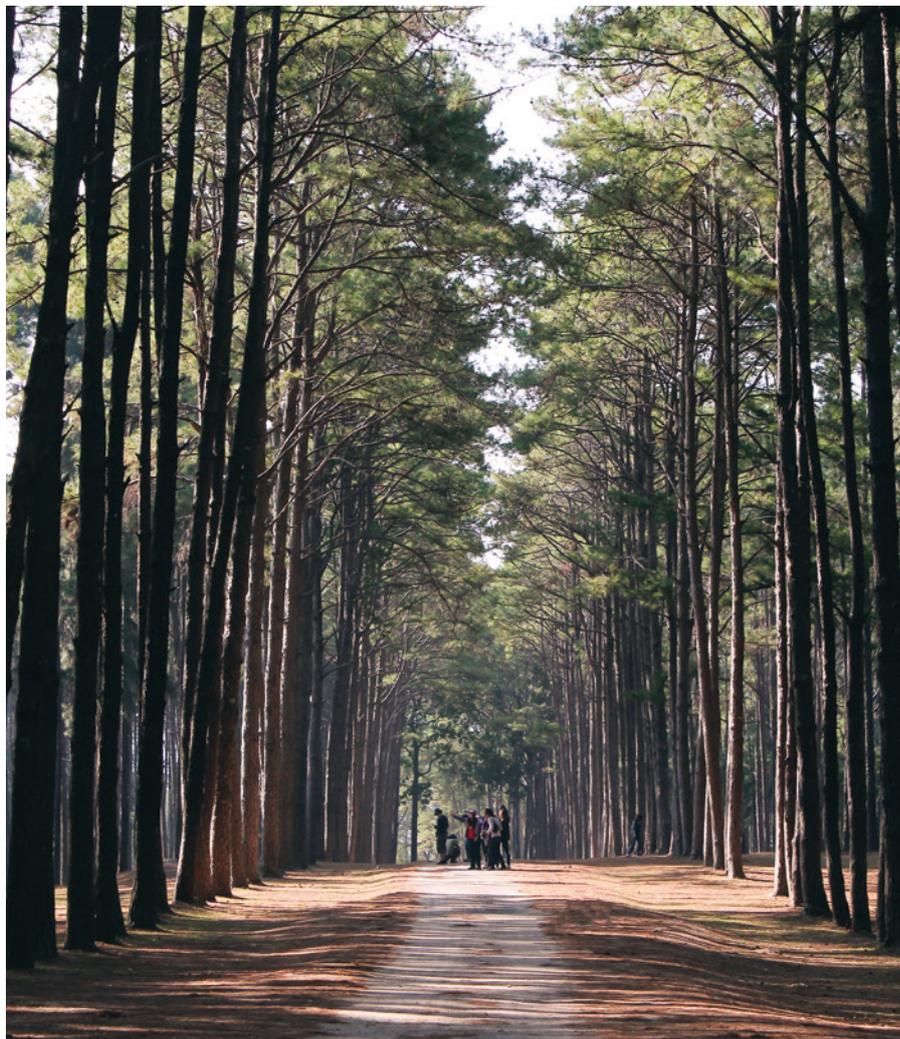
**“OS ESTUDOS, OU OS DESENVOLVIMENTOS TÉCNICOS, MAIS NECESSÁRIOS SERÃO OS QUE NOS PERMITEM OTIMIZAR RECURSOS, POR UM LADO, E APOIAR AS DECISÕES OPERACIONAIS, POR OUTRO”**

se deseja, independentemente da presença de pessoas. A gestão do território, a sua utilização produtiva, é a garantia de uma maior salvaguarda do mesmo. As atividades florestais (não só as de produção de material lenhoso), as agrícolas, pastoris, de energia, de turismo, etc., constituem oportunidades de mudança que mitigam o abandono. Há assim que garantir que um território sem pessoas, não é um território abandonado. Ou seja, todas as áreas devem ser objeto de gestão e intervenção recorrente.

**A problemática dos incêndios não é obviamente um problema exclusivo de Portugal. Assistimos no fim de 2017, nos EUA, a incêndios de enormes proporções com consequências devastadoras. Quais os países que considera terem características semelhantes ao nosso, do ponto de vista desta problemática? Adicionalmente, quais considera serem as práticas ou tópicos de investigação exploradas nesses países que nos poderão ser úteis e qual poderá ser a nossa contribuição nestas ações?**

Espanha, em particular a Galiza, mas não só, na bacia do mediterrâneo, na Austrália e nos EUA nas zonas de clima mediterrânico e nalgumas zonas de países da América Latina, como o Chile, a Argentina ou mesmo o Brasil.

A colaboração biunívoca com qualquer dos países referidos é útil. A Espanha e os EUA pelo historial de colaboração do passado são, talvez, países referência para a transformação necessária, a todos os níveis, desde a prevenção à supressão, no nosso país.



**Sendo a Investigação Operacional (IO) uma área com enorme potencial de aplicação nos mais diversos domínios, na sua opinião como pode a IO contribuir para a Gestão dos Fogos Florestais tanto a nível da prevenção como no combate aos incêndios? Nomeadamente, quais os aspetos que considera com maior potencial de aplicação ou de desenvolvimento de novos estudos no âmbito da IO?**

Os estudos, ou os desenvolvimentos técnicos, mais necessários serão os que nos permitem otimizar recursos, por um lado, e

apoiar as decisões operacionais, por outro. O estudo de novos modelos de intervenção na paisagem, quer com gestão de combustíveis em larga escala, quer com opções variáveis de ordenamento do território e/ou florestal, mas com utilização produtiva, são também uma necessidade face à maior frequência de eventos extremos. Os sistemas de apoio à decisão são decisivos para melhorar a performance dos recursos e a sua eficácia. Mas estes sistemas não decidem, eles apoiam a decisão.

# ALGUNS PROBLEMAS DE GESTÃO DO FOGO PARA A INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL

É comum dizer-se do fogo que é um bom criado, mas um mau patrão [9]. O fogo bom criado é aquele que permite construir um mosaico de manchas de vegetação com diferentes idades e composição em espécies, promovendo a biodiversidade em áreas protegidas, aquele que os pastores fazem para renovar os prados e manter a vegetação apetível para cabras e ovelhas, o que permite aos agricultores converter a biomassa sobrando das colheitas em cinzas fertilizantes do solo e o que se usa para reduzir periodicamente a acumulação de grandes cargas de vegetação combustível em locais estratégicos, dificultando a propagação de grandes incêndios. O fogo mau patrão pode resultar de causas acidentais, como descuidos na execução destas práticas, da intenção de causar danos, ou de origens naturais, que são bastante raras em Portugal. Portanto, e ao contrário do que sugere a infeliz mensagem do *slogan* "Portugal sem fogos depende de todos", precisamos do fogo como ferramenta de trabalho para reduzir a probabilidade de ocorrência de incêndios catastróficos.

A investigação operacional (IO), definida de forma muito lata como um conjunto de métodos analíticos avançados de apoio à tomada de decisões, pode desempenhar um papel de grande importância tanto na promoção do uso racional, eficiente e seguro do fogo, como na prevenção, deteção, supressão dos incêndios, e na mitigação dos seus efeitos negativos. De facto, a IO tem um já longo historial de análise dos problemas da gestão do fogo, desde o início da década de 1960, revisto por Martell [2] para as primeiras duas décadas e complementado pelas revisões subsequentes de Martell et al. [3], Minas et al. [5], Martell [4] e Pacheco et al. [7]. Martell [2] cobriu uma vasta gama de aplicações, abrangendo estudos de prevenção, com ênfase na gestão dos combustíveis; de deteção, nas vertentes estratégica e tática; de supressão, contemplando a aquisição, posicionamento estratégico e mobilização de recursos, o despacho para ataque inicial a fogos nascentes e a gestão do ataque ampliado a grandes incêndios; e de mitigação dos efeitos prejudiciais do fogo.

Este texto, apesar de datado no que se refere às aplicações da IO, proporciona um levantamento bastante completo do tipo de problemas de gestão do fogo para cuja solução a IO poderá contribuir.

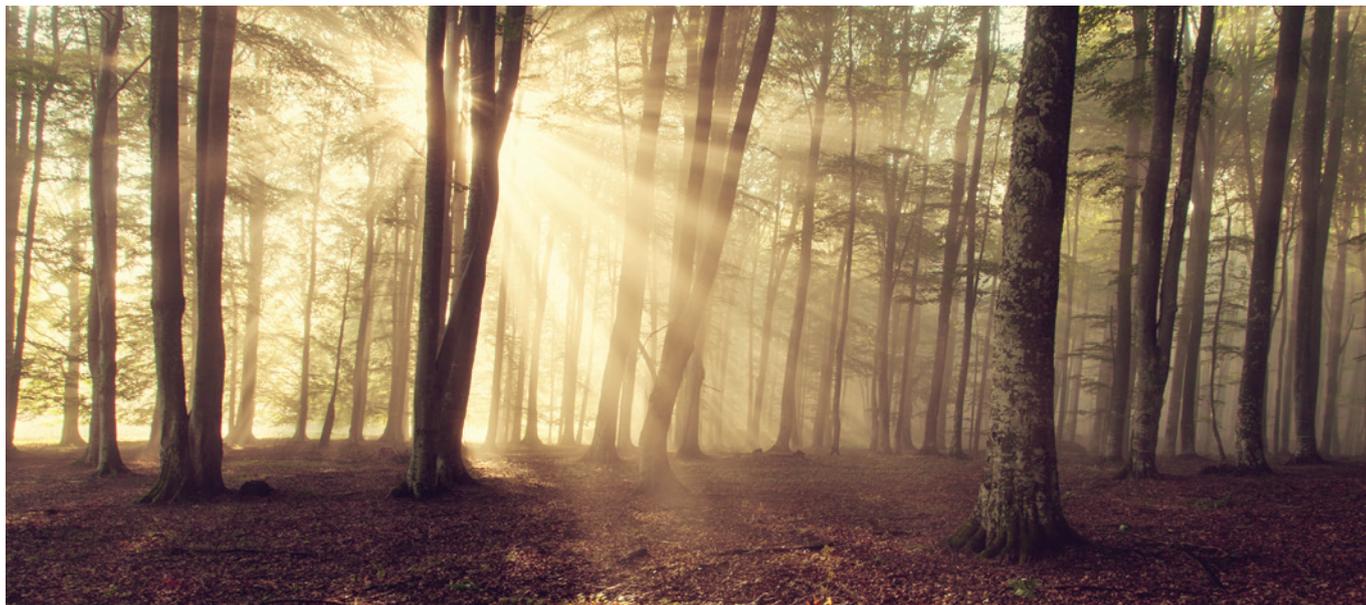
No âmbito do planeamento da prevenção e gestão de combustíveis, incluem-se medidas de alteração dos comportamentos das pessoas, de modo a reduzir o número de ignições, sejam elas acidentais ou intencionais, nomeadamente medidas como a educação, a imposição de restrições sobre determinadas atividades, e a vigilância exercida pelas autoridades. A gestão de combustíveis faz-se alterando o tipo e reduzindo a quantidade de vegetação através de tratamentos que recorrem a meios mecânicos, biológicos, químicos, manuais, ou mesmo usando o fogo, para reduzir a sua inflamabilidade e facilitar as atividades de supressão de incêndios. Pode fazer-se em áreas limitadas e estrategicamente localizadas, como faixas ao longo das linhas de cumeada e em torno de povoações, ou em manchas mais extensas e com formas variáveis. A formulação de uma estratégia de gestão espacial de combustíveis, incluindo a localização das zonas a gerir e a frequência dos tratamentos, põe problemas complexos de delineamento de uma rede que proteja eficazmente ativos e recursos valiosos com uma extensão de área intervencionada e custos de instalação e manutenção tão reduzidos quanto possível.

