

# MODELS AND ALGORITHMS FOR TACKLING UNCERTAINTY IN DECISION SUPPORT SYSTEMS

## MODELOS E ALGORITMOS PARA TRATAMENTO DA INCERTEZA EM SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

PROJECTO N° POSI/SRI/37346/2001

1.7.2002 – 31.7.2006

### Equipa de investigação

- Carlos Henggeler Antunes (Investigador responsável)
- Luís Dias
- Maria João Alves
- João Clímaco
- José Craveirinha
- Ana Rosa Borges
- Carla Oliveira

### Resumo dos trabalhos desenvolvidos

Durante a execução deste projecto (inicialmente com um horizonte temporal de três anos, mas a que foi concedida uma prorrogação de um ano) os trabalhos decorreram de acordo com o respectivo plano, tendo como objectivos principais a extensão, a integração e a aplicação de modelos e algoritmos para o tratamento explícito das fontes de incerteza em sistemas de apoio à decisão (SAD), em particular baseados em modelos multiobjectivo e multiatributo, de modo a permitir a obtenção de conclusões robustas.

A equipa de investigação estudou situações de incerteza e imprecisão em problemas de decisão, caracterizadas por:

- existência de parâmetros cujos valores não são conhecidos na fase de análise;
- existência de parâmetros cujos valores são imprecisos devido à sua natureza estatística ou à própria dificuldade de medida;
- existência de parâmetros que reflectem as preferências, convicções, julgamentos e valores de decisores, supondo que estes podem modificar-se no decurso do próprio processo de decisão à medida que é obtido um maior conhecimento do problema em causa;
- possibilidade de arbitrariedade na determinação de coeficientes de modelos matemáticos e/ou outros parâmetros de carácter técnico;
- existência de informação de entrada incompleta, pouco credível, contraditória (entres diversas fontes) ou controversa (em diferentes actores do processo).

Neste quadro, foram estudadas e desenvolvidas técnicas interactivas de programação difusa (*fuzzy programming*), que permitem considerar os coeficientes e as relações matemáticas de modelos de programação linear multiobjectivo de forma difusa (distribuições possibilísticas), e de programação intervalar (em que a incerteza sobre os coeficientes dos modelos é captada sob a

forma de intervalos). Nesta última vertente, foi realizado um extenso trabalho de revisão e análise comparativa de todas as abordagens existentes na literatura para problemas de programação linear multiobjectivo com coeficientes intervalares e desenvolvida uma abordagem original para tratar este tipo de problemas, visando diminuir o esforço computacional exigido.

Estas técnicas foram aplicadas a um modelo para estudar as interações entre a economia, o sector energético e o ambiente, baseado em análise input-output. Devido às inúmeras fontes de incerteza e imprecisão associadas a este tipo de modelos (praticamente todas as caracterizadas acima), foi investido algum esforço de I&D no respectivo desenvolvimento e extensão (bem como na aplicabilidade à realidade nacional), dado proporcionar um valioso campo de experimentação.

Ainda no que diz respeito a aplicações, a área das telecomunicações, dada a complexidade de natureza combinatória e a dimensão dos problemas, foi usada como campo de análise para estudar questões ligadas ao tratamento da incerteza e imprecisão em sistemas complexos (sobretudo problemas de encaminhamento com múltiplas métricas de avaliação da qualidade das soluções). A área de planeamento do território e avaliação multicritério de edificações (envolvendo a concepção e desenvolvimento de um SAD dedicado, com interface espacial) constituiu outro domínio de aplicação. Também o tratamento de problemas de localização (bicritério) de equipamentos motivou o desenvolvimento de uma nova abordagem com elevada eficiência computacional que permite a consideração explícita de duas restrições adicionais (o que, em geral, torna o problema muito mais complexo).

Foi desenvolvido um SAD para identificação da estabilidade de soluções não dominadas em problemas de programação inteira e inteira mista multiobjectivo, tendo em particular atenção o papel da estrutura de preferências dos decisores (no sentido quer de dotar a pesquisa de mecanismos de orientação, quer de diminuir o esforço computacional associado ao cálculo). Este SAD foi aplicado ao estudo de um caso de selecção de estratégias de controlo de cargas em redes eléctricas.

