
CAPÍTULO 1

Introdução Geral

1. O problema multicritério

A resolução de muitos dos problemas que surgem no dia a dia consiste em escolher entre várias alternativas viáveis; ou seja, tomar decisões. A maioria destes problemas é de difícil resolução, uma vez que envolvem múltiplos critérios, geralmente conflituosos entre si. No entanto, em situações de grande pressão, como sejam as situações de crise, opta-se usualmente por se utilizar modelos muito simples, em que apenas um dos critérios de decisão assume relevância, colocando de lado os restantes aspectos do problema, reduzindo-o a um problema de optimização do objectivo associado ao critério “relevante” — geralmente o que se encontra associado à questão económica.

Exemplos de problemas que envolvem múltiplos critérios são :

- (Ex.1) Escolher o melhor local para a construção de uma ponte, em que os critérios poderiam ser o custo, o impacto sobre o rio (ambiental e utilização do rio), o volume de tráfego, o impacto sobre as margens, a estética, o custo da travessia, etc..
- (Ex.2) Encontrar o trajecto mais económico, para efectuar a entrega/recolha de produtos aos clientes duma determinada firma, em que os critérios poderiam ser o tempo, a distância, o atraso, o tráfego, etc..

Por existir conflito entre os critérios, a entidade que tem a responsabilidade de decidir, o agente de decisão (AD), tem de ponderar os compromissos a efectuar com vista a encontrar a solução que lhe pareça mais satisfatória. Neste caso, estamos perante um **problema multicritério**.

Durante a década de 50, com o desenvolvimento da Investigação Operacional (IO) como disciplina científica, pensou-se que esta iria desenvolver métodos e técnicas capazes de resolver a maioria dos problemas de decisão que se colocam a vários níveis, quer na indústria, quer no sector de serviços.

Como a maior parte dos problemas com vários critérios surgia no seio das empresas, muitos autores sobrevalorizaram a utilização de modelos matemáticos de optimização, pois consideravam que todos os modelos se baseavam na optimização duma função objectivo : função valor ou utilidade¹. A formulação da função objectivo era um problema considerado menor, pois a unidade monetária aparecia como a única medida de “benefício social”, como se pode verificar, por exemplo, em Hitch : “A medida monetária, apropriada tanto para receitas como para despesas, permite, em geral, a utilização de uma única função objectivo : os lucros da operação ou, a um nível mais lato, os lucros da empresa” [7].

Porém, no início da década de 70, com a complexidade crescente do ambiente sócio-económico que caracteriza as sociedades tecnológicas modernas, verificou-se que quase todos os problemas mais importantes envolviam vários critérios, geralmente conflituosos entre si, tornando-se difícil a formulação, modelação e obtenção da solução para o problema. Agora, as preocupações dos decisores não se limitam apenas ao campo económico em sentido restrito, mas, pelo contrário, já abrangem outros campos como o político, o social, o meio ambiente, o estético e outros, em que a qualidade de vida da sociedade humana ganha foros de cidadania cada vez mais fortes.

Torna-se então necessário ponderar os vários conflitos existentes entre os critérios, de forma a seleccionar a solução que melhor reflecta as preferências do AD.

Assim sendo, surgiu a necessidade de desenvolver técnicas de apoio à decisão capazes de ter em conta a complexidade e natureza conflituosa dos critérios em presença em problemas reais.

O problema multicritério está relacionado com os métodos e procedimentos, pelos quais os vários critérios podem ser formalmente associados no processo de análise. De uma forma geral, estes problemas dividem-se em problemas multiatributo e multiobjectivo. Os primeiros caracterizam-se pela existência de um número finito de alternativas explicitamente conhecidas, a avaliar em presença de múltiplos critérios. Os problemas multiobjectivo referem-se aos casos em que as alternativas são definidas implicitamente por um conjunto de restrições e os critérios são operacionalizados através de funções a otimizar [25], [7].