O sistema de deteção de fogos visa a sua rápida descoberta e localização e inclui uma componente organizada, constituída pela rede de postos de vigia e por meios de patrulha terrestres e aéreas, mas também uma componente não-organizada, constituída pela população em geral. O planeamento estratégico da deteção lida com a atividade à escala sazonal ou plurianual e tem de decidir sobre o planeamento dos percursos das patrulhas de vigilância, terrestres ou aéreas, em função dos padrões espaciais e temporais de ocorrências de fogo observadas e previsíveis. Deverá coordenar o funcionamento das patrulhas móveis com o dos postos de vigia fixos, nomeadamente para assegurar adequada co-



JOSÉ MIGUEL  
CARDOSO PEREIRA

Centro de Estudos Florestais,  
Instituto Superior de Agronomia,  
Universidade de Lisboa  
jmcpereira@isa.ulisboa.pt



bertura de zonas não observadas por estes. A IO também poderá contribuir para o delineamento de uma rede ótima de vigilância fixa, que consiga cobertura visual completa do território com o menor número possível de postos de vigia e tendo em conta as limitações de visibilidade decorrentes da presença de fumo na atmosfera. O sistema nacional de deteção vai incluindo um número crescente de aparelhos de deteção automática de focos de calor por radiação infravermelha, cujo número e localização deveriam ser decididos tendo em conta os outros meios de deteção fixa e móvel, numa perspectiva sistémica.

O sistema de supressão, ou combate, é aquele que Martell [2] trata de forma mais desenvolvida, desagregando-o em diferentes problemas e referindo numerosas aplicações de IO. As decisões sobre aquisição de equipamentos de combate, especialmente os meios aéreos, e o seu posicionamento estratégico no território são problemas primordiais. Igualmente estratégica é a consideração da composição da frota de meios aéreos, que deve balancear a disponibilidade de meios ligeiros, mais vocacionados para o ataque inicial rápido, com os meios pesados que são necessários quando os fogos escapam ao ataque inicial, adquirem grandes dimensões e entram na chamada

fase de ataque ampliado. As necessidades de meios variam de forma muito dinâmica, em função do número de fogos que se vai iniciando, do número dos que são extintos, da variação das condições meteorológicas e dos ativos e recursos que estejam sob ameaça em cada momento. Estas circunstâncias exigem decisões complexas sobre realocação de meios, ou mobilização de meios adicionais, em função das necessidades presentes e previsíveis. A questão do despacho de meios para ataque inicial ocorre logo após a deteção, enquanto o fogo ainda é pequeno. Quando é recebida informação de uma deteção, há que decidir que meios despachar para o local, sendo frequente que haja solicitações para vários fogos nascentes em simultâneo, que competem por pessoal e meios de combate aéreos e terrestres. Para além disto, as decisões poderão ter de ser tomadas sob incertezas quanto à localização exata do fogo, seu tamanho atual, taxa de crescimento previsível e ativos e recursos em perigo. Quando um fogo escapa ao ataque inicial e entra em fase de ataque ampliado, pode vir a durar vários dias e envolver centenas de pessoas, dezenas de autotanques e numerosos meios aéreos. Nessas circunstâncias é preciso ponderar opções alternativas de

combate, com decisões tomadas em grupo e, de novo, sob considerável incerteza quanto ao comportamento do fogo e adequação das diferentes estratégias.

Mais recentemente, Minas et al. [5] fizeram uma revisão de métodos de IO aplicáveis à gestão dos incêndios, organizada segundo dimensões caracterizadoras do problema: complexidade, objetivos múltiplos e conflitantes, e incerteza. De entre os métodos vocacionados para lidar com a complexidade da gestão do fogo, os autores referem várias técnicas de programação matemática, metodologias para estruturação de problemas, a modelação e simulação de sistemas dinâmicos e as técnicas para gerir os chamados "hiper-projetos". Para a questão dos objetivos múltiplos e conflitantes dis-

**“PRECISAMOS DO FOGO  
COMO FERRAMENTA DE  
TRABALHO PARA REDUZIR  
A PROBABILIDADE DE  
OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS  
CATASTRÓFICOS”**

## “A IO TEM UM JÁ LONGO HISTORIAL DE ANÁLISE DOS PROBLEMAS DA GESTÃO DO FOGO”

cutem aplicações de diversos métodos de otimização multi-objetivos, enquanto que o tratamento da dimensão da incerteza é abordado com exemplos de aplicações de simulação, programação estocástica, otimização robusta, e modelos baseados em lógica fuzzy.

O trabalho de Rönnqvist et al. [8] aborda 33 desafios para aplicação da IO à engenharia florestal, dos quais três são problemas de gestão do fogo. Os autores começam por reconhecer o carácter ambivalente do fogo, a que já nos referimos, afirmando que um dos maiores desafios para os gestores do fogo é precisamente descobrir o equilíbrio desejável entre os múltiplos custos e benefícios do fogo em territórios ocupados por vegetação muito inflamável e que têm múltiplos usos (residenciais, industriais, de produção agrícola e florestal, recreativos e de conservação da natureza). Os três problemas em aberto relativos à gestão do fogo são [8]:

1. Como desenvolver modelos tratáveis para ajudar a decidir quando e onde realizar operações de gestão de combustíveis em áreas extensas de floresta e outros espaços rurais?
2. Como desenvolver modelos de filas de espera espacial e temporalmente explícitos, que possam ser acoplados a modelos de otimização, para ajudar a posicionar meios aéreos pesados ao início de cada dia e como os reposicionar à medida que o dia avança?
3. Como desenvolver sistemas de apoio à decisão úteis para identificar a melhor estratégia de gestão para um fogo que escapou ao ataque inicial e pode, simultaneamente, ameaçar pessoas e bens, incluindo património florestal, e beneficiar alguns

processos dos ecossistemas, em contexto de informação incerta?

Os tópicos destes desafios já tinham sido abordados por Martell [2] e o facto de continuarem por resolver mais de 30 anos depois atesta, seguramente, a sua complexidade.

Em Portugal, o grupo do Centro de Estudos Florestais do Instituto Superior de Agronomia, liderado pelo Prof. José G. Borges, desenvolve investigação descrita noutra texto deste mesmo Boletim, pelo que refiro com um pouco mais de detalhe dois estudos desenvolvidos no âmbito do projeto de investigação FIRE-ENGINE – Flexible Design of Forest Fire Management Systems (MIT/FSE/0064/2009), coordenado pelo Prof. João Claro, do INESC TEC. O primeiro destes estudos [1] desenvolveu um modelo de sistemas dinâmicos para explorar o problema da “ratoeira do combate”. Esta expressão refere-se ao problema que emerge quando uma ênfase excessiva na política de supressão dos incêndios, por contraponto à sua prevenção tem, a longo prazo, o efeito perverso de reduzir a eficácia da gestão do fogo. A reação intuitiva de aumento dos meios de combate quando ocorrem épocas de fogo severas resulta numa redução das ações de prevenção através da gestão de combustíveis, facilitando a ocorrência de grandes incêndios, o que leva ao reforço dos orçamentos para supressão. O modelo desenvolvido por Collins et al. [1] mostra mostra como um investimento mais equilibrado nas atividades de prevenção e supressão permitirá atenuar as consequências do ciclo vicioso da ratoeira do combate e reduzir a área queimada no médio-longo prazo. Pacheco et al. em [6] analisaram o impacto dos reacendimentos e falsos alarmes sobre o desempenho do sistema de supressão do fogo no distrito do Porto duran-

te o Verão de 2010, usando um modelo de simulação de eventos discretos. Os autores estudaram o comportamento do sistema e mostraram como uma redução dos números de ignições e falsos alarmes para níveis de *benchmark* pode melhorar significativamente o ponto de colapso do sistema e conduzir a melhores compromissos entre ações de prevenção e de combate.

Para terminar, deixo um desafio aos leitores. Os relatórios sobre os grandes e mortíferos incêndios de junho e outubro de 2017, elaborados pela Comissão Técnica Independente criada pela Assembleia da República ([https://www.parlamento.pt/Documents/2017/Outubro/Relat%C3%B3rioCTI\\_VF%20.pdf](https://www.parlamento.pt/Documents/2017/Outubro/Relat%C3%B3rioCTI_VF%20.pdf) e <https://www.parlamento.pt/Documents/2018/Marco/RelatorioCTI190318N.pdf>) elencam um conjunto de recomendações para melhorar a organização e o desempenho do sistema nacional de defesa da floresta contra incêndios e reduzir a vulnerabilidade das populações. Creio que será um exercício interessante avaliar quais dessas recomendações poderiam beneficiar do uso de metodologias de IO para a sua formulação detalhada e subsequente implementação.