Outra área do tratamento da incerteza em SAD que mereceu especial esforço de I&D foi a dos processos de negociação e decisão em grupo baseados em modelos multiatributo (dos pontos de vista metodológico e de arquitectura de um SAD)

Todos estes desenvolvimentos tiveram como pano de fundo o paradigma da análise robustez para lidar com a incerteza e imprecisão em problemas de decisão, nomeadamente em relação aos coeficientes e parâmetros de entrada dos modelos, em que se pretende analisar e caracterizar todas as conclusões/recomendações compatíveis com conjuntos de combinações aceitáveis dos valores de entrada.

No quadro do projecto, a equipa de investigação esteve ainda envolvida na organização de dois eventos científicos internacionais realizados na Universidade de Coimbra: o *56<sup>th</sup> Meeting of the EURO Working Group on Multiple Criteria Decision Aiding* (Outubro 2002) e a *15<sup>th</sup> Mini EURO Conference on Managing Uncertainty in Decision Support Models - MUDSM 2004* (Setembro de 2004). Ambos os eventos deram origem à edição de um volume de Proceedings, com um rigoroso processo de revisão pelos pares. Na sequência desta última conferência foram organizados números especiais das revistas científicas *European Journal of Operational Research* e *Decision Support Systems* (duas das mais importantes revistas desta área).

João Clímaco e José Craveirinha organizaram o *1st Workshop on Multicriteria Modelling in Telecommunications Network Planning and Design*, Coimbra, Setembro de 2004, que contou

com a presença do orador convidado Prof. Andrzej Wierzbicki, director do National Institute of Telecommunications (Varsóvia, Polónia) e investigador do Japan Advanced Institute of Science and Technology,

No âmbito das actividades do projecto foi também organizado um “Ciclo de Conferências sobre Decisão”, numa parceria entre o Instituto de Investigação Interdisciplinar da Universidade de Coimbra, o INESC Coimbra e a Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra (FEUC). As conferências deste ciclo, realizadas em 14 de Outubro e 11 de Novembro de 2005, contaram com a participação de reputados especialistas: Prof. Paul Slovic, Universidade de Oregon, Prof. Alexis Tsoukiàs, CNRS / LAMSADE Universidade de Paris-Dauphine, Prof. Ralph Keeney, Duke University, e Prof. John Broome, Corpus Christi College da Universidade de Oxford. Com base nas apresentações destes palestrantes convidados, e os comentários de docentes de universidades portuguesas, está a ser preparado em livro a ser publicado pela Imprensa da Universidade de Coimbra.

O projecto deu origem a duas Teses de Doutoramento em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, nas especialidades de Informática e de Optimização e Teoria dos Sistemas. A primeira destas foi já defendida com sucesso na Faculdade Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra em Outubro de 2005, e estando prevista para finais de 2006 a submissão da segunda tese. Os trabalhos de investigação e desenvolvimento conducentes a estas teses foram inteiramente realizados no quadro deste projecto.

Os resultados alcançados, descritos neste relatório final, e que podem ser detalhadamente analisados nos artigos em anexo, excederam os objectivos inicialmente traçados na candidatura, tendo os indicadores de desempenho também largamente ultrapassado os previstos.

## **Publicações**

(publicações com origem no projecto, listadas por categorias)

### **Livros, volumes de proceedings e edições especiais de revistas científicas**

Antunes, C. Henggeler, Luís C. Dias (Eds.), "Managing Uncertainty in Decision Support Models". Proceedings of the 15<sup>th</sup> Mini-EURO Conference, Coimbra 2004. Em CD-ROM (ISBN 972-9044-52-X).

Antunes, C. Henggeler, Luís C. Dias (Eds.). *Special issue* da revista científica European Journal of Operational Research, dedicada à 15<sup>th</sup> Mini EURO Conference MUDSM 2004 - Managing Uncertainty in Decision Support Models. (No prelo; já disponível no site da Elsevier Science Publishers.)