¹ Expressão analítica construída a partir da parametrização dos vários critérios.

A situação referida em (Ex.1) corresponde a um problema multiatributo, pois as alternativas a considerar são explicitamente conhecidas à partida. A situação referida em (Ex.2) corresponde a uma problema multiobjectivo, uma vez que as alternativas possíveis são implicitamente definidas por um conjunto de restrições matemáticas.

2. O problema multiobjectivo

De uma forma geral, um problema de programação linear multiobjectivo (PLMO) pode ser formulado do seguinte modo [7] :

$$\text{Maximizar } f_1(x) = c_1 x$$

$$\text{Maximizar } f_2(x) = c_2 x$$

...

$$\text{Maximizar } f_h(x) = c_h x$$

$$\text{sujeito a } x \in X = \{ x \in \mathfrak{R}^n : x \geq 0, Ax = b, b \in \mathfrak{R}^m \}$$

em que,

h é o número de funções objectivo (critérios),

n é o número de variáveis do problema (de decisão e folga),

m é o número de restrições do problema,

X é a região admissível no espaço das decisões (ou das variáveis),

x é o vector das variáveis do problema ($x = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$ é solução admissível),

c_j ($j = 1, \dots, h$) é o vector dos coeficientes da função objectivo f_j ,

A é a matriz dos coeficientes tecnológicos ($m \times n$),

b é o vector dos termos independentes (recursos disponíveis ou requerimentos),

o que não implica perda de generalidade, pois mediante operações convenientes é sempre possível transformar qualquer problema num de maximização.

A região admissível no espaço das funções objectivo (o conjunto de todas as imagens dos pontos em X), pode ser definida da seguinte forma :

$$Z = \{ z \in \mathfrak{R}^h : z = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_h(x)), x \in X \}.$$

Na resolução de problemas com apenas um objectivo, procura-se encontrar a *solução óptima*, ou seja, a solução admissível que optimize a função objectivo, cujo valor é único, mesmo que existam soluções óptimas alternativas. Logicamente, em problemas com múltiplos objectivos, esse conceito não é aplicável, uma vez que uma solução admissível que optimize

um dos objectivos, não optimiza, em geral, os restantes objectivos, quando estes estão em conflito.

Na resolução de problemas multiobjectivo, pretende-se encontrar uma “*melhor*” *solução de compromisso* para o AD, que possa constituir uma *solução final* do problema de decisão. Desta forma, a noção de solução óptima é substituída pela noção de *solução não dominada* (também designada por *eficiente*, *óptima de Pareto* ou *não inferior*).

Uma solução admissível diz-se **dominada** por outra, se ao passar-se da primeira para a segunda existir “melhoria” de pelo menos um dos objectivos, permanecendo inalterados os restantes. Por outro lado, uma solução **não dominada** caracteriza-se por não existir uma outra solução admissível que melhore simultaneamente todos os objectivos, isto é, a melhoria num objectivo é alcançada à custa de piorar, pelo menos, um dos outros [7]. Matematicamente, tem-se :

- i) Sejam $x = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$ e $y = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n]^T$ duas soluções admissíveis de um problema multiobjectivo ($x, y \in X$). A solução x **domina** a solução y se e só se

$$f_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq f_j(y_1, y_2, \dots, y_n) \quad \text{para qualquer } j \text{ e,}$$

$$f_j(x_1, x_2, \dots, x_n) > f_j(y_1, y_2, \dots, y_n) \quad \text{para algum } j, \text{ com } j = 1, 2, \dots, h$$

- ii) Seja x uma solução admissível de um problema multiobjectivo ($x \in X$). A solução x diz-se **não dominada** se e só se não existir outra solução admissível y ($y \in X$) que domine x .