### REFERÊNCIAS

- [1] Collins, R. D., de Neufville, R., Claro, J., Oliveira, T., & Pacheco, A. P. (2013). Forest fire management to avoid unintended consequences: A case study of Portugal using system dynamics. *Journal of Environmental Management*, 130, 1-9.
- [2] Martell, D. L. (1982). A review of operational research studies in forest fire management. *Canadian Journal of Forest Research*, 12(2), 119-140.
- [3] Martell, D. L., Gunn, E. A., & Weintraub, A. (1998). Forest management challenges for operational researchers. *European Journal of Operational Research*, 104(1), 1-17.
- [4] Martell, D. L. (2015). A review of recent forest and wildland fire management decision support systems research. *Current Forestry Reports*, 1(2), 128-137.
- [5] Minas, J. P., Hearne, J. W., & Handmer, J. W. (2012). A review of operations research methods applicable to wildfire management. *International Journal of Wildland Fire*, 21(3), 189-196.
- [6] Pacheco, A. P., Claro, J., & Oliveira, T. (2014). Simulation analysis of the impact of ignitions, rekindles, and false alarms on forest fire suppression. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(1), 45-55.
- [7] Pacheco, A. P., Claro, J., Fernandes, P. M., de Neufville, R., Oliveira, T. M., Borges, J. G., & Rodrigues, J. C. (2015). Cohesive fire management within an uncertain environment: A review of risk handling and decision support systems. *Forest Ecology and Management*, 347, 1-17.
- [8] Rönnqvist, Mikael, Sophie D'Amours, Andres Weintraub, Alejandro Jofre, Eldon Gunn, Robert G. Haight, David Martell, Alan T. Murray, and Carlos Romero (2015). Operations Research challenges in forestry: 33 open problems. *Annals of Operations Research*, 232(1), 11-40.
- [9] Scott, Andrew C., David MJS Bowman, William J. Bond, Stephen J. Pyne, and Martin E. Alexander (2013). *Fire on Earth: An Introduction*. John Wiley & Sons, 413 pgs.

# SIMULAÇÃO-OTIMIZAÇÃO: PORQUE E COMO COMBINÁ-LAS?



GONÇALO FIGUEIRA

INESC TEC  
goncalo.figueira@fe.up.pt

Simulação e otimização são duas das principais áreas da Investigação Operacional (IO), sendo também conceitos amplos e que por vezes adquirem significados distintos em diferentes contextos. Simulação pode ser genericamente definida como “a imitação do funcionamento de um processo ou sistema real” [1]. Ora, nesta definição cabe um conjunto muito alargado de técnicas, da simulação estatística (ou Monte Carlo) à simulação dinâmica, da discreta à contínua, da baseada em agentes aos jogos de computador (em particular os chamados “jogos sérios”, como por exemplo os simuladores de aviões). O contexto do uso da simulação pode também variar, desde o apoio no desenho de sistemas de engenharia ao treino de profissionais para a execução de uma certa tarefa, ou mesmo o estudo da interação de agentes económicos num dado mercado. A otimização, por seu lado, está muito associada ao conceito de “programação matemática” e pode apoiar precisamente nos mesmos problemas.

No contexto específico da IO, i.e., na resolução de problemas de decisão, a simulação e a otimização são tipicamente vistas como formas alternativas de abordar o problema. Uma vez que a simulação é capaz de incorporar um elevado nível de detalhe nos modelos, sem recorrer a grande sofisticação matemática, é muitas vezes usada em problemas onde, pelo seu nível de complexidade, a tradução num modelo analítico seria inviável. Um exemplo típico é a definição de *layouts*, que frequentemente exige modelar sistemas complexos de filas de espera com múltiplos fluxos e regras de despacho. Por outro lado, a necessidade de usar otimização é evidente em problemas que envolvem um alargado conjunto de decisões, quer contínuas, quer combinatórias, como o caso dos problemas de corte e empacotamento, o roteamento de veículos, ou o planeamento e escalonamento da produção. Sendo a simulação e a otimização duas abordagens tão distintas, duas grandes questões podem ser colocadas: porque e como combiná-las? Este artigo procura dar algumas respostas, fazendo uma breve introdução à vasta literatura existente.

## PORQUE COMBINAR SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO?

Esta questão pode ser vista de duas perspetivas: porque combinar simulação com otimização; ou porque combinar otimização com si-

mulação. Relativamente à primeira, a verdade é que a simulação tem um carácter descritivo ou preditivo, enquanto a otimização tem uma natureza prescritiva. Assim, a simulação carece sempre de um procedimento, ainda que manual, de definição das várias alternativas que devem ser testadas e de onde surgirá a escolha final. O considerável aumento de poder computacional tem permitido abordar problemas cada vez mais complexos e, assim, alargar o âmbito das decisões. Neste contexto, a necessidade de ter um procedimento automático torna-se cada vez mais relevante. Por outro lado, para além do espaço de solução, a otimização de problemas estocásticos pode envolver ainda um outro espaço de pesquisa, o espaço de probabilidade. Ou seja, duas soluções terão de ser simuladas várias vezes para se perceber qual delas responde melhor ao objetivo pretendido. Quantas réplicas realizar, que cenários testar e como alternar entre os espaços de solução e probabilidade são questões que devem ser respondidas e que beneficiam de um procedimento estruturado e adaptativo. Na segunda perspetiva, o objetivo é usar a simulação para ajudar a otimização, endereçando os principais desafios dos modelos analíticos: variáveis categóricas, relações não lineares, incerteza ou mesmo processos complexos que não podem ser modelados por expressões puramente analíticas. A incerteza, por exemplo, é um elemento vastamente estudado, existindo uma variedade de técnicas de otimização para a abordar, incluindo a programação estocástica, a otimização robusta e a lógica difusa. Porém, na maioria dos casos, ou os modelos são substancialmente mais complexos comparativamente com os seus correspondentes determinísticos, ou apresentam um elevado grau de abstração que pode colocar em causa a sua adesão à realidade, ou ambas as coisas. Isto é particularmente evidente quando se procura modelar por exemplo distúrbios, i.e., episódios com início e fim determinados que afetam consideravelmente o desempenho do sistema. Ora, a simulação por eventos discretos lida muito facilmente com estes fenómenos, enquanto os modelos analíticos são obrigados a recorrer a aproximações arrojadas. Muitos decisores contornam esta questão introduzindo folgas nos seus modelos analíticos, que visam acomodar este tipo

## “A SIMULAÇÃO TEM UM CARÁCTER DESCRITIVO OU PREDITIVO, ENQUANTO A OTIMIZAÇÃO TEM UMA NATUREZA PRESCRITIVA”

de incerteza. Contudo, a determinação dessas folgas é feita de forma arbitrária e, por isso, poderá conduzir a uma solução de qualidade medíocre.

Estas duas perspectivas levaram investigadores de ambas as áreas a procurar estender os seus métodos com técnicas da outra área. Abordagens baseadas em simulação começaram a envolver a otimização dos parâmetros de entrada da simulação, i.e., dos chamados “cenários de decisão” (otimização da simulação). Abordagens baseadas em otimização começaram a usar simulação para o cálculo de parâmetros ou a amostragem de cenários para modelos de programação estocástica (simulação para a otimização). No entanto, esta dicotomia está gradualmente a desaparecer, uma vez que alguns métodos combinam simulação e otimização de uma forma mais equilibrada. Todos os métodos que combinam de alguma forma simulação e otimização podem

ser genericamente designados por “métodos híbridos de simulação-otimização”, ou simplesmente por “simulação-otimização” (S-O) [2].

### COMO COMBINAR SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO?

Existem formas muito distintas de combinar simulação e otimização, sendo que não existe uma que se revele superior às outras para um conjunto de problemas suficientemente diverso. A forma ideal depende portanto das características do problema. Um dos principais aspetos nestas técnicas é, como seria de esperar, o compromisso entre exatidão do modelo/método e esforço computacional. Dado que a simulação consegue representar a realidade com mais detalhe e precisão, a sua utilização na avaliação de soluções deverá permitir realizar uma pesquisa consistente, mas poderá requerer um tempo computacional proibitivo, visto que cada solução terá de ser simulada (múltiplas vezes no caso de problemas estocásticos). Assim, a questão fundamental a responder é: até que ponto os modelos analíticos nos são úteis e quando precisamos verdadeiramente da simulação? Se não for possível construir *a priori* um modelo analítico razoável, a simulação terá de facto de ser usada para avaliar soluções. No caso de o problema apresentar uma estrutura onde os modelos analíticos trazem alguma vantagem, esse deverá então ser o ponto de partida e a simulação ser usada para os complementar ou melhorar, nos chamados “modelos híbridos” ou “modelação híbrida”. No restante artigo, estas duas principais abordagens são exploradas, bem como uma terceira,

## “ABORDAGENS BASEADAS EM SIMULAÇÃO COMEÇARAM A ENVOLVER A OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO, I.E., DOS CHAMADOS “CENÁRIOS DE DECISÃO” (OTIMIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO). ABORDAGENS BASEADAS EM OTIMIZAÇÃO COMEÇARAM A USAR SIMULAÇÃO PARA O CÁLCULO DE PARÂMETROS OU A AMOSTRAGEM DE CENÁRIOS PARA MODELOS DE PROGRAMAÇÃO ESTOCÁSTICA (SIMULAÇÃO PARA A OTIMIZAÇÃO)”

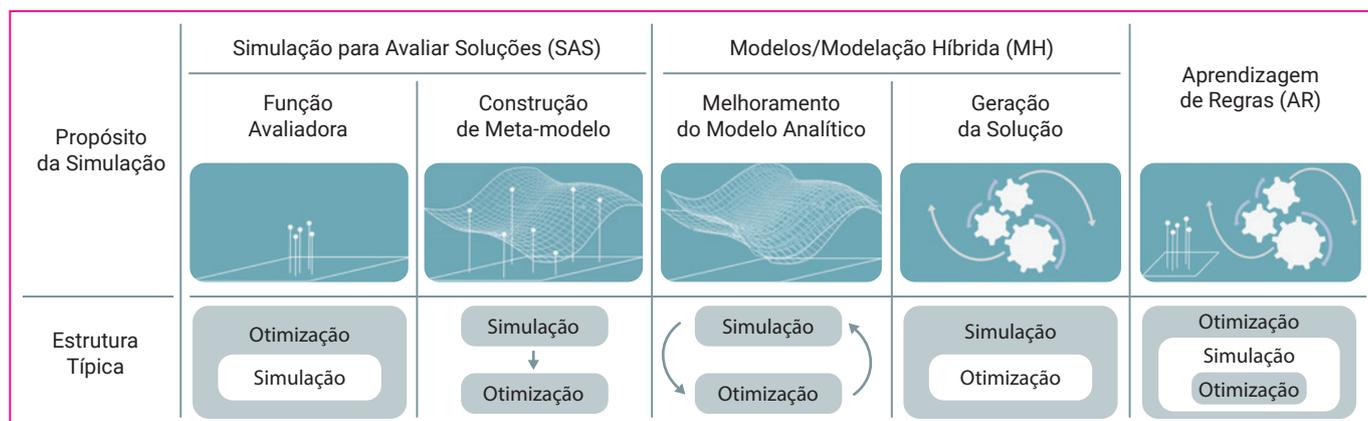


Fig. 1 - Principais dimensões na classificação dos métodos de S-O: para cada propósito da simulação, é indicada a estrutura típica, embora outras sejam possíveis (adaptado de [2]).

