

# **Apoio à Decisão em Programação Linear Multiobjectivo. Um Modelo para o Planeamento Estratégico de Redes de Telecomunicações**

## **Resumo dos capítulos**

---

### **CAPÍTULO I**

#### **APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO**

A complexidade dos problemas reais que surgem nas sociedades tecnológicas modernas é essencialmente caracterizada pela existência de múltiplos critérios, reflectindo aspectos económicos, sociais, políticos, físicos, de engenharia, administrativos, psicológicos, éticos, estéticos, etc., num dado contexto. Os modelos matemáticos, bem como a percepção dos problemas por parte dos decisores, tornam-se mais realistas se os diferentes aspectos da realidade forem explicitamente considerados. Dada a incomparabilidade de soluções não dominadas através da ordem (parcial) natural, em problemas multicritério torna-se necessário fazer intervir no processo de pesquisa não apenas meios técnicos de calcular soluções não dominadas, mas também informação sobre as preferências do decisor. A aproximação interactiva, dando ao decisor um papel central no processo de decisão, é a mais adequada para a abordagem deste tipo de problemas, contribuindo quer para minimizar o esforço computacional quer o esforço cognitivo exigido ao decisor. O problema de apoio à decisão multicritério é enquadrado no contexto da emergência de uma nova disciplina situada na confluência de várias áreas, denominada engenharia de apoio à decisão, tendo por objectivo a concepção e desenvolvimento de sistemas interactivos de apoio à decisão computacionais dedicados a problemas de decisão concretos, sobretudo em situações complexas e mal estruturadas. As áreas de aplicação mais significativas de modelos e métodos multicritério são abordadas e é apresentada uma breve nota histórica da evolução da área de apoio à decisão multicritério, desde os trabalhos precursores até à actualidade. A organização da tese é descrita, com um breve sumário do conteúdo de cada capítulo, colocando em relevo as suas contribuições.

---

### **CAPÍTULO II**

#### **PROGRAMAÇÃO LINEAR MULTIOBJECTIVO CONCEITOS FUNDAMENTAIS, REPRESENTAÇÃO DE PREFERÊNCIAS E MÉTODOS INTERACTIVOS**

Neste capítulo são apresentados os fundamentos da aproximação interactiva a problemas de decisão multiobjectivo, colocando em relevo quer as vantagens quer as principais críticas de que esta abordagem é alvo. Os métodos interactivos são categorizados com base na estratégia para reduzir o âmbito da pesquisa, nas técnicas de cálculo de soluções eficientes e no seu carácter estruturado face ao tipo de intervenção permitida ao decisor. Os conceitos fundamentais de programação linear multiobjectivo são revistos e são discutidas as principais formas de construção de funções escalares substitutas para cálculo de soluções eficientes. As mais importantes formas de representação das preferências do decisor são apresentadas, colocando em evidência as suas relações, bem como os diferentes tipos de atitude do decisor que podem ser usadas para captar. Descrevem-se os métodos interactivos considerados representativos das diferentes estratégias, que constituem o núcleo fundamental da componente procedimental da base de métodos apresentada no capítulo III. As características desejáveis em métodos interactivos são referidas, lançando as bases para a necessidade e interesse do desenvolvimento de bases de métodos integrando de forma flexível diferentes metodologias, tendo subjacentes distintas estratégias de redução do âmbito da pesquisa, técnicas de cálculo de soluções eficientes e informação apresentada ao e requerida do decisor.

---

### CAPÍTULO III

#### UMA BASE DE MÉTODOS INTERACTIVOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR MULTIOBJECTIVO

Os diversos métodos interactivos têm por base distintas estratégias para reduzir o âmbito da pesquisa, técnicas de cálculo de soluções eficientes e informação apresentada ao e requerida do decisor. Para responder à questão que método usar para estudar um dado problema multicritério, é necessária uma fase prévia de avaliação das metodologias e sua compatibilização com as características do problema e do decisor, tendo por objectivo desenvolver uma ferramenta computacional flexível de apoio à decisão, com a qual, por meio de experimentação, possam ser encontradas regularidades entre os métodos, o tipo de problemas, as diferentes fases do processo de decisão e as formas de informação requeridas do e apresentadas ao decisor. Na base de métodos TOMMIX são implementados métodos interactivos representativos de diferentes técnicas para pesquisar soluções não dominadas e distintas estratégias para reduzir o âmbito da pesquisa usando informação de preferências, e concebidos mecanismos de integração entre eles, permitindo tirar partido da sua combinação e da transferência de informação recolhida em cada um deles. Neste capítulo é descrita a base de métodos TOMMIX, são identificados os processos básicos que constituem a sua componente metodológica e explicitadas as transições entre métodos como um meio de aprendizagem do problema e de criação da estrutura de preferências do decisor.