Antunes, C. Henggeler, Luís C. Dias (Eds.). *Special issue* da revista científica Decision Support Systems, dedicada à 15<sup>th</sup> Mini EURO Conference MUDSM 2004 - Managing Uncertainty in Decision Support Models. (No prelo; já disponível no site da Elsevier Science Publishers.)

Antunes, C.H., J. Figueira, J. Clímaco (Eds.). "Multicriteria Decision Aiding". Proceedings of the 56th Meeting of the EURO Working Group on Multicriteria Decision Aiding, CCDRC/FEUC/INESCC, 2004 (ISBN 972-569-140-7).

Antunes, C. Henggeler, Luís C. Dias (Eds.). “Decisão”, Imprensa da Universidade de Coimbra (em preparação).

### **Teses e Dissertações**

Borges, Ana Rosa Pereira. "Abordagens interactivas para tratamento da incerteza em modelos de optimização multiobjectivo para apoio à decisão". Tese de Doutoramento em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, especialidade de Informática, Universidade de Coimbra. [disponível em [http://www.inescc.pt/documentos/dissertations/Doutoramento\\_ARPBorges.pdf](http://www.inescc.pt/documentos/dissertations/Doutoramento_ARPBorges.pdf)]

Silva, R. T. "Planeamento florestal, modelos de programação inteira multiobjectivo". Dissertação de Mestrado em Gestão da Informação. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, 2004.

### **Publicações em revistas científicas e capítulos de livros (com arbitragem pelos pares)**

Alves, M. J., J. Clímaco, C. Henggeler Antunes, H. Jorge, A. G. Martins. "Stability analysis of efficient solutions in multiobjective integer programming: a case study in load management". Aceite para publicação em *Computers and Operations Research*.

Alves, M. J., J. Clímaco. "Aplicação de uma abordagem interactiva baseada em pontos de referência a um problema multiobjectivo de localização-transporte". *Engevista*, vol. 7, nº. 1, 2005.

Alves, M. J., M. Almeida. "MOTGA: A multiobjective Tchebycheff based genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem". Aceite para publicação em *Computers and Operations Research*.

Alves, M.J., J. Clímaco. "A note on a decision support system for multiobjective integer and mixed-integer programming problems". *European Journal of Operational Research* European, vol. 155, 258-265, 2004.

Alves, M.J., J. Clímaco. "A Review of Interactive Methods for Multiobjective Integer and Mixed-Integer Programming". Aceite para publicação em *European Journal of Operational Research*.

Barrico, C., C. Henggeler Antunes, "An Evolutionary Approach for Assessing the Degree of Robustness of Solutions to Multi-Objective Models", In: Y. S. Ong, J. Yaochu, Y. Shengxiang (Eds.), "Evolutionary Computation in Dynamic and Uncertain Environments", Series on Studies in Computational Intelligence, Springer (aceite para publicação).

Borges, A. R., C. Henggeler Antunes, "A fuzzy multiple objective decision support model for energy-economy planning", *European Journal of Operational Research*, vol. 145, nº. 2, 304-316, 2003.

Borges, A. R., C. Henggeler Antunes. "A weight space-based approach to fuzzy multiple-objective linear programming". *Decision Support Systems*, vol. 34, 427-443, 2003. [Este artigo foi galardoado ex-aequo com o Prémio Isabel Themido no 11º Congresso Português de Investigação Operacional, Porto, 2004.]

Clímaco, J. "A critical reflection on optimal decision", *European Journal of Operational Research*, vol. 153, 506-516, 2004.

Clímaco J., L. C. Dias, "An approach to support negotiation processes with imprecise information multicriteria additive models", *Group Decision and Negotiation*, Vol. 15, No. 2, pp. 171-184, 2006.

Clímaco, J., J. Craveirinha. "Multicriteria Analysis in Telecommunication Network Planning and Design - Problems and Issues". In: J.Figueira, S. Greco, M. Ehrgott (Editors), "Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys", Chapter 22, Springer, 2005.