## “EXPLORAR AMPLOS ESPAÇOS DE SOLUÇÃO EXIGE, POR OUTRO LADO, VERDADEIROS MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO. AS HEURÍSTICAS E AS META-HEURÍSTICAS SÃO CANDIDATOS INTERESSANTES, PELA SUA FLEXIBILIDADE EM SE ADAPTAREM A DIFERENTES PROBLEMAS”

que pode ser vista como pertencendo a uma e a outra, e que tem que ver com a aprendizagem de regras num ambiente de simulação. Uma taxonomia completa dos métodos de S-O pode ser encontrada em [2]. A Figura 1 exibe de uma forma resumida as várias categorias de métodos de S-O.

### SIMULAÇÃO PARA AVALIAR SOLUÇÕES (SAS)

Quando o espaço de solução é muito reduzido, as soluções podem ser todas simuladas e avaliadas de forma a selecionar a melhor. Contudo, tal como referido anteriormente, em problemas estocásticos o espaço de probabilidade deverá também ser explorado. Os métodos de seleção estatística [3] visam justamente determinar o número de réplicas da simulação, ou a sua duração, que permite selecionar uma solução em detrimento de outra, com um certo nível de confiança. Este número poderá não ser o mesmo para todas as soluções, já que uma solução de baixa qualidade rapidamente conseguirá ser rejeitada. Para além do número de réplicas, a definição dos próprios cenários

a testar pode ser alvo de análise. As técnicas de redução de variância [4] abordam precisamente este tema, conseguindo reduzir a variância dos resultados para o mesmo número de réplicas, que é o mesmo que dizer que para o mesmo nível de confiança permitem reduzir o número de réplicas e, assim, o esforço computacional.

Explorar amplos espaços de solução exige, por outro lado, verdadeiros métodos de otimização. As heurísticas e as meta-heurísticas são candidatos interessantes, pela sua flexibilidade em se adaptarem a diferentes problemas e, neste caso em particular, facilmente incluírem um modelo de simulação na sua função avaliadora. A sua popularidade é especialmente elevada em problemas de otimização combinatoria [5]. Em espaços contínuos, a pesquisa baseada em gradientes surge com frequência na literatura de S-O [6], uma vez que a última pode ser vista como uma extensão da programação não linear.

Não obstante, todos estes métodos requerem o uso da simulação para cada solução que é visitada, resultando num elevado tempo computacional, que pode ser inviável em muitos casos. Uma forma de contornar este problema consiste em aproximar um meta-modelo à “paisagem” de soluções [7]. Ou seja, em vez de iterar por diferentes soluções e correr simulações para cada, um conjunto limitado de pontos é selecionado, simulado e o resultado usado para aproximar um modelo analítico, geralmente não linear, no qual uma pesquisa rápida pode ter lugar, i.e., sem recorrer a mais simulações.

### MODELOS/MODELAÇÃO HÍBRIDA (MH)

Os métodos anteriormente descritos, mesmo os baseados em meta-modelos, assumem que não é possível construir *a priori* um modelo analítico que descreva razoavelmente bem o problema e que tenha uma complexidade tratável. Aqui, o termo “modelo analítico” refere-se não só a modelos de programação matemática, mas mais genericamente a qualquer modelo ou método que use exclusivamente expressões analíticas para definir o problema, como é o caso das meta-heurísticas. Se tal modelo analítico existir, então deverá ser usado conjuntamente com a simulação. Shantikumar e Sargent [8] distinguem entre “modelos

híbridos”, onde os modelos analítico e de simulação são combinados num único, e “modelação híbrida”, que se refere a usar dois modelos que individualmente conseguem gerar uma solução completa, mas que trocam informação entre si na geração da solução final. Uma questão crítica neste caso é garantir a coerência entre os diferentes níveis de granularidade que caracterizam os modelos analítico e de simulação.

Uma outra distinção, talvez até mais relevante, prende-se com o papel que a simulação assume neste método híbrido. Em certos problemas, o resultado da simulação pode não ser essencial para a escolha da solução. Nesses casos, os modelos analíticos podem ser formulados e resolvidos, e as suas soluções simuladas, por forma a determinar todas as variáveis de interesse. O propósito da simulação aqui não é o de verificar a vantagem de uma solução relativamente a outra, mas simplesmente ser parte da geração da solução. Todavia, quando a escolha de alguma decisão depende do resultado da simulação, que será provavelmente a maioria dos casos, ou o método anterior é combinado com um SAS, e a solução é iterativamente alterada até ser satisfatória, ou então a simulação terá que de alguma forma modificar o modelo analítico para que novas e melhores soluções sejam geradas.

**“NA NOVA ERA DA INDÚSTRIA 4.0, ONDE POR UM LADO OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO SÃO CADA VEZ MAIS COMPLEXOS, MAS POR OUTRO COMEÇA A EXISTIR MAIS INFORMAÇÃO EM TEMPO REAL SOBRE O ESTADO DOS RECURSOS, HÁ UMA TENDÊNCIA CRESCENTE PARA MÉTODOS DE DECISÃO DESCENTRALIZADOS, ÁGEIS E RÁPIDOS”**

**“EM CERTOS PROBLEMAS, O RESULTADO DA SIMULAÇÃO PODE NÃO SER ESSENCIAL PARA A ESCOLHA DA SOLUÇÃO. NESES CASOS, OS MODELOS ANALÍTICOS PODEM SER FORMULADOS E RESOLVIDOS, E AS SUAS SOLUÇÕES SIMULADAS, POR FORMA A DETERMINAR TODAS AS VARIÁVEIS DE INTERESSE”**

Existe uma vasta literatura debruçada sobre este tema, que considera diferentes formas de modificar os modelos analíticos utilizando o resultado da simulação. Tipicamente isto é feito refinando parâmetros críticos, como capacidades, tempos ou custos. Na maioria dos casos, esse refinamento visa criar alguma folga para acomodar incerteza. Porém, pode também ser usado para lidar com não-linearidades, particularmente funções definidas por treços, onde a simulação aponta em cada momento o treço a ser considerado no modelo analítico [9].

**APRENDIZAGEM DE REGRAS (AR)**

O tão badalado *machine learning*, agora na ribalta em virtude da crescente capitalização do seu potencial, tem uma forte relação com a S-O. Genericamente, os métodos de *machine learning* têm por objetivo treinar algoritmos na execução de determinadas tarefas, como

classificação ou regressão. No âmbito da IO, o *machine learning* foca-se normalmente em algoritmos que resolvem problemas de otimização. Estes algoritmos consistem em regras ou políticas simples, que podem ser executadas num curto espaço de tempo. São por isso métodos ideais para abordar problemas dinâmicos, altamente estocásticos, que curiosamente são os mesmos onde a simulação é necessária.

Aqui, a interligação entre simulação e otimização é grande. A regra de decisão é corrida dinamicamente ao longo da simulação. No entanto, este “modelo híbrido” representa apenas a avaliação da eficácia de uma regra em particular. A regra em si, a sua forma ou os seus parâmetros, requer uma meta-otimização. Esta combinação de S-O pode ser portanto vista como uma mistura das duas grandes abordagens acima descritas: um modelo híbrido (MH) que é usado para avaliar soluções (SAS), sendo que uma solução neste caso representa uma regra.

Por exemplo, na gestão de inventário, a regra a otimizar pode corresponder à forma como se determina a política de reaprovisionamento, constituída por um ou mais parâmetros. Ou seja, enquanto um método SAS utiliza a otimização para determinar diretamente o valor dos parâmetros (por exemplo, o ponto e a quantidade de encomenda) e a simulação para a testar, a aprendizagem de regras consiste em determinar um algoritmo, que pode ser uma simples expressão matemática, e que irá calcular os parâmetros da política. Para tal, aplicam-se métodos como redes neuronais, árvores de decisão ou programação genética [10].

São vários os problemas que podem beneficiar deste tipo de técnicas, incluindo o roteamento de veículos, o escalonamento da produção, e a movimentação ou alocação de produtos no chão de fábrica. Na nova era da Indústria 4.0, onde por um lado os sistemas de produção são cada vez mais complexos, mas por outro começa a existir mais informação em tempo real sobre o estado dos recursos, há uma tendência crescente para métodos de decisão descentralizados, ágeis e rápidos. A S-O deverá por isso ter um papel fundamental na resolução destes problemas.

**“NO ÂMBITO DA IO, O MACHINE LEARNING FOCA-SE NORMALMENTE EM ALGORITMOS QUE RESOLVEM PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO. ESTES ALGORITMOS CONSISTEM EM REGRAS OU POLÍTICAS SIMPLES, QUE PODEM SER EXECUTADAS NUM CURTO ESPAÇO DE TEMPO. SÃO POR ISSO MÉTODOS IDEAIS PARA ABORDAR PROBLEMAS DINÂMICOS, ALTAMENTE ESTOCÁSTICOS”**

**REFERÊNCIAS**

- [1] Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2001). *Verification and validation of simulation models. Discrete-event system simulation, 3rd Edition*, Prentice-Hall, Upper Saddle River (NJ), 367-397.
- [2] Figueira, G., & Almada-Lobo, B. (2014). Hybrid simulation–optimization methods: A taxonomy and discussion. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 46, 118-134.
- [3] Chen, C. H., Chick, S. E., Lee, L. H., & Pujowidianto, N. A. (2015). Ranking and selection: efficient simulation budget allocation. In *Handbook of Simulation Optimization* (pp. 45-80). Springer, New York, NY.
- [4] Homem-de-Mello, T., & Bayraksan, G. (2015). Stochastic constraints and variance reduction techniques. In *Handbook of Simulation Optimization* (pp. 245-276). Springer, New York, NY.
- [5] Juan, A. A., Faulin, J., Grasman, S. E., Rabe, M., & Figueira, G. (2015). A review of simheuristics: Extending metaheuristics to deal with stochastic combinatorial optimization problems. *Operations Research Perspectives*, 2, 62-72.
- [6] Fu, M. C. (2015). Stochastic gradient estimation. In *Handbook of simulation optimization* (pp. 105-147). Springer, New York, NY.
- [7] Dellino, G., Kleijnen, J. P., & Meloni, C. (2015). Metamodel-Based Robust Simulation-Optimization: An Overview. In *Uncertainty Management in Simulation-Optimization of Complex Systems* (pp. 27-54). Springer, Boston, MA.
- [8] Shanthikumar, J. G., & Sargent, R. G. (1983). A unifying view of hybrid simulation/analytic models and modeling. *Operations research*, 31(6), 1030-1052.
- [9] Almeder, C., Preusser, M., & Hartl, R. F. (2009). Simulation and optimization of supply chains: alternative or complementary approaches?. *OR spectrum*, 31(1), 95-119.
- [10] Nguyen, S., Mei, Y., & Zhang, M. (2017). Genetic programming for production scheduling: a survey with a unified framework. *Complex & Intelligent Systems*, 3(1), 41-66.