O conceito de eficiência é geralmente utilizado para pontos no espaço de decisão, enquanto o conceito de não dominância é utilizado para a respectiva imagem no espaço das funções objectivo. Ou seja, uma solução não dominada é a imagem de uma solução eficiente [7]. Matematicamente, tem-se :

- a) Uma solução admissível x^1 é **eficiente** ($x^1 \in X$) se e só se não existe outra solução admissível x^2 ($x^2 \in X$) tal que $f(x^2) \geq f(x^1)$ e $f(x^2) \neq f(x^1)$, em que $f = (f_1, f_2, \dots, f_h)$. Caso contrário, x^1 é **ineficiente** [25]. Ao conjunto das soluções eficientes, dá-se o nome de **fronteira eficiente** ou **conjunto de soluções não inferiores**.

- b) Seja $z^1 \in Z$. Então z^1 é **não dominado** se e só se não existe outro $z^2 \in Z$, tal que $z^2 \geq z^1$ e $z^2 \neq z^1$. Caso contrário, z^1 é um vector de objectivos **dominado** [25].

Uma solução de compromisso satisfatória para o problema multiobjectivo deverá ser eficiente, cujos valores das funções objectivo associados àquela solução são satisfatórios para o AD e de tal modo que seja aceitável como solução final do processo de decisão. Desta forma, é

apenas sobre o conjunto das soluções eficientes que deve recair a atenção do analista² e do AD.

Entre quaisquer duas soluções não dominadas verifica-se que a uma melhoria em pelo menos um dos objectivos se encontra sempre associado um sacrifício em pelo menos um dos outros objectivos. Isto é, verifica-se sempre uma compensação (“trade-off”) entre objectivos no conjunto das soluções não dominadas.

3. Métodos para resolver problemas multiobjectivo

Nos últimos anos tem sido dedicado um esforço considerável ao desenvolvimento de métodos para o cálculo de soluções não dominadas, tendo sempre em atenção o contributo que o AD pode fornecer na procura de tais soluções, através do seu sistema de preferências. Desta forma, excluindo o caso trivial em que existe uma solução que otimiza em simultâneo todos os objectivos, podem-se considerar 3 abordagens para resolver um problema multiobjectivo, consoante o sistema de preferências do AD é incorporado *a priori*, *a posteriori* ou *progressivamente*, no processo de decisão [7]:

- métodos em que é feita uma agregação *a priori* de preferências,
- métodos geradores das soluções eficientes (não há articulação de preferências),
- métodos de “articulação progressiva de preferências” (interactivos).

Nos do primeiro tipo, o AD começa por indicar as suas preferências, a partir das quais é possível transformar o problema inicial num problema monocritério, por exemplo, através da construção de uma função utilidade. Desta forma, apesar de existir modelação multicritério do problema, pretende-se otimizar a função utilidade, cuja solução óptima será a solução final. A maior dificuldade deste processo está no facto de não ser possível, na maioria dos casos, obter uma representação matemática da função utilidade por parte do AD. Ou seja, é difícil obter os parâmetros para construir uma função utilidade que agregue, numa única dimensão, todos os critérios em análise.

Nos do segundo tipo, são calculadas todas as soluções eficientes do problema (ou parte), que depois são colocadas à disposição do AD para serem avaliadas. As críticas de que são alvo estes métodos devem-se ao elevado esforço computacional necessário para o cálculo exaustivo das soluções eficientes.

² Entidade responsável pela análise ou estudo do problema.

Nos métodos do terceiro tipo, o AD expressa as suas preferências através de um processo de diálogo com a componente procedimental, de forma a conduzir a pesquisa para a zona da região admissível onde se localizam as soluções que melhor correspondem ao seu sistema de preferências. Na prática, este tipo de métodos tem mostrado ser o mais eficaz na pesquisa de uma solução final, através da utilização de processos de interacção Homem-máquina, alternando fases de cálculo com fases de diálogo. A intervenção humana no processo de pesquisa da solução é uma das características que distingue os métodos de programação multiobjectivo dos tradicionais da programação matemática (com um só objectivo).

