

## CONCEPÇÃO DE UMA “BOA” ALTERNATIVA DE LIGAÇÃO FERROVIÁRIA AO PORTO DE LISBOA: UMA APLICAÇÃO DA METODOLÓGICA MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO E À NEGOCIAÇÃO (Concepção multicritério da linha ferroviária)

**Carlos A. Bana e Costa**

**Fernando Nunes da Silva**

Instituto Superior Técnico, Dep. Eng. Civil / CESUR

Av. Rovisco Pais, 1000 Lisboa

### **Abstract**

The construction of a new railway link to the port of Lisbon has been postponed many times, as a result of a conflict of different viewpoints held by various public stakeholders, namely between the municipality of Lisbon (CML) and the GNFL (Lisbon Railway Node Bureau), while the Portuguese Railway Company (CP) has assumed a more flexible attitude. Recently, the development of the urban plan for Alcântara (the zone of the city where the railway line links to the port) has presented an opportunity to try to dissolve the conflict, by creating a (potential) compromise solution that explicitly takes into account the different value systems of the stakeholders. This paper describes the multicriteria methodology followed by the planning team for the construction of a new “good” solution based on the study of the impacts of the existing alternatives. In particular, we describe the structuring phase of the study and the use of a disaggregation-aggregation approach in the evaluation phase.

### **Resumo**

A nova ligação ferroviária ao porto de Lisboa tem vivido ao longo dos últimos anos numa situação de impasse provocada por um conflito de pontos de vista entre as entidades envolvidas. Nomeadamente, enquanto a Câmara Municipal de Lisboa (CML) considera muito graves os impactes urbanísticos das soluções propostas pelo Gabinete do Nó Ferroviário de Lisboa (GNFL), este tem por sua vez mostrado fortes reservas face aos custos das soluções alternativas avançadas pela CML. Entretanto, os estudos relativos ao Plano de Urbanização do Vale de Alcântara vieram criar condições para a concepção de uma nova alternativa de consenso, levando em conta os sistemas de valores dos vários intervenientes. Neste artigo apresenta-se a metodologia multicritério seguida pela equipa do plano para construir uma “boa” solução a partir do estudo dos impactes das alternativas existentes. Em particular, descrevem-se a fase de estruturação do problema e a utilização de uma abordagem do tipo desagregação-agregação na fase de avaliação.

### **Key-words:**

Multicriteria analysis, negotiation support, disaggregation / aggregation.

### **1. Descrição do problema e caracterização do contexto decisório**

A ligação ferroviária ao porto de Lisboa na zona de Alcântara processa-se actualmente através de um ramal que atravessa de nível três vias estruturantes da cidade de Lisboa, a saber, a Av. 24 de Julho e o sistema formado pelas Av. da Índia e Av. de Brasília, para além de interferir com o funcionamento da rotunda de Alcântara, principal nó rodoviário da zona, onde circulam mais de 3000 veículos na hora de ponta. Este atravessamento de nível impede uma eficaz exploração do transporte ferroviário no serviço ao porto, já que obriga à realização deste

serviço em período nocturno ou em horas mortas do fim-de-semana, a fim de que o corte das ligações rodoviárias tenha o menor impacto possível na circulação automóvel. Tal implica ainda que a formação de comboios se processe na frente ribeirinha do Tejo, junto à zona da FIL, com o conseqüente impacto negativo no aproveitamento desse espaço para fins de recreio e lazer da população.