# A INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL E A INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS DE PLANEAMENTO DA GESTÃO DO FOGO E DA GESTÃO FLORESTAL



JOSÉ G. BORGES

Centro de Estudos Florestais,  
Instituto Superior de Agronomia,  
Universidade de Lisboa  
joseborges@isa.ulisboa.pt

Os fogos florestais ameaçam as populações, destroem propriedade urbana e rural e provocam danos na floresta. Em Portugal e na região Mediterrânica, a sua severidade é reconhecida pelas sociedades, pelas partes interessadas e pelos decisores políticos. Para além disso, os cenários de alteração climática potenciam a devastação provocada pelos incêndios florestais nesta região. As agendas de investigação relativas a este assunto (e.g. [3]) reconhecem a importância da integração dos processos de planeamento da gestão do fogo e da gestão da floresta e sugerem o potencial da utilização de técnicas de Investigação Operacional (IO) para o conseguir. Neste artigo, faz-se uma descrição sumária de alguma investigação desenvolvida com este objetivo em Portugal.

A possibilidade de integrar de forma efetiva o risco de incêndio no planeamento da gestão florestal depende da disponibilidade de modelos que permitam estimar a probabilidade de ocorrência de incêndios bem como os danos provocados por estes. Os modelos deverão fazer esta estimativa com recurso a variáveis biométricas, e.g., densidade de ocupação florestal, diversidade de espécies e biomassa de matos, sobre as quais haja possibilidade de controle por parte dos decisores mediante a calendarização de ações de gestão, e.g., limpeza de matos, desbastes, .... O projeto "Integração da gestão florestal e da gestão do fogo. Modelos e sistemas de decisão" (PTDC/AGR-CFL/64146/2006) (<https://www.researchgate.net/project/Decision-support-tools-for-integrating-fire-and-forest-management-planning>) foi pioneiro no desenvolvimento destes modelos (e.g., [2]) em Portugal.

A informação oferecida por estes modelos oferece a oportunidade de utilização de técnicas de IO para integrar o risco de incêndio no planeamento da gestão florestal a várias escalas espaciais. Para esse efeito, a paisagem florestal é classificada em unidades ecológica e economicamente homogêneas (povoamentos florestais): as variáveis de decisão consistem em calendários de

intervenção em cada um destes povoamentos. Os modelos relativos à probabilidade de ocorrência de incêndios e aos danos provocados por estes permitem estimar os coeficientes destas variáveis, em função objetivo ou em restrições, em formulações de Programação Linear (LP) ou Programação Inteira Mista (MIP), por forma a traduzir o impacto das opções de gestão naqueles calendários sobre indicadores de resistência a incêndios ao longo do horizonte temporal do planeamento.

Ferreira et al. [1] desenharam desenharam uma formulação MIP para definir um plano de gestão e utilizaram como caso de estudo a Mata Nacional de Leiria (MNL). Esta formulação estima o valor de um indicador de resistência da MNL ao fogo, com recurso a modelos desenvolvidos para o pinheiro bravo e com base na ocupação florestal em cada povoamento que resulta das opções de gestão. A formulação MIP pode maximizar o valor deste indicador ou, em alternativa, definir o seu valor mínimo em restrição. A sua solução consiste no plano de gestão que mais aproxima os objetivos de proteção contra incêndios (Figura 1).

O predomínio da floresta privada, bem como o

**“AS AGENDAS DE INVESTIGAÇÃO RELATIVAS A ESTE ASSUNTO RECONHECEM A IMPORTÂNCIA DA INTEGRAÇÃO DOS PROCESSOS DE PLANEAMENTO DA GESTÃO DO FOGO E DA GESTÃO DA FLORESTA E SUGEREM O POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL (IO) PARA O CONSEGUIR”**

minifúndio característico nas regiões Centro e Norte do país, são características estruturais que problematizam o desenvolvimento e implementação de planos capazes de integrar os processos de planeamento da gestão da floresta e do fogo. Esta integração apenas se consegue fazer à escala da paisagem e obriga à procura de consensos entre proprietários florestais e outras partes interessadas. Em consequência, a produção

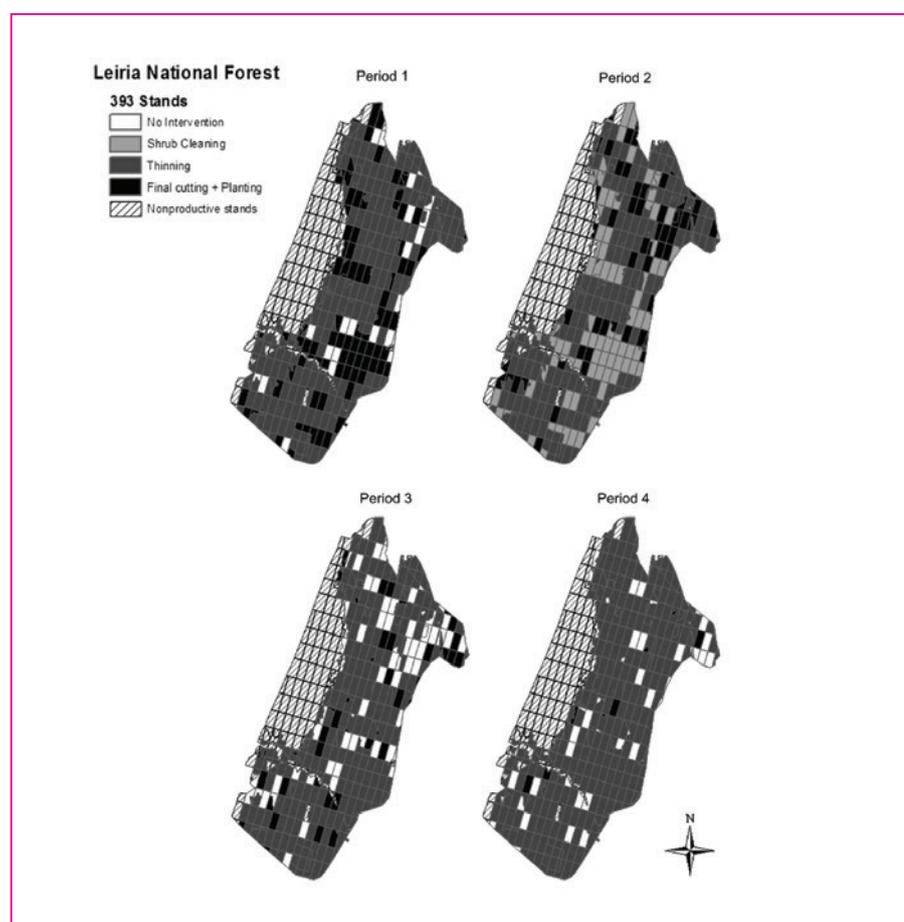
de informação relativa a *trade-offs* entre serviços de ecossistema é tão importante quanto a otimização do plano de gestão florestal. Marques et al. [2] desenvolveram recentemente uma aproximação que combina uma formulação PL com técnicas interativas para visualização de fronteiras de Pareto, para apresentar *trade-offs* entre serviços de proteção contra incêndios e outros serviços de ecossistema (e.g., oferta de madeira,

carbono). Esta foi testada com sucesso em Zonas de Intervenção Florestal (áreas com vários proprietários e objeto de gestão conjunta).

Nesta introdução à utilização de técnicas de IO em proteção contra incêndios na gestão da floresta em Portugal, focou-se, por exigências de brevidade, em resultados de um projeto pioneiro nesta área. Outro projeto, com resultados de grande relevância no domínio do desenvolvimento de técnicas de IO nesta área, que se intersectou com este foi o FIRE-ENGINE – Flexible Design of Forest Fire Management Systems (MIT/FSE/0064/2009) <https://www.researchgate.net/project/FIRE-ENGINE>. Este projeto focou, para além disso o desenvolvimento de técnicas de IO para representar e resolver problemas associados ao combate contra incêndios.

Permanecem entretanto problemas em aberto que merecem a investigação de técnicas de IO. Entre estes, referem-se aqui, pela relevância de que se reveste para a integração dos processos de planeamento da gestão do fogo e da gestão da floresta à escala da paisagem, apenas dois: a) a investigação de modelos que permitam a estimativa da probabilidade de ocorrência de incêndios e dos danos provocados por estes no caso de outras espécies florestais no país; e b) a integração de modelos de risco e de propagação do fogo por forma a otimizar a distribuição espacial do tratamento de combustíveis no planeamento da gestão da floresta.

**“A PRODUÇÃO DE INFORMAÇÃO RELATIVA A TRADE-OFFS ENTRE SERVIÇOS DE ECOSISTEMA É TÃO IMPORTANTE QUANTO A OTIMIZAÇÃO DO PLANO DE GESTÃO FLORESTAL”**



**Fig. 1** - A distribuição espacial das opções de gestão na MNL que maximiza o rendimento atual líquido para um nível de resistência ao incêndio de 0.89 (retirado de [1])

#### REFERÊNCIAS

- [1] Ferreira, L., Constantino, M., Borges, J. G., & Garcia-Gonzalo J. (2015). Addressing wildfire risk in a landscape-level scheduling model. *An application in Portugal Forest Science* 61: 266-277. DOI: <http://dx.doi.org/10.5849/forsci.13-104>
- [2] Marques, S., Marto, M., Bushenkov, V.A., McDill, M. E. & Borges, J. G. (2017) Addressing Wildfire Risk in Forest Management Planning with Multiple Criteria Decision Making Methods. *Sustainability* 2017, 9, 298, (<http://dx.doi.org/10.3390/su9020298>)
- [3] Palahi, M., Birot, Y., Borges, J. G., Bravo, F., Pettenella, D., Sabir, M., Daly, H., Shater, Z., Baskent, E., Kazana, V., Mendes, A. C., Moreira, F., Scarascia-Mugnozza, G. & von Lengefeld, A. K. (2009). *A Mediterranean Forest Research Agenda – MFRA 2010-2020*. European Forest Institute Mediterranean Regional Office – EFIMED and Forest Based Sector Technology Platform, Barcelona, 31 p. ([http://www.efimed.efi.int/files/attachments/efimed/mediterranean\\_forest\\_research\\_agenda\\_2010-2020.pdf](http://www.efimed.efi.int/files/attachments/efimed/mediterranean_forest_research_agenda_2010-2020.pdf))

# CORVOS E TARTARUGAS DESIGN FLEXÍVEL DE SISTEMAS DE GESTÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS



ABÍLIO PEREIRA  
PACHECO

INESC TEC,  
Faculdade de Engenharia,  
Universidade do Porto  
app@fe.up.pt

Vós, ó portugueses da minha geração, que, como eu, não tendes culpa nenhuma de serdes portugueses. () Fazei a apologia da Força e da Inteligência. () Gritai nas razões das vossas existências que tendes direito a uma pátria civilizada. () O povo completo será aquele que tiver reunido no seu máximo todas as qualidades e todos os defeitos. Coragem, Portugueses, só vos faltam as qualidades.