Os métodos que utilizam o cálculo exaustivo para identificar o conjunto de soluções eficientes exigem um elevado esforço computacional e não têm em atenção a experiência humana, que poderia servir de apoio na resolução do problema, visto existirem múltiplos objectivos em conflito, e consequentemente, um grande grau de subjectividade no problema.

Os métodos interactivos, aproveitando a intervenção do AD, reduzem a zona de pesquisa, de forma quer a minimizar o esforço computacional, quer o esforço do AD no processamento da informação.

4. Sistema de apoio à decisão

O *apoio à decisão* é muitas vezes definido como a geração e selecção de opções ou alternativas. Também há quem o relacione com a gestão estruturada de grandes volumes de informação [21]. Outros há ainda, como Andriole, que encaram a questão como um conjunto de funções integradas que suportam todas as fases do processo de tomada de decisões, englobando componentes como a recolha de informação e a posterior avaliação [2].

O *apoio à decisão*, segundo Roy [22], é uma actividade que, baseando-se em modelos claramente explícitos e totalmente formalizados, procura obter elementos de resposta às questões que um interveniente no processo de decisão coloca a si próprio. Elementos estes que são concorrentes para esclarecer a decisão e, normalmente, para estabelecer um comportamento para aumentar o grau de coerência entre a evolução de todo o processo, a definição dos objectivos e o próprio sistema de valores, ao serviço dos quais é desenvolvida essa actividade.

A partir do final da década de 80, tem-se observado um desenvolvimento considerável de métodos interactivos, os quais têm vindo a constituir meios de apoio à tomada de decisão,

em inúmeros problemas em áreas como a engenharia, a gestão, ou o planeamento nos sectores público e privado. Na verdade, a partir daqui verificou-se, com mais evidência, a convergência de ideias e a eliminação de barreiras entre diferentes disciplinas, que em alguns casos competiam entre si — os cientistas de diferentes áreas passaram a participar cada vez mais em programas de investigação multidisciplinar. As primeiras contribuições vieram das áreas do processamento de informação e da matemática, para depois se estenderem a campos como o da inteligência artificial, do comportamento organizacional e humano, etc. [21].

A característica essencial dos métodos interactivos é a existência de fases de cálculo, que alternam com fases de diálogo. Em cada iteração, o AD analisa uma ou mais soluções, que ao serem confrontadas com as suas preferências, contribuem para a orientação do processo de pesquisa de novas soluções, durante o processo de decisão. Desta forma, podem ser tomados diferentes caminhos, conduzindo o processo de cálculo para a zona da região admissível onde se encontram as “melhores” soluções, segundo a perspectiva do AD. A condição de paragem do processo interactivo é a satisfação do AD com o conhecimento adquirido sobre o problema, que lhe permite tomar uma opção fundamentada, e não o teste de convergência de alguma função utilidade.

O princípio subjacente a um *sistema de apoio à decisão (SAD)* é ajudar interactivamente o AD em todo o processo de decisão, reduzindo progressivamente o âmbito da pesquisa e minimizando tanto o esforço computacional, como o esforço mental que é exigido ao AD.

A interacção Homem-máquina é uma componente fundamental de um SAD, tendo como objectivos contribuir para a criação do sistema de preferências do AD e ampliar as suas capacidades de processamento de informação e decisão. A interacção Homem-computador tem vindo a ganhar grande importância no domínio do apoio à decisão, em particular em problemas com vários critérios. Isto deve-se à evolução acelerada que os meios tecnológicos têm sofrido, o que permite uma incorporação mais fácil de técnicas de interacção e visualização [3].

De facto, a evolução que a informática tem sofrido, especialmente os computadores, cada vez mais potentes e mais baratos, tem ajudado o desenvolvimento de interfaces Homem-computador, melhorando os aspectos relacionados com o diálogo num SAD. Desta forma, o AD pode dialogar directamente com o computador, utilizando interfaces que se baseiam em representações gráficas dos problemas e que permitem a actuação do utilizador sobre esse gráficos, através de dispositivos adequados, havendo a possibilidade de interrogação e experimentação.