---

### CAPÍTULO IV

#### ANÁLISE DE SENSIBILIDADE EM PROGRAMAÇÃO LINEAR MULTIOBJECTIVO UMA ABORDAGEM INTERACTIVA

A tomada de decisões num ambiente complexo, caracterizado pela existência de múltiplos critérios conflituosos, é influenciada por factores de incerteza que resultam da imprecisão e variações associadas aos dados de entrada, às inevitáveis imprecisões na fase de modelação, ou ao carácter evolutivo da estrutura de preferências do decisor durante o processo interactivo de decisão. Em problemas de decisão multicritério, estas fontes de incerteza devem ser tidas em conta explicitamente. A análise da "robustez" das soluções de compromisso consideradas satisfatórias pelo decisor é uma questão de grande importância, devendo constituir uma componente fundamental de ferramentas computacionais interactivas de apoio à decisão. Podem distinguir-se quatro abordagens básicas para lidar com questões ligadas à incerteza em processo de decisão baseados em modelos e métodos de programação matemática: teoria das probabilidades, teoria dos conjuntos difusos, programação intervalar e análise de sensibilidade. Neste capítulo é proposta uma abordagem interactiva de análise de sensibilidade para problemas de programação linear multiobjectivo, baseada na exploração do espaço dos pesos. As técnicas propostas permitem estudar variações da matriz dos coeficientes das funções objectivo e dos termos independentes das restrições, bem como avaliar o impacto da introdução de novas variáveis de decisão e novas restrições no modelo. O decisor tem a capacidade de modificar interactivamente os parâmetros do modelo, como uma forma de tentar ultrapassar a sub-optimalidade associada à optimização de um sistema imutável dado, incluindo a expansão do espaço de decisão.

---

## CAPÍTULO V

### UM MODELO PARA O PLANEAMENTO ESTRATÉGICO DA MODERNIZAÇÃO DE REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

Nos últimos anos as redes de telecomunicações têm estado sujeitas a inovações tecnológicas constantes, dando origem ao aparecimento de modos de comunicação multifacetados, e tornando mais atractivo para as administrações ou companhias operadoras de telecomunicações a oferta de novos serviços. O planeamento estratégico da modernização de redes de telecomunicações assume então uma enorme importância, não apenas pelos investimentos requeridos, mas também pelo respectivo impacto no desenvolvimento económico e social. Este tipo de problemas envolve aspectos conflituosos qualitativamente diversos, alguns dos quais não são directamente quantificáveis por um indicador económico. De facto, o problema do planeamento da evolução de redes de telecomunicações é claramente de natureza multicritério: aspectos económicos, tecnológicos e sociais devem ser explicitamente tidos em conta, de modo a que os decisores possam compreender a natureza conflituosa dos objectivos e os compromissos a serem feitos de modo a obter soluções (políticas de evolução) satisfatórias. Neste capítulo é proposto um modelo de programação linear multiobjectivo para planeamento estratégico da modernização de redes de telecomunicações, baseado num diagrama de transição de estados, cujos nodos caracterizam uma linha de assinante em termos das tecnologias de suporte e ofertas de serviços. O modelo considera três funções objectivo que quantificam o valor da evolução das linhas de assinante, o grau de modernização associado aos novos serviços (ambos a maximizar), e o custo da dependência externa associada às estratégias de evolução (a minimizar).

---

## CAPÍTULO VI

### PLANEAMENTO ESTRATÉGICO DA MODERNIZAÇÃO DE REDES DE TELECOMUNICAÇÕES UM EXEMPLO ILUSTRATIVO DO USO DE TOMMIX

Neste capítulo é apresentado um estudo de um problema de planeamento estratégico da modernização de redes de telecomunicações face à introdução de novas tecnologias de suporte e novas ofertas de serviços, baseado no modelo descrito no capítulo anterior. Através deste exemplo pretende mostrar-se como a base de métodos interactivos de programação linear multiobjectivo TOMMIX pode apoiar os decisores na avaliação das políticas de evolução. Embora se trate de um exemplo ilustrativo, cuja intenção fundamental é mostrar quer o interesse de um modelo considerando explicitamente diferentes critérios, quer as potencialidades de um sistema de apoio à decisão centrado em TOMMIX, e não o estudo de um caso real, os vários tipos de parâmetros foram quantificados por forma a estarem razoavelmente de acordo com valores reais, usando a (escassa) informação disponível na literatura da especialidade. Apesar destas dificuldades, o exemplo tem presente a preocupação de tentar os pontos de contacto possíveis com a realidade nacional. Os dados pretendem corresponder a uma cidade de tamanho médio num país em vias de desenvolvimento, onde existe disponível tecnologia analógica nacional, mas a tecnologia digital é na sua maior parte importada. Assumindo o papel de um hipotético decisor de uma administração ou companhia operadora de telecomunicações, tenta mostrar-se como a utilização de uma ferramenta computacional flexível pode ser um valioso auxiliar na compreensão de problemas caracterizados por múltiplos critérios, contribuindo para aumentar o grau de conhecimento e de confiança no modelo, que constituem questões fundamentais em estudos de carácter estratégico deste tipo.