José de Almada Negreiros  
*Ultimatum Futurista às Gerações Portuguesas  
do Século XX*  
Portugal Futurista nº1, Dezembro de 1917

Um sistema pode ser quase 100% fiável e, mesmo assim, a sua estreita margem de ineficácia ser responsável por resultados catastróficos (alguém embarcaria num voo sabendo que os sistemas críticos não falham em 99% dos casos?). O sistema de gestão de fogos rurais (GFR) é um desses sistemas - quando falha, as consequências podem ser penosas. De facto, quando, por exemplo, o ataque inicial a um incêndio nascente falha ou o rescaldo não é bem-sucedido, a consequência pode ser um grande incêndio com um impacto tremendo e destrutivo na comunidade e no ecossistema.

É assim imperioso que o sistema de GFR e os seus subsistemas (de prevenção, de combate – por exemplo) e respetivas interconexões sejam cuidadosamente escrutinados, procurando formas de melhorar a sua eficácia, com o objetivo de melhorar o sistema como um todo.

O nosso trabalho de investigação tem-se focado principalmente no subsistema de combate e na sua interconexão com o subsistema de prevenção, prestando especial atenção à exposição a incertezas críticas e às complexas dinâmicas que caracterizam o sistema GFR – um sistema complexo e confuso (*messy*), envolvendo natureza, pessoas e tecnologia. Este foco conduziu-nos à adoção de uma perspetiva de “Sistemas de Engenharia” – considerando em simultâneo um conjunto mais amplo de questões relevantes, nomeadamente de engenharia, gestão e ciências sociais (particularmente nas suas interseções), para a conceção (*design*) e operação do sistema – com uma atenção acrescida para aspe-

tos como a gestão integrada e a flexibilidade na conceção e gestão do sistema.

Os nossos resultados empíricos e contribuições teóricas têm uma série de implicações práticas relevantes para a GFR e para a formulação de políticas públicas relacionadas, que resumimos nos próximos doze pontos – sendo os três últimos, porventura, aqueles com mais longo alcance.

## CUSTO NEGLIGENCIADO DOS REACENDIMENTOS E FALSOS ALERTAS

Mostramos ser muito relevante o seu impacto conjunto no ponto de colapso do subsistema de combate (comando e recursos), com custos soberbamente descurados, comparando a realidade em Portugal com valores de referência internacionais [1].

## CICLO VICIOSO DOS REACENDIMENTOS

Identificamos um ciclo de ineficácia no combate aos fogos rurais: deficientes operações de rescaldo originam reacendimentos posteriores que se somam aos incêndios primários, logo, contribuem para aumentar a quantidade de ocorrências simultâneas, aumentando a pressão para atacar esses incêndios na sua fase inicial, pressão que por sua vez, leva ao aumento dos rescaldos mal-executados, e assim por diante [2].

**“É ASSIM IMPERIOSO QUE O SISTEMA DE GFR E OS SEUS SUBSISTEMAS (DE PREVENÇÃO, DE COMBATE – POR EXEMPLO) SEJAM CUIDADOSAMENTE ESCRUTINADOS, PROCURANDO FORMAS DE MELHORAR A SUA EFICÁCIA E EXPLORANDO AS SUAS INTERCONEXÕES, COM O OBJETIVO DE MELHORAR O SISTEMA COMO UM TODO”**

### INVERSÃO DO CICLO VICIOSO ATRAVÉS DA GESTÃO DOS FALSOS ALERTAS

Mostramos que a gestão dos falsos alertas reduz o número de ocorrências simultâneas, o que diminui a pressão para os bombeiros acorrerem ao ataque inicial de novas ocorrências, libertando recursos para combater incêndios reais e com mais tempo para investir nas operações de rescaldo, reduzindo assim o número de reacendimentos posteriores, o que resulta no decréscimo do número de ocorrências futuras, e assim por diante, num ciclo de *feedback* virtuoso [1, 2].

### MELHORAR O DESEMPENHO COM A REDUÇÃO DOS CUSTOS DO ATAQUE AMPLIADO

Mostramos como se poderia atualizar a frota de combate a incêndios existente, subutilizada e antiga, por uma mais eficiente, com menos veículos (menos custos), mas garantindo níveis de segurança semelhantes aos atuais, ao longo do tempo [3].

### GESTÃO DE GRANDES INCÊNDIOS

A atual gestão e combate de grandes incêndios precisa de ser aperfeiçoada para conseguir tirar partido, à medida que a frente do incêndio progride, de alterações que se verifiquem na meteorologia, no material combustível (biomassa) e na topografia do terreno, as quais criam oportunidades para o controle efetivo do incêndio (de outro modo incontrolável). Os projetos de tratamento de combustível à escala de paisagem e a integração desse conhecimento (nomeadamente, sobre os locais onde estes foram aplicados) no subsistema de combate, assim como o desenvolvimento da autoproteção das comunidades contra incêndios, podem favorecer esse aperfeiçoamento [4].

### ARMADILHA DO COMBATE

Em resultado das dinâmicas entre o sistema físico (a estrutura dos processos florestais) e o sistema sociopolítico, com as regras de decisão usadas pelos governos numa tentativa de controlo desses processos, é atacado o sintoma (os incêndios) com mais e mais recursos destinados ao combate, e logo, sendo o orçamento limitado, com progressivamente menos recursos dedicados às causas, num ciclo vicioso [5].

### SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO (SAD) E GESTÃO DO RISCO

Para efetuar a avaliação económica de programas de GFR, integrar o risco de incêndio nos processos de planeamento florestal ou avaliar opções (em tempo real) durante as operações de combate, os SAD são vitais, juntamente com o envolvimento das múltiplas partes interessadas. Os SAD permitem análises baseadas no risco, que são críticas para a integração da gestão do risco e a GFR. A não utilização de qualquer tipo de SAD em Portugal, quase meio século depois de terem começado a ser utilizados noutros países, é enigmática (no mínimo), e constitui uma importante oportunidade de melhoria [6].

### PORTEFÓLIO ÓTIMO E VALORES EM RISCO

Descobrimos que o equilíbrio entre prevenção e combate muda qualitativamente no sistema de GFR de acordo com o custo de escape – custo atribuído aos incêndios que escapam ao ataque inicial, o qual depende fundamentalmente dos valores em risco. Com efeito, o *mix* de investimento ideal em cada um dos diferentes estados do sistema explica alguns comportamentos controversos efetivamente observados, assim desafiando vários mitos da GFR (por exemplo, que investir em prevenção é “sempre” bom; que a proporção do orçamento destinado à prevenção deve ser um terço do orçamento total; que o investimento em meios aéreos é “sempre” um desperdício). Em resumo, a carteira de investimento ótima depende fortemente dos valores em risco, i.e., do contexto socio-ecológico [7].

### PREVALÊNCIA DO TRATAMENTO DE COMBUSTÍVEIS

Apesar do *mix* de investimento ótimo (distribuição do orçamento entre prevenção e combate) mudar qualitativamente no sistema, o tratamento de combustíveis (redução da biomassa por remoção mecânica ou manual, fogo controlado, ou outras técnicas) é sempre importante acima de um certo (baixo) valor em risco: independentemente do valor do custo de escape, após esse limiar, o orçamento ótimo em valor absoluto para tratamentos quase não muda. Por outras palavras, a partir de um determinado valor em risco, o investimento em tratamento de combustíveis é estável e sempre necessário [7].

**“O INVESTIMENTO EM INTELIGÊNCIA E ORGANIZAÇÃO DO COMBATE A GRANDES INCÊNDIOS PODE TER UM GRANDE IMPACTO NA ALAVANCAGEM DA CAPACIDADE DOS RECURSOS DE COMBATE EXISTENTES MESMO EM SITUAÇÕES EM QUE OS MESMOS SÃO ESCASSOS”**

### DESIGN DA RESPOSTA EM ATAQUE INICIAL

Como o ataque inicial a novas ocorrências representa cerca de 90% da atividade do combate, um modelo de simulação (discreta) desenvolvido por nós [1] pode ser usado para melhorar a eficácia do subsistema de combate e, ao mesmo tempo, para reduzir os seus custos [8].

### DESIGN FLEXÍVEL

A introdução de flexibilidade no design de um sistema pode ser valiosa, por permitir melhorar significativamente o seu desempenho e reduzir os custos de investimento, mas mantendo níveis de segurança adequados [3]. A abordagem, com a centralização parcial da frota utilizada no ataque ampliado, pode ser aplicada a problemas semelhantes em outras áreas [9, 10].

### GESTÃO FLEXÍVEL

Uma GFR flexível, intra-anual e integrada, conduz a uma alocação do orçamento com uma boa relação custo-benefício reduzindo as perdas com incêndios catastróficos [7].