Clímaco, J., M. Pascoal, J. Craveirinha, M. E. Captivo. "Internet Packet Routing – Application of a K-quickest Path Algorithm". European Journal of Operational Research (aceite para publicação).

Damart, S., L. C. Dias, V. Mousseau, "Supporting Groups in Sorting Decisions: Methodology and Use of a Multi-criteria Aggregation-Disaggregation DSS". Aceite para publicação em Decision Support Systems.

Dias, J., M. E. Captivo, J. Clímaco. "Efficient Primal-Dual Heuristic for a Dynamic Location Problem", European Journal of Operational Research (aceite para publicação).

Dias, L. C., J. N. Clímaco. "Dealing with imprecise information in group multicriteria decisions: A methodology and a GDSS architecture". European Journal of Operational Research, vol. 160, no. 2, 291-307, 2005.

Dias, L. C., V. Mousseau, "Inferring Electre's Veto-Related Parameters from Outranking Examples", European Journal of Operational Research, Vol. 170, No. 1, pp. 172-191, 2006.

Dias, L., J. Clímaco. "Exploring the consequences of imprecise information in choice problems using Electre". In "Aiding Decisions with Multiple Criteria - Essays in Honor of Bernard Roy ", D. Bouyssou, E. Jacquet-Lagrèze, P. Perny, R. Slowinski, D. Vanderpooten, Ph. Vincke (Eds.), 175-193, Kluwer Academic Publishers, 2002.

Gouveia, M. C., L. C. Dias, C. Henggeler Antunes. "DEA and multiple criteria decision analysis with imprecise information for efficiency evaluation". Aceite para publicação em Journal of the Operational Research Society

Jesús, E.N., J. C. Rodrigues, C. Henggeler Antunes. "A multicriteria decision support system for housing evaluation". Aceite para publicação em Decision Support Systems.

Martins, L., J. Craveirinha, J. Clímaco, T. Gomes. "Implementation and performance of a new multiple objective dynamic routing method for multiexchange networks". Journal of Telecommunications and Information Technology, vol. 3, 60-66, 2003.

Martins, L., J. Craveirinha, J. Clímaco, T. Gomes. "On A Bi-dimensional dynamic alternative routing method". European Journal of Operational Research, vol. 166, 828-842, 2005. (Feature Issue on Advances in Complex System Modeling.)

Oliveira, C., C. Henggeler Antunes. "A Multiple Objective Model to Deal with Energy-Environment Interactions". European Journal of Operational Research, vol 153, 370-375, 2004. [Este artigo foi galardoado ex-aequo com o Prémio Isabel Themido no 12º Congresso Português de Investigação Operacional, Lisboa, 2006.]

Oliveira, C., C. Henggeler Antunes. "Multiple objective linear programming models with interval coefficients – an illustrated overview". Aceite para publicação em European Journal of Operational Research.

Pascoal, M., M. E. Captivo, J. Clímaco. "An Algorithm for Ranking Quickest Simple Paths". Computers and Operations Research, vol. 32, 509-520, 2005.

### **Publicações proceedings de conferências (com arbitragem pelos pares)**

Alves, M. J., J. N. Clímaco. "Discussão sobre um SAD baseada na sua aplicação a um problema multiobjectivo de localização-transporte". Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. São João del-Rei, Brasil, Novembro 2004.

Alves, M. J., M. Almeida. "A new genetic algorithm for the multiobjective multidimensional knapsack problem". Proceedings of MIC 2005 - The 6th Metaheuristics International Conference, 32-3, Viena, Austria, 2005.

Antunes, C. Henggeler. "On the Use of Parametric Diagrams to Deal with Uncertainty in Multi-Criteria Problems". Posters of the International Conference on Uncertainty Modelling in Knowledge-Based Systems, 3-4, Casa Editrice Università "La Sapienza", Julho 2004.

Antunes, C. H., S. Lucas, J. Clímaco. "Robust solutions for MOLP problems using interval programming". Proceedings of the 11th IPMU - International Conference on Uncertainty Modelling in Knowledge-Based Systems, Paris, Julho 2006.