No desenvolvimento computacional de sistemas de apoio à decisão, deve existir um equilíbrio entre as potencialidades que são oferecidas ao utilizador e a facilidade de aprendizagem e uso. Para isso, deve ter-se em atenção os limites das capacidades humanas (sobretudo a memória e paciência), dando relevo às suas principais potencialidades (nomeadamente a inspeção visual) [3].

De forma a tirar partido das capacidades de processamento de informação do AD, as técnicas de diálogo devem utilizar extensivamente gráficos e oferecer um ambiente flexível e amigável servindo-se de todos os recursos do computador, mantendo sempre o utilizador no controlo do processo de pesquisa de soluções. A informação numérica detalhada deve encontrar-se acessível, sempre que requerida pelo AD. O utilizador deve poder controlar o comportamento do programa, através de operações simples.

Segundo Sage [23], sob o ponto de vista tecnológico, um SAD é composto por 3 níveis: os utensílios (computadores, programas e métodos, nomeadamente de investigação operacional, necessários para a implementação do sistema), o gerador (geralmente uma linguagem de alto nível que permite a construção do sistema específico) e os mecanismos de controlo do AD.

5. Problemas com estrutura de rede

Quando se fala em “redes”, pensa-se logo numa grande quantidade de dados estruturados de uma forma própria, ocorrendo imediatamente as redes físicas (telefónica, eléctrica, rodoviária, ferroviária, de esgotos, de televisão por cabo, informática, etc.), pois são as que melhor identificam esta estrutura.

Em todos estes casos pretende-se enviar alguma entidade (electricidade, um produto para consumir, uma pessoa ou um veículo, uma mensagem, etc.) de um ponto para outro numa rede específica e da forma mais eficiente possível, tanto no sentido de fornecer um bom serviço aos utilizadores da rede, como de utilizar uma transmissão (normalmente dispendiosa) fácil e eficaz [1].

A resolução destes problemas, assim como de muitos outros, requer uma modelação matemática que utilize uma estrutura em rede para organizar os seus dados, de forma que o modelo se possa apoiar em algoritmos específicos utilizados no tratamento de redes.

A modelação matemática de inúmeros problemas recai num conjunto de modelos de fluxo em redes específicos, dos quais se salientam os seguintes [1] :

1. *Problema do fluxo de custo mínimo.* Pretende-se determinar o menor custo de envio de uma mercadoria através de uma rede, de forma a satisfazer a procura em determinados nós a partir da oferta noutros nós, atendendo a restrições de capacidade nos arcos. Este modelo tem uma quantidade de aplicações muito conhecidas, como sejam : a distribuição de um produto a partir da fábrica até aos armazéns, ou desde os armazéns até aos centros de venda; o fluxo de matérias-primas e de produtos intermédios pelas várias máquinas numa linha de montagem; o encaminhamento dos automóveis através de uma rede urbana de ruas; o encaminhamento de chamadas através de um sistema telefónico.
2. *Problema do caminho mais curto.* Pretende-se determinar o caminho de custo (ou comprimento) mínimo entre um nó origem e um nó destino de uma rede. Algumas das aplicações deste problema são, por exemplo : determinar o caminho de menor comprimento, ou que gaste menos tempo ao percorrê-lo, ou que tenha o máximo de segurança, entre dois nós de uma rede. Além destas aplicações, este modelo também pode ser aplicado a muitos outros problemas, tais como substituição de equipamentos, projectos de catalogação ou inventariação, encaminhamento de mensagens em sistemas de comunicação, etc..
3. *Problema do fluxo máximo.* Procura-se uma solução admissível que envie a máxima quantidade de fluxo de um nó origem para um nó destino, tendo em conta as restrições de capacidade dos arcos da rede. Exemplos deste problema são : determinar o fluxo constante máximo de produtos petrolíferos numa rede de oleodutos, de carros numa rede de estradas, de mensagens numa rede de telecomunicações e de electricidade numa rede eléctrica.
4. *Problema de afectação.* Pretende-se afectar (associar um para um) da forma mais económica (menor custo) tarefas a indivíduos, entendidas estas entidades em sentido geral, em que a quantidade de tarefas é igual à quantidade de indivíduos. Exemplos de problemas de afectação são : associar pessoas a projectos, operações a máquinas, inquilinos a apartamentos e nadadores a provas numa competição de natação.
5. *Problema de transportes.* Pretende-se determinar a forma mais económica de enviar directamente a mercadoria produzida em vários locais (fábricas), em quantidades limitadas (oferta), para os clientes que se encontram geograficamente dispersos, cada um com uma procura a satisfazer, tendo em conta a oferta de cada um dos locais.