Além das implicações práticas acima descritas, os nossos resultados empíricos e contribuições teóricas têm uma série de implicações relevantes para a formulação de políticas, que a seguir resumimos:

- a crescente complexidade técnica, operacional e de gestão do combate, exige, atualmente,

às equipes de combatentes um nível de especialização que só pode ser assegurado por uma espinha dorsal constituída por bombeiros profissionais;

- a natureza profundamente dinâmica do sistema de GFR requer uma reavaliação estratégica e frequente dos recursos do subsistema de combate, por exemplo, relativamente à sua adequação, distribuição no território, estrutura organizacional e fontes de financiamento;
- o sistema GFR precisa de ser libertado da “armadilha do combate” que o encerra: urge substituir a resolução no curto prazo dos problemas via supressão dos sintomas, pela abordagem dos fatores que os causam;
- o investimento em inteligência e organização do combate a grandes incêndios pode ter um grande impacto na alavancagem da capacidade dos recursos de combate existentes mesmo em situações em que os mesmos são escassos;
- a integração com a prevenção também pode ter um grande impacto na eficácia do combate, por exemplo, colocando os mesmos profissionais que durante o tempo frio e seco criaram oportunidades (tratamentos, construção de aceiros e outras), durante o período crítico, no combate, a aplicar o conhecimento da sua localização e sobre como melhor as aproveitar;
- a variação significativa dos desafios colocados por diferentes contextos regionais requer a especialização regional das políticas de GFR (por exemplo, sobre se, quando e onde utilizar meios aéreos, apostar na prevenção, apenas no combate, ou deixar arder);
- a alta exposição ao risco e o nível de interdependência entre os atores e os subsistemas da GFR sugere que políticas socialmente preferíveis podem ter que ser favorecidas, mesmo que economicamente subótimas, com um *design* participativo e cuidadoso sobre onde, quando e como intervenções tais como regulação do mercado e subsídios cruzados devem ser implementados;
- existe uma necessidade colossal (e também uma oportunidade ampla) de infusão de ciência e tecnologia em todos os níveis do sistema, por exemplo, através da implementação e rotinização do uso de SAD na avaliação económica de alternativas de GFR – ao nível estratégico, e SAD para a avaliação rápida dos valores em risco e simulação do fogo na paisagem em tempo real – ao nível operacional;
- como referido anteriormente, o sistema de GFR tem uma natureza profundamente dinâmica e, como tal, qualquer implementação das políticas sugeridas (e outras) deve ser reavaliada periodicamente, agindo em consequência. Citando Fantina Tedim de memória, «não existe um problema dos incêndios em Portugal, mas sim vários problemas – cada um com várias dimensões», sendo que o nosso trabalho apenas toca algumas das dimensões de alguns dos problemas existentes. Por exemplo, cerca de 98% dos incêndios primários têm origem humana (aspeto que tem sido surpreendentemente ignorada pelas autoridades), mas a “Gestão de Ignições” quase [3] não foi abordada no nosso trabalho.

Como reflexão final, enfatizamos que para reduzir a vulnerabilidade dos ecossistemas e das sociedades humanas através de uma governança do risco melhorada e proactiva [11], é necessária a compreensão das relações (principalmente não-lineares) entre os sistemas físicos, ecológicos e culturais – interconectados – que influenciam a severidade dos incêndios florestais. Com a perspetiva de incêndios mais severos no futuro, uma vez que não podemos controlar a meteorologia, uma das opções restantes é reduzir o impacto humano: o que pode ser fomentado por mudanças nas questões tecnológicas e de políticas, sugeridas pelos nossos resultados.

**“COM A PERSPETIVA DE INCÊNDIOS MAIS SEVEROS NO FUTURO, UMA VEZ QUE NÃO PODEMOS CONTROLAR A METEOROLOGIA, UMA DAS OPÇÕES RESTANTES É REDUZIR O IMPACTO HUMANO: O QUE PODE SER FOMENTADO POR MUDANÇAS NAS QUESTÕES TECNOLÓGICAS E DE POLÍTICAS”**

#### REFERÊNCIAS

- [1] Pacheco, A.P., Claro, J., & Oliveira, T. (2014). Simulation analysis of the impact of ignitions, rekindles, and false alarms on forest fire suppression. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(1), 45-55.
- [2] Pacheco, A.P., Claro, J., & Oliveira, T. (2012). Rekindle dynamics: validating the pressure on wildland fire suppression resources and implications for fire management in Portugal. In *Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires III* (p. 258). Wessex Institute of Technology, Ashurst, Southampton, UK.
- [3] Pacheco, A.P., Neufville, R., Claro, J., & Fornés, H. (2014). Flexible design of a cost-effective network of fire stations, considering uncertainty in the geographic distribution and intensity of escaped fires. In *Advances in Forest Fire Research* (pp. 1835-1838). Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- [4] Fernandes, P.M., Pacheco, A.P., Almeida, R., & Claro, J. (2016). The role of fire-suppression force in limiting the spread of extremely large forest fires in Portugal. *European Journal of Forest Research*, 135(2), 253-262.
- [5] Collins, R.D., Neufville, R., Claro, J., Oliveira, T., & Pacheco, A.P. (2013). Forest fire management to avoid unintended consequences: A case study of Portugal using system dynamics. *Journal of Environmental Management*, 130, 1-9.
- [6] Pacheco, A.P., Claro, J., Fernandes, P.M., Neufville, R., Oliveira, T.M., Borges, J.G., & Rodrigues, J.C. (2015). Cohesive fire management within an uncertain environment: A review of risk handling and decision support systems. *Forest Ecology and Management*, 347, 1-17.
- [7] Pacheco, A.P. & Claro, J. (2014). Flexible planning of the investment mix in a forest fire management system: spatially-explicit intra-annual optimization, considering prevention, pre-suppression, suppression, and escape costs. In *Advances in Forest Fire Research* (pp. 1839-1842). Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- [8] Pacheco, A.P., Silva, D.P., Claro, J., & Oliveira, T.M. (2018). Does it pay to invest in better suppression resources? – policy analysis of alternative scenarios with simulation. In *III International Conference on Forest Fire Research*. Coimbra, Portugal.
- [9] Stonesifer, C.S., Thompson, M.P., Salis, M., Pacheco, A.P., & Claro, J. (2015). Flexible design of helicopter basing strategies: a case study of Sardinia, Italy. In *Second International Conference on Fire Behaviour and Risk*. Alghero, Italy.
- [10] Torres, H.S., Pacheco, A.P., Claro, J., Salis, M., Thompson, M.P., Stonesifer, C.S., Diana, G., & Cocco, S. (2017). Flexible design of a network of helipads for a fleet of forest firefighting helicopters. In *2017 World Conference on Natural Resource Modeling*, Barcelona, Spain.
- [11] Oliveira, T.M., Guiomar, N., Claro, J., Baptista, F.O., Pereira, J., Costa, P.L., Pacheco, A.P. (2017). A Transição Florestal e a Governança do Risco de Incêndio nos Últimos 100 Anos e Ordenamento do Território. In *Economia da Floresta e Ordenamento do Território* (p. 186). Conselho Económico e Social, Lisboa.

# O SÓCIO N.º ... 1023

O meu percurso académico foi em parte determinado quando, em meados da década de oitenta do século passado, recebi um *Sinclair ZX Spectrum*. As muitas horas que dediquei à sua programação e a curiosidade em saber como funcionava fez com que ambicionasse aprofundar os meus conhecimentos na área da informática. Durante as comemorações do tricinquentenário do Liceu Sá de Miranda em Braga onde estudava, recebi um prémio de desempenho escolar entregue pelo então Reitor da Universidade do Minho, Professor Sérgio Machado dos Santos. Nessa altura, tomei conhecimento da existência da ainda recente Licenciatura em Engenharia de Sistemas e Informática. Candidatei-me e ingressei no curso no ano de 1987. Foi no 3.º ano, nas aulas de Métodos Numéricos da Professora Edite Fernandes, que estudei os primeiros algoritmos de otimização não linear. No ano seguinte, tomei contacto com os modelos e algoritmos de Investigação Operacional, na unidade curricular lecionada pelo Professor António Guimarães Rodrigues. Concluí a licenciatura em 1992 e, de seguida, iniciei o Mestrado em Informática também na Universidade do Minho onde estudei e apliquei pela primeira vez algoritmos genéticos como algoritmos de criação e otimização de regras de aprendizagem em sistemas periciais. Em simultâneo, iniciei o meu percurso profissional como assistente estagiário no grupo de Métodos Numéricos e Estatísticos no Departamento de Produção e Sistemas (DPS) da Universidade do Minho, lecionando unidades curriculares como Métodos Numéricos e Estatística Aplicada a diversos cursos de engenharia. O interesse e gosto pelas áreas da otimização e dos algoritmos evolucionários fez-me prosseguir com os trabalhos de doutoramento orientado pelo Professor Pedro Oliveira que conheci nessa altura. No doutoramento, estudei e desenvolvi algoritmos evolucionários aplicados a problemas de otimização uniobjetivo e multiobjetivo. Aprendi com o meu orientador a valorizar a resolução de problemas do mundo real e a multidisciplinaridade das equipas de investigação. Assim, o desenvolvimento algorítmico e as técnicas de otimização foram sempre acompanhados pela sua aplicação a problemas reais, como, por exemplo, proble-

mas de programação inteira mista não linear da área de engenharia química e da área de engenharia mecânica.

Após o doutoramento prosseguí a minha atividade de investigação no Centro ALGORITMI da Universidade do Minho. Integro, atualmente, a linha de *Systems Engineering and Operational Research* (SEOR) deste centro de investigação. Do ponto de vista da investigação, tenho um interesse especial pela área da otimização multiobjetivo, o que compreende o desenvolvimento de novos algoritmos e técnicas baseadas na hibridização de métodos escalarizantes com estratégias evolucionárias, a resolução de problemas com muitos objetivos, o desenvolvimento de técnicas de tratamento de restrições; e a comparação do desempenho de algoritmos de otimização com componente estocástica. Participei, também, em diversos projetos de investigação relacionados com a modelação e otimização de problemas de engenharia como: a otimização de parâmetros de locomoção de robôs quadrúpedes e bípedes; a retroanálise de parâmetros geomecânicos em túneis; a otimização da gestão de pavimentos; a otimização de cadeias de abastecimento sustentáveis. Mais recentemente integrei um projeto europeu em que se procura desenvolver uma nova extrusora para materiais poliméricos e compósitos com o objetivo de otimizar diversos parâmetros da extrusora. No Plano Doutoral em Engenharia Industrial e de Sistemas (PDEIS) da Universidade do Minho, tenho lecionado as unidades curriculares técnico-científicas opcionais de Otimização Multiobjetivo e Algoritmos Genéticos e Evolucionários. O PDEIS é suportado pelo Centro ALGORITMI e visa a formação de especialistas e investigadores na área do conhecimento da Engenharia Industrial e de Sistemas na qual a Investigação Operacional tem um papel importante. Contribuí também para a criação da unidade curricular de Métodos Quantitativos e Qualitativos em Engenharia oferecida aos diversos planos doutorais da Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

Do ponto de vista profissional, sou docente do Departamento de Produção e Sistemas na Escola (DPS) da Escola de Engenharia da Universidade do Minho há quase 25 anos. O DPS, criado em 1989, era então recente, mas



LINO COSTA

Escola de Engenharia  
da Universidade do Minho  
lac@dps.uminho.pt

assumia a área de Produção e Sistemas que existia desde 1976 na Universidade do Minho. No DPS, tenho vindo a lecionar unidades curriculares nas áreas de estatística, métodos numéricos e otimização a diversos cursos de licenciatura e mestrado da Escola de Engenharia. Estive também envolvido na criação do Curso de Formação Especializada em Otimização Aplicada à Engenharia e Ciências no qual lecionei a unidade curricular de Algoritmos Genéticos e Evolucionários.