Barrico, C., C. Henggeler Antunes. "A New Approach to Robustness Analysis in Multi-Objective Optimization". Proceedings of the MOPGP'06 - 7th International Conference on Multi-Objective Programming and Goal Programming, Tours, França, Junho 2006.

Barrico, C., C. Henggeler Antunes. "Robustness Analysis in Multi-Objective Optimization Using a Degree of Robustness Concept". Proceedings of the 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 6778-6783, Vancouver, Canadá, Julho 2006.

Borges, A. R., C. Henggeler Antunes. "Stability of efficient solutions against weight changes in multi-objective linear programming models". Proceedings of the MOPGP'06 - 7th International Conference on Multi-Objective Programming and Goal Programming, Tours, França, Junho 2006.

Borges, A. R., C. Henggeler Antunes. "Tolerance and critical regions of reference points: a study of bi-objective linear programming models". Proceedings of the 11th IPMU - International Conference on Uncertainty Modelling in Knowledge-Based Systems, Paris, Julho 2006.

Captivo, M. E., J. Clímaco. "Problemas de Localização Multicritério: Discussão de Alguns Casos". Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, pp 1086-1098, São João del-Rei, Brasil, Novembro 2004.

Clímaco, J., L. C. Dias. "An approach to support negotiation processes with imprecise information multicriteria additive models". In: V. Nastase and S. Szpakowicz (Eds.), Proceedings of the Workshop on Formal and Informal Information Exchange in Negotiations - FINEXIN 2005, School of Information Technology and Engineering, University of Ottawa, Canada, pp. 88-96, 2005. \*

Clímaco, J. "Operations Research challenges in the age of the precaution principle". Workshop "Promoting Ethics in OR", INSEAD, Fontainebleau, France, 48-51, 2003.

Clímaco, J., D. Cardoso, J. F. Sousa. "Reflexões sobre o Ensino da Pesquisa Operacional". Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, pp 2813-2825, São João del-Rei, Novembro 2004.

Clímaco, J., J. Craveirinha, M. Pascoal. "Routing Calculation in Multimedia: A Procedure Based on a Bicriteria Model", Proceedings of ECCOMAS 2004, European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Jyväskylä, Finlândia, P. Neittaanmäki, T. Rossi, S. Korotov, E. Oñate, J. Périaux and D. Knörzer (Eds.), 2004.

Clímaco, J., M. Pascoal, J. Craveirinha, M. E. Captivo. "Internet packet routing: application of a quickest path algorithm method". Proceedings of The Third International Conference on Decision Support for Telecommunications and Information Society, National Institute for Telecommunications, Warsaw, Poland, 29-36, 2003.

Clímaco, J., Maria João Alves, C. Henggeler Antunes, H. Jorge, A. G. Martins. "A Multicriteria Approach for the Choice of Remote Load Control Strategies". CSM'2004, 18th Workshop on Methodologies and Tools for Complex System Modeling and Integrated Policy

Assessment, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, Setembro 2004. \*

Clímaco, J. J. Craveirinha, M. Pascoal, "An Automatic Reference Point-Like Methodology for Multicriteria Shortest Path Problems", Proceedings of the 6th International Symposium on Knowledge and Systems Sciences - KSS'2005, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 31-40, Agosto 2005.

Costa, G., M. E. Captivo, J. Clímaco. "Capacitated Single Allocation Hub Location Problems: A Bicriteria Approach". Preliminary Proceedings of the Fourth International Conference on Decision Support for Telecommunications and Information Society, pp. 161-172, 2004.

Craveirinha, J., L. Martins, J. Clímaco, L. Jorge. "On the performance analysis of a heuristic approach dedicated to a multiobjective dynamic routing method". Proceedings of The Third International Conference on Decision Support for Telecommunications and Information Society, National Institute for Telecommunications, Warsaw, Poland, 1-13, 2003.