6. *Problema de circulação.* Pretende-se determinar um fluxo possível que respeite os limites inferior e superior impostos em cada arco. Desde que nunca se introduza qualquer fluxo crescente na rede, ou se extraia qualquer fluxo dela, todo o fluxo circula pela rede. O objectivo é determinar a circulação que tenha o menor custo. Por exemplo, o esquema de uma lista de encaminhamentos de uma linha aérea comercial, em que qualquer avião circula entre os aeroportos de várias cidades : o limite inferior imposto num arco (i, j) é 1 se a linha aérea precisar de fornecer serviço entre as cidades i e j , e assim, enviar um avião por este arco (na realidade, os nós representam uma combinação tanto de uma localização física como de um período de tempo até que seja ligado um arco; por exemplo, Lisboa às 8 horas com Madrid às 9 horas).
7. *Problema da árvore abrangente mínima.* Pretende-se identificar a árvore abrangente de valor mínimo, isto é, uma solução (árvore) que contenha todos os nós da rede, cujo somatório dos valores dos arcos seja mínimo. As aplicações deste problema são variadas, como por exemplo : construção de auto-estradas e de vias férreas que “passam” por várias cidades, colocação de oleodutos a ligar locais de perfuração, refinarias e postos de venda ao consumidor, ligação de fios eléctricos a painéis de controlo.

O facto de muitos dos problemas que utilizam estes modelos serem de natureza multiobjectivo, levou a que recentemente se tenha dedicado algum esforço de investigação na formulação e resolução de problemas de optimização em redes, particularmente os de caminho mais curto. Os critérios mais utilizados nestes problemas são : custo, tempo, distância, acessibilidade, satisfação exigida, protecção do ambiente, minimização do risco, segurança, entre outros. Por exemplo, ao pretender-se determinar o melhor trajecto, em termos económicos, relativamente a um sistema de entrega/recolha de produtos numa cidade (considera-se a cidade representada em rede, onde os nós são os locais de entrega/recolha e os arcos as ruas entre aqueles locais), pode-se formular o problema como multiobjectivo (existem vários critérios a considerar : tempo de travessia, distância a percorrer, tráfego, etc.) com estrutura em rede (os dados podem ser representados, em termos visuais, utilizando uma estrutura em rede — mapa simplificado).

6. Objectivos do trabalho

A resolução de muitos problemas de programação linear multiobjectivo com estrutura em rede, requer uma modelação como problema de caminho mais curto. Desta forma, apesar de existirem vários processos para resolver estes problemas, o mais indicado é aquele que

utiliza a interacção com o decisor, uma vez que muitas vezes o mais difícil não é determinar as soluções não dominadas, mas sim escolher apenas uma entre tantas. Na realidade, os processos interactivos são os mais vantajosos, já que o número de soluções não dominadas que necessitam de ser determinadas pode ser muito pequeno, assim como permite evidenciar os compromissos entre os objectivos envolvidos inerentes a um conjunto de soluções não dominadas.

Neste sentido, desenvolveram-se dois sistemas de apoio à decisão, com o objectivo de se identificar a “melhor” solução de compromisso em problemas de caminho mais curto bi e tri-objectivo.