O ensino e a investigação na área da Investigação Operacional enfrentam reptos interessantes e desafiadores. Em particular, na resolução de problemas reais, surge a necessidade de utilizarmos modelos matemáticos e estatísticos cada vez mais complexos para lidarmos com grandes volumes de dados, variáveis de decisão, restrições, e um grande número de critérios conflitantes, situação que vem sublinhar a importância crescente da Investigação Operacional.

## EVENTOS REALIZADOS

### WGSCO 2018, Workshop on Graph Spectra, Combinatorics and Optimization



De 25 a 27 de janeiro de 2018, teve lugar no Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro o WGSCO 2018 - *Workshop on Graph Spectra, Combinatorics and Optimization*, organizado por ocasião do 65.º aniversário do Prof. Domingos M. Cardoso, professor e investigador da Universidade de Aveiro. Este Workshop teve o apoio da APDIO, sendo o Prof. Domingos M. Cardoso um sócio muito ativo e o presidente desta associação no período de 2012 a 2015.

Os tópicos do Workshop refletiram a diversidade dos interesses científicos do Prof. Domingos M. Cardoso bem como as principais linhas de investigação do grupo OTGC - Otimização, Teoria dos Grafos e Combinatória, grupo por si coordenado durante muitos anos e inserido na Unidade de Investigação CIDMA da Universidade de Aveiro.

O Workshop contou com 115 participantes registados, oriundos de 27 países.

Do Programa Científico do Workshop constaram 9 palestras plenárias convidadas, sendo uma delas, "*On the scheduling of periodic events*", apresentada por Jorge Orestes Cerdeira da Universidade Nova de Lisboa, Portugal, e foi composto por 32 sessões com cerca

de 80 palestras divididas em 4 linhas principais: Teoria dos Grafos, Teoria Espetal dos grafos, Combinatória e Otimização.

A Comissão Organizadora do Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro fez o seu melhor para poder oferecer aos participantes um interessante Programa Social, dando-lhe a conhecer a Universidade de Aveiro e a bonita região de Portugal onde está situada. O sucesso do Workshop deve-se, em grande parte, ao apoio de várias organizações nacionais e internacionais, entre quais APDIO, FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, FLAD - Fundação Luso-Americana de Desenvolvimento, ILAS - International Linear Algebra Society. Mais informação sobre o programa do Workshop, participantes, oradores convidados, sessões especiais e palestras, galeria de fotos e outras, podem ser acedidas na webpage <http://wgsc2018.web.ua.pt>

Co-chairs do WGSCO 2018

Paula Carvalho [paula.carvalho@ua.pt](mailto:paula.carvalho@ua.pt)

Sofia Pinheiro [spinheiro@ua.pt](mailto:spinheiro@ua.pt)

Tatiana Tchemisova [tatiana@ua.pt](mailto:tatiana@ua.pt)

## ICDSST - PROMETHEE DAYS 2018

Nos dias 22 a 25 de maio decorreu no Hellenic Centre for Marine Research, Heraklion, Crete, Greece, a ICDSST - PROMETHEE DAYS 2018 - 4th International Conference on Decision Support System Technology subordinada ao tema "Sustainable Data-Driven & Evidence-based Decision Support with Applications to the Environment and Energy Sectors". Esta conferencia pretende ser uma plataforma de comunicação entre académicos, investigadores, especialistas e outros profissionais em áreas relacionadas com tomada de decisão e apoio à decisão, incluindo metodologias e tecnologias de apoio à decisão, com a finalidade de trocar ideias, partilhar experiências,

discutir tópicos chave, e identificar direções de investigação e desenvolvimento futuros.

Mais informações em [www.icdsst2018.wordpress.com](http://www.icdsst2018.wordpress.com)



### 3.º Encontro Nacional de Estudantes de Matemática (ENEMath)



Entre 24 e 27 de março, decorreu na Universidade de Aveiro (UA) o 3.º Encontro Nacional de Estudantes de Matemática (ENEMath). Com um programa preenchido com atividades científicas, culturais e de lazer, o ENEMath contou com a presença de mais de 140 estudantes de Matemática de diversas Universidades portuguesas. A sua organização foi da responsabilidade do Núcleo de Estudantes de Matemática da UA que teve apoio essencial de algumas associações e entidades, tais como a Associação Portuguesa de Investigação Operacional (APDIO).

Na sua componente científica, Egon Schulte, Brendan McCabe, Delfim Torres entre outros oradores apresentaram parte dos seus trabalhos em diferentes áreas de Matemática, com 7 palestras dis-

tribuídas pelos 4 dias do encontro.

De um modo mais aplicado, os participantes participaram em 4 workshops paralelos na tarde de dia 25 de março. Um destes workshops foi orientado pela APDIO, através das Professoras Isabel Cristina Lopes e Eliana Costa e Silva, e intitulou-se de “Estatística e Investigação Operacional na Prática das Organizações”.

Na componente cultural, diversas atividades de visita à cidade foram realizadas pelas ruas e canais da Veneza de Portugal, onde não faltou a presença obrigatória dos ovos moles e do moliceiro.

As duas primeiras edições tiveram lugar no Instituto Superior Técnico (2016) e na Universidade de Coimbra (2017), avançando agora para a 4.ª edição em 2019 na Universidade do Porto.

### ESGI 140

Investigadores das áreas da Matemática e da Indústria estiveram reunidos, nos dias 4 a 8 de junho, na Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal (ESTBarreiro/IPS), no âmbito de mais uma edição do *European Study Group with Industry* (ESGI), este ano sob organização daquele estabelecimento de ensino superior.

Os ESGI, que se realizam um pouco por toda a Europa, têm como propósito permitir o contacto direto entre investigadores industriais e matemáticos para uma abordagem conjunta de problemas concretos de importância para a indústria e para os serviços. No final da semana de trabalhos, são apresentadas estratégias de resolução dos

problemas, podendo ainda ser perspectivado o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Esta edição, que voltou a constituir-se como um instrumento valioso de transferência de tecnologia entre Matemática e Indústria, levou ao campus do Barreiro do IPS as empresas Infraquinta (gestão de resíduos e infraestruturas) e Lap2go (cronometragem e gestão de eventos).

Em Portugal, os ESGI vêm-se realizando anualmente desde 2007, no âmbito da Rede Portuguesa para a Indústria e Inovação (PT-MATHS-IN), núcleo português da *European Service Network of Mathematics for Industry and Innovation* (EU-MATHS-IN).

## EVENTOS A REALIZAR

### ECMI2018

20th European Conference on Mathematics for Industry  
18 a 22 junho 2018  
Budapest, Hungary  
Mais informações em <http://ecmi.bolyai.hu/>

### HELIX 2018

International Conference on Innovation, Engineering and Entrepreneurship  
27 a 29 de junho de 2018  
Universidade do Minho, Guimarães  
Mais informações em <http://helix.ipcb.pt/special-sessions/>



### EURO 2018

29th European Conference on Operational Research  
8 a 11 de julho de 2018  
Valência, Espanha  
Mais informações em <http://euro2018valencia.com/>



### IO 2018

XIX Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional  
5 a 7 de setembro de 2018  
Universidade de Aveiro  
Mais informações em <http://apdio.pt/web/io2018>

### ICDSST 2019

5th International Conference on Decision Support System Technology  
Tema: "Decision Support Systems: Main Developments & Future Trends"  
Comemoração dos 30 anos da criação do of EURO Working Group on Decision Support Systems EWG-DSS  
27 a 29 de maio de 2019  
Universidade da Madeira  
Mais informações em [www.icdsst2019.wordpress.com](http://www.icdsst2019.wordpress.com)

## Teses de Doutoramento e Honras

Autor: Fábio Neves Seabra da Silva Moreira  
Título: "On Improving Supply Chain Performance Through Integrated Vehicle Routing Problems"  
Instituição: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Programa de doutoramento: Engenharia e Gestão Industrial  
Orientadores: Bernardo Almado-Lobo e Luis Guimarães  
Data de conclusão: 24 de janeiro de 2018



Luis Nunes Vicente foi nomeado "Timothy J. Wilmott '80 Professor" e Diretor do Departamento de Engenharia Industrial e de Sistemas da prestigiada Universidade de Lehigh nos Estados Unidos da América. Esta nomeação terá efeito a partir de 1 de agosto de 2018. Desde 1996 Luis Nunes Vicente foi professor no Departamento de Matemática da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra. A otimização foi o

foco de toda a carreira de investigação, sob vários pontos de vista desde a teoria e aos algoritmos, assim como ao desenvolvimento de software e aplicações industriais. Recebeu, juntamente com Katya Scheinberg e com Andrew R. Conn o prestigiado prémio Lagrange em Otimização Contínua concedido pela Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), pela sua co-autoria do livro Introduction to Derivative-Free Optimization. Publicou mais de 100 artigos científicos, deu inúmeras palestras em diversas sociedades científicas em todo o mundo, fez parte de várias equipas editoriais incluindo as prestigiadas revistas científicas MOS-SIAM Series on Optimization, EURO Journal on Computational Optimization e Optimization Methods and Software. Foi editor chefe da Portugaliae Mathematica, publicado pela European Mathematical Society, e editor associado do SIAM Journal on Optimization.

Mais informações em: <https://www.lehigh.edu/engineering/news/faculty/2018/20180524-ise-welcomes-new-chair.html>

## Projetos aprovados

Título: "Resilient Network Design - enhancing availability for critical services"  
Entidade financiadora: FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, Program COMPETE/FEDER  
Investigador principal: Teresa Gomes (INESC-Coimbra)

Título: "Multi-cam Capsule Endoscopy Imagery: 3D Capsule Location and Detection of Abnormalities"  
Entidade financiadora: FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, Program COMPETE/FEDER  
Investigador principal: Helder Araújo (ISR)  
Co-Investigador principal: Isabel Narra Figueiredo (CMUC)

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](mailto:apdio@civil.ist.utl.pt)

#### Equipa Editorial

Eliana Costa e Silva  
[eos@estg.ipp.pt](mailto:eos@estg.ipp.pt)  
Rui Borges Lopes  
[rui.borges@ua.pt](mailto:rui.borges@ua.pt)

#### Design

Inês Assis  
[inesassis.design@gmail.com](mailto:inesassis.design@gmail.com)

#### Impressão

Gráfica Pacense, Lda.  
Tiragem 400 exemplares