---

## CAPÍTULO VII

### SOBRE A INTEGRAÇÃO DE BASES DE PROCEDIMENTOS INTERACTIVOS COM TÉCNICAS DE SISTEMAS PERICIAIS UMA ABORDAGEM CONSTRUTIVA

A integração de diferentes metodologias (envolvendo estratégias distintas para reduzir o âmbito da pesquisa, técnicas de solução e meios de comunicação de informação) no mesmo programa computacional é um passo essencial para desenvolver ferramentas de apoio à decisão mais eficazes. No prosseguimento desta via, as metodologias podem ainda ser desagregadas em processos básicos (constituindo uma "caixa de ferramentas"), que por sua vez são agregados de forma dinâmica e flexível na abordagem de um problema sob a forma de procedimentos que corporizam uma cadeia de diferentes tipos de processos básicos. Esta forma de integração de diferentes estratégias para pesquisar o universo das soluções não dominadas gera a necessidade de novos mecanismos de apoio ao decisor, nomeadamente no que se refere à utilização do conhecimento adquirido ao longo do processo interactivo de modo a auxiliá-lo na selecção dos procedimentos a

serem aplicados a um dado tipo de problema, ou como tirar partido da transferência de informação entre os procedimentos de modo a melhorar a representação cognitiva do problema. Estas questões forneceram a motivação para o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão integrando procedimentos interactivos de programação linear multiobjectivo com técnicas de sistemas periciais destinadas a sugerir estratégias de pesquisa baseadas nas características do problema, nas preferências do decisor, nas características dos procedimentos disponíveis, no conhecimento geral sobre o domínio e na aprendizagem do problema. Estas estratégias consistem em tirar partido dos procedimentos e mecanismos de interacção para guiar o processo de decisão interactivo para regiões onde se localizem as soluções satisfatórias de compromisso que melhor correspondam às preferências evolutivas do decisor.

---

## CAPÍTULO VIII

### CONCLUSÕES E PISTAS DE DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são revistos os principais assuntos abordados neste trabalho, apresentadas as conclusões mais significativas dele decorrentes, colocadas em evidência as suas contribuições e apontadas pistas de investigação futura nesta área. Este trabalho foi desenvolvido segundo quatro vectores fundamentais: - integração de métodos interactivos de apoio à decisão em problemas de programação linear multiobjectivo representativas de diversas estratégias de pesquisa de soluções não dominadas, no quadro operacional de uma base de métodos. Foram concebidos mecanismos de integração entre os métodos, permitindo tirar partido da sua combinação e da transferência de informação recolhida em cada um deles ao longo do processo de decisão. - Desenvolvimento e implementação computacional de técnicas interactivas de análise de sensibilidade em problemas de programação linear multiobjectivo, privilegiando a simplicidade computacional e a interactividade gráfica, de modo a permitir visualizar dinamicamente o comportamento das soluções de acordo com a variação dos parâmetros de perturbação através das alterações das respectivas regiões de indiferença no espaço dos pesos e da projecção do espaço dos objectivos. - Concepção e realização de testes computacionais com um modelo de programação linear multiobjectivo, dedicado ao planeamento estratégico da modernização de redes de telecomunicações face à introdução de novas tecnologias de suporte e de novos serviços. Este modelo considera três funções objectivo que quantificam o valor associado à evolução das linhas de assinante, o grau de modernização associado à desejabilidade de novos serviços, e o custo da dependência externa associada às estratégias de evolução, e categorias de restrições que expressam aspectos de mercado, económicos, técnicos e sociais. - Discussão de um enquadramento conceptual, destinado a estabelecer algumas linhas de orientação para o desenvolvimento de sistemas interactivos de apoio à decisão integrando métodos de programação linear multiobjectivo e técnicas de sistemas periciais, onde os métodos são desagregados em processos básicos que possam ser agregados de forma dinâmica e flexível na abordagem de um problema, sob a forma de procedimentos que corporizam uma cadeia de diferentes tipos de processos básicos.