O método associado ao primeiro sistema, consiste em analisar todo o espaço dos objectivos, em que as soluções são determinadas segundo uma determinada direcção de pesquisa, a qual está associada aos valores que optimizam (minimizam) cada um dos objectivos.

O método utilizado no segundo sistema, baseia-se no procedimento interactivo descrito por Current et al. [10] para problemas de caminho mais curto bi-objectivo, ao qual foi associado um algoritmo para determinar os k caminhos mais curtos. Neste sistema, os conceitos associados ao problema bi-objectivo foram adaptados aos problemas com três objectivos.

Os dois sistemas propostos incluem interfaces AD-Computador, as quais utilizam meios gráficos para a interpretação dos resultados que vão sendo obtidos e para o diálogo com o AD. Estes sistemas foram desenvolvidos para computadores pessoais que possuam o sistema operativo “Windows” (95 ou NT). A razão do sistema ser implementado para funcionar em ambiente “Windows”, está relacionada com o facto deste sistema operativo estar muito vulgarizado, o que permite a utilização dos sistemas por uma grande quantidade de pessoas, e também por oferecer uns aspectos gráficos bastante agradáveis.

7. Organização da tese

Esta dissertação encontra-se dividida em vários capítulos, os quais traduzem os diferentes aspectos do trabalho realizado subjacente à tese. Desta forma, e resumidamente, podem-se sintetizar aqueles aspectos nos seguintes pontos :

- No capítulo 2 apresentam-se os principais conceitos básicos e terminologia associados a grafos e redes. São também descritas algumas estruturas de dados utilizadas para representar redes em computadores.

- No capítulo 3 é abordado o problema de caminho mais curto com um só objectivo, através da análise de alguns algoritmos para resolver este tipo de problemas. É também apresentado o problema de determinar os k caminhos mais curtos, através da descrição de alguns algoritmos para os resolver.
- No capítulo 4 é apresentado, em termos gerais, o problema de caminho mais curto com vários objectivos. No entanto, o problema com dois objectivos é abordado em pormenor, descrevendo-se alguns métodos e algoritmos utilizados para resolver tais problemas, assim como alguns algoritmos interactivos de apoio ao AD para determinar a “melhor” solução de compromisso destes problemas particulares.
- O capítulo 5 está destinado à apresentação de duas abordagens interactivas ao problema de caminho mais curto com dois e três objectivos, através de dois métodos que servirão de apoio ao AD no cálculo da “melhor” solução de compromisso dos problemas.
- O capítulo 6 apresenta uma aplicação de um dos métodos descrito no capítulo 5 a um problema de encaminhamento (“Routing”). Aquele algoritmo, que é interactivo, é transformado num automático, através da construção de regiões de prioridade a partir de valores correspondentes aos requisitos de qualidade de serviço de cada objectivo.
- O capítulo 7 está reservado à apresentação das conclusões acerca do trabalho realizado, assim como de vias de desenvolvimentos futuros nesta área de investigação.
- Em anexo encontra-se o manual do utilizador, o qual se pretende que sirva de auxílio na utilização da aplicação.

O trabalho realizado deu origem a um artigo que foi submetido para publicação [4] e às seguintes comunicações em reuniões científicas :

- Em Julho de 1997 a comunicação “A DSS for Multiple Objective Routing in Integrated Communication Networks”, foi apresentada na XV European Conference on Operational Research, realizada em Barcelona, Espanha.
- Em Junho de 1998 a comunicação “Multiple Objective Routing in Integrated Communication Networks”, foi apresentada na XIV International Conference on Multiple Criteria Decision Making, University of Virginia, Charlottesville, Estados Unidos.
- Em Julho de 1998 a comunicação “A Multiple Objective Approach to QoS Routing in Integrated Communication Networks”, foi apresentada na conferência internacional Optimization’98, Universidade de Coimbra.