Craveirinha, J., J. Clímaco. "How and why to consider explicitly multiple points of view in the evaluation of telecommunications planning and management problems". Business Excellence I - Performance Measures, Benchmarking and Best Practices in the New Economy, G. D. Putnik and A. Gunaserakan (Eds.), 73-78, University of Minho, Braga, 2003.

Craveirinha, J., R. Girão, J. Clímaco, "A Meta-Model for Multiobjective Routing in MPLS", Proceedings of the Fifth International Conference on Decision Support for Telecommunications and Information Society – DSTIS'05, 11-34, Varsóvia, Polónia Setembro de 2005.

Damart, S., L. C. Dias, V. Mousseau. "On sorting with aggregation/disaggregation approaches in contexts with multiple decision-makers". "Managing Uncertainty in Decision Support Models". Proceedings of the 15<sup>th</sup> Mini-EURO Conference; C. Henggeler Antunes and Luís C. Dias (Eds.), Setembro 2004, Coimbra (em CD-ROM).\*

Damart, S., L. C. Dias, V. Mousseau. "Supporting groups in sorting decisions: methodology and use of a multi-criteria aggregation-disaggregation DSS". 61<sup>st</sup> Meeting of the EURO Working Group on Multicriteria Aid for Decisions, Luxemburgo, Março 2005.

Dias, J., M. E. Captivo, J. Clímaco. "Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão dedicado ao estudo de problemas de localização dinâmica de equipamentos para transferência, tratamento e deposição de resíduos sólidos". Actas do XXXV SBPO, Congresso da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, Natal, Brasil, Novembro 2003. (Em CD-ROM).

Dias, J., M. E. Captivo, J. Clímaco. "Dynamic Multi-Level Capacitated and Uncapacitated Location Problems: an approach using primal-dual heuristics", Proceedings of INOC – International Network Optimization Conference, B1, pp. 227-234, 2005.

Dias, J., M. E. Captivo, J. Clímaco. "A Solid Waste Treatment System: Models and Heuristics", ISOLDE X - Tenth International Symposium on Locational Decisions, Sevilha, Junho 2005.

Gouveia, M. C., L. C. Dias, C. Henggeler Antunes. "DEA and multiple criteria decision analysis with imprecise information for efficiency evaluation". In "Managing Uncertainty in Decision Support Models", Proceedings of the 15<sup>th</sup> Mini-EURO Conference; C. Henggeler Antunes and Luís C. Dias (Eds.), Setembro 2004, Coimbra (em CD-ROM). \*

Martins, L., J. Craveirinha, J. Clímaco "Dealing with Complexity in a Multiobjective Dynamic Routing model for Multiservice Networks – A heuristic Approach". "Managing Uncertainty in Decision Support Models". Proceedings of the 15<sup>th</sup> Mini-EURO Conference; C. Henggeler Antunes and Luís C. Dias (Eds.), Setembro 2004, Coimbra (em CD-ROM).

Martins, L., J. Craveirinha, J. Clímaco, T. Gomes. "Implementation and performance of a new multiple objective dynamic routing method for multiexchange networks". Proceedings of

The Second International Conference on Decision Support for Telecommunications and Information Society, National Institute for Telecommunications, Warsaw, Poland, 145-159, 2002.

Martins, L., J. Craveirinha, J. Clímaco. "A new multiobjective dynamic routing method for multiservice networks - modelling and performance". Proceedings of the International Network Optimization Conference (INOC 2003), Paris, 404-409, 2003.

Oliveira, C., C. Henggeler Antunes. "An overview of interval programming in MOLP models with focus on the optimizing approach". "Managing Uncertainty in Decision Support Models". Proceedings of the 15<sup>th</sup> Mini-EURO Conference; C. Henggeler Antunes and Luís C. Dias (Eds.), Setembro 2004, Coimbra (em CD-ROM).

Oliveira, C., C. Henggeler Antunes. "A multiobjective model with uncertain data for macroeconomic - energy - environment studies". 29th IAEE International Conference, Potsdam, Alemanha, Junho 2006.

Oliveira, C., C. Henggeler Antunes. "An interactive procedure to tackle uncertainty in MOLP with interval coefficients". Proceedings of the MOPGP'06 - 7th International Conference on Multi-Objective Programming and Goal Programming, Tours, França, Junho 2006.

Pascoal, M., M. E. Captivo, J. Clímaco. "Ranking Optimal Paths", Proceedings of INOC – International Network Optimization Conference, B2, pp. 615-621, 2005.

Silva, R. T., M. João Alves, J. N. Clímaco. "A discussion on a forest management case study based on an interactive analysis of a multiobjective integer model". "Managing Uncertainty in Decision Support Models". Proceedings of the 15<sup>th</sup> Mini-EURO Conference; C. Henggeler Antunes and Luís C. Dias (Eds.), Setembro 2004, Coimbra (em CD-ROM).

#### **Apresentações em conferências (sem *Proceedings*)**

Alves, M. J., J. Clímaco. "Um sistema de apoio à decisão para problemas de programação inteira e inteira-mista". 10º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Guimarães, Março 2002.

Barrico, C., C. Henggeler Antunes. "Análise de robustez em optimização evolucionária multi-objectivo – uma aplicação em redes eléctricas de distribuição", 12º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Lisboa, 2006.

Borges, A. R., C. Henggeler Antunes. "Estabilidade das soluções eficientes face à variação dos pesos em modelos de programação linear multiobjectivo", 12º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Lisboa, 2006.

Clímaco, J., J. Craveirinha. "On the role of Operations Research Planning Tools in a Deregulated Environment". 21<sup>st</sup> European Conference on Operational Research (EURO 2006), Reykjavik, Islândia, Julho 2006.

Dias, J., M. E. Captivo, J. Clímaco. "Problemas dinâmicos de localização num sistema de recolha e tratamento de resíduos sólidos urbanos: modelos e heurísticas". 11º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Porto, Abril 2004.

Dias, L., J. Clímaco. "A multicriteria DSS for group decisions using value functions with imprecise information". 16<sup>th</sup> Triennial Conference of the International Federation of Operational Research Societies, University of Edinburgh, Scotland, UK, Julho 2002.

Gomes, A., C. Henggeler Antunes, A. Martins "A multiple objective model for the identification of load management actions", 21st Conference on Operational Research, Reykjavik, Islândia, Julho 2006.



Gouveia, M. C., L. Dias, C. Henggeler Antunes. "DEA e análise multicritério com informação imprecisa para avaliação de eficiência". 11º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Porto, Abril 2004.

Oliveira, C., C. Henggeler Antunes "Programação intervalar em modelos lineares multiobjectivo". 11º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Porto, Abril 2004.

Oliveira, C., C. Henggeler Antunes. "Energy-environment modeling – a multiobjective approach to deal with uncertain coefficients". XVIIIth International Conference on Multiple Criteria Decision Making, Chania, Grécia, Junho 2006.

Oliveira, C., C. Henggeler Antunes. "Um algoritmo interactivo para problemas de programação linear multi-objectivo com coeficientes intervalares", 12º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Lisboa, 2006.

Pascoal, M., M. E. Captivo, J. Clímaco, J. Craveirinha. "Aplicação de um algoritmo para os K caminhos mais rápidos ao encaminhamento de dados na Internet". 11º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Porto, Abril 2004.

Pascoal, M., J. Clímaco, J. Craveirinha. "A Hierarchical Multicriteria Routing Model in Multimedia Networks". 21<sup>st</sup> European Conference on Operational Research (EURO 2006), Reykjavik, Islândia, Julho 2006.

Silva, R., M. J. Alves, J. Clímaco. "Aplicação de métodos interactivos de programação inteira mista multiobjectivo em problemas de planeamento florestal". 11º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Porto, Abril 2004.

\* Esta publicação é uma versão preliminar da publicação em revista com o mesmo título.

**FCT** Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DO ENSINO SUPERIOR Portugal



União Europeia – Fundos Estruturais



União Europeia – Fundos Estruturais



Governo da República Portuguesa