Ao longo da última década têm sido formuladas várias soluções técnicas para resolver este problema, quer por parte da entidade responsável pelo planeamento e execução das obras de infraestrutura ferroviária na região de Lisboa (o Gabinete do Nó Ferroviário de Lisboa - GNFL), quer por parte do próprio município (CML) preocupado em que as soluções ferroviárias tenham o menor impacto possível no tecido urbano da zona. Chegou-se assim a uma situação em que existem nove soluções tecnicamente viáveis para resolver o problema do acesso ferroviário ao porto de Lisboa na zona de Alcântara (ver figuras 1a, 1b e 1c). Duas propostas são da responsabilidade do GNFL e outras três da CML. Cada um destes dois grupos de soluções alternativas reflecte as principais preocupações dos seus proponentes, relegando para segundo plano os pontos de vista dos outros. Assim, enquanto o GNFL revela uma clara intenção de privilegiar os aspectos técnicos associados à complexidade das obras a executar e ao custo da construção da nova infraestrutura, a CML privilegia os aspectos de impacto urbanístico e ambiental da nova linha ferroviária, não considerando como relevante o custo da sua construção. Inicialmente, antes da criação do GNFL, a CP, enquanto empresa exploradora do serviço de transporte, ciente da indispensabilidade do apoio - ou, pelo menos, a não oposição - do município, tinha já apresentado quatro outras alternativas, desenvolvidas pela PROFABRIL, que procuravam, em níveis diferentes, um certo compromisso com a CML. Também nessa altura se goraram as negociações.

Assim, o ambiente em que se desenvolve o processo de tomada de decisão tem sido caracterizado pela defesa intransigente do sistema de valores de cada interveniente, e, conseqüentemente, por um evidente impasse na obtenção de uma solução para o problema, pois que nenhuma entidade pode decidir unilateralmente. Com efeito, não só qualquer projecto que utilize uma parcela do espaço público disponível necessita do aval da CML - entidade a quem compete a gestão desse espaço, e conseqüentemente o licenciamento do seu uso - como qualquer solução tem de obter o acordo do GNFL - entidade financiadora - e da CP - preocupada em que a exploração ferroviária seja não só viável como economicamente rentável.

A realização do Plano de Urbanização do Vale de Alcântara, encomendado pela CML a uma equipa de projectistas de que o CESUR assegura a componente de transportes, veio entretanto permitir equacionar o problema em novos moldes. Na verdade, partindo das propostas fortemente contrastadas de cada um dos intervenientes CML e GNFL, foi possível desenvolver, com o recurso a uma metodologia multicritério, uma nova solução (ver figura 1d) que, não sendo a "ótima" para cada actor de per si, reúne condições para ser aceite por todos os intervenientes como uma "boa" solução de compromisso.

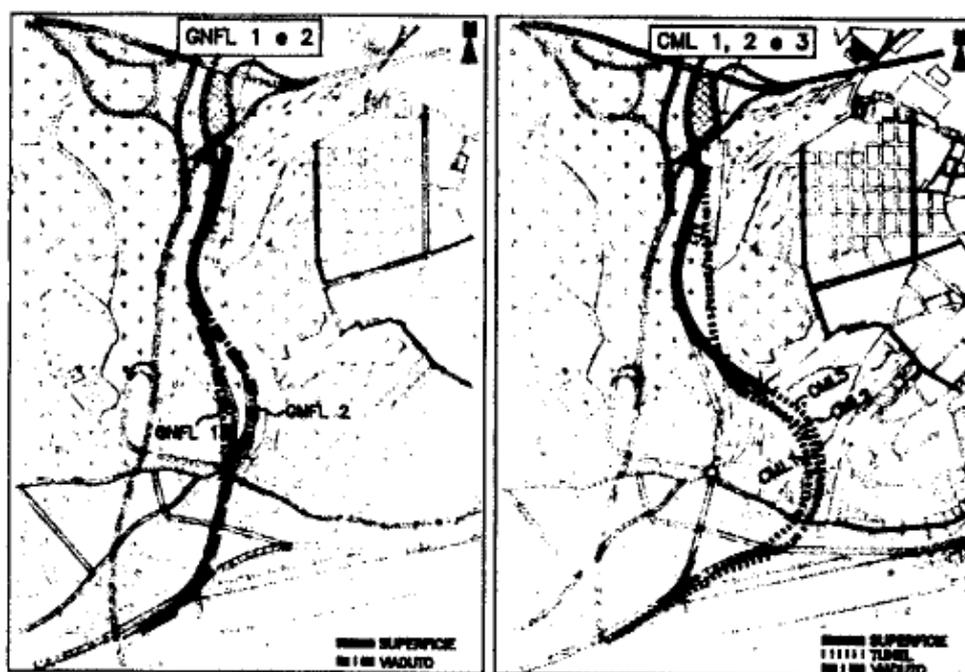


FIGURA 1a

FIGURA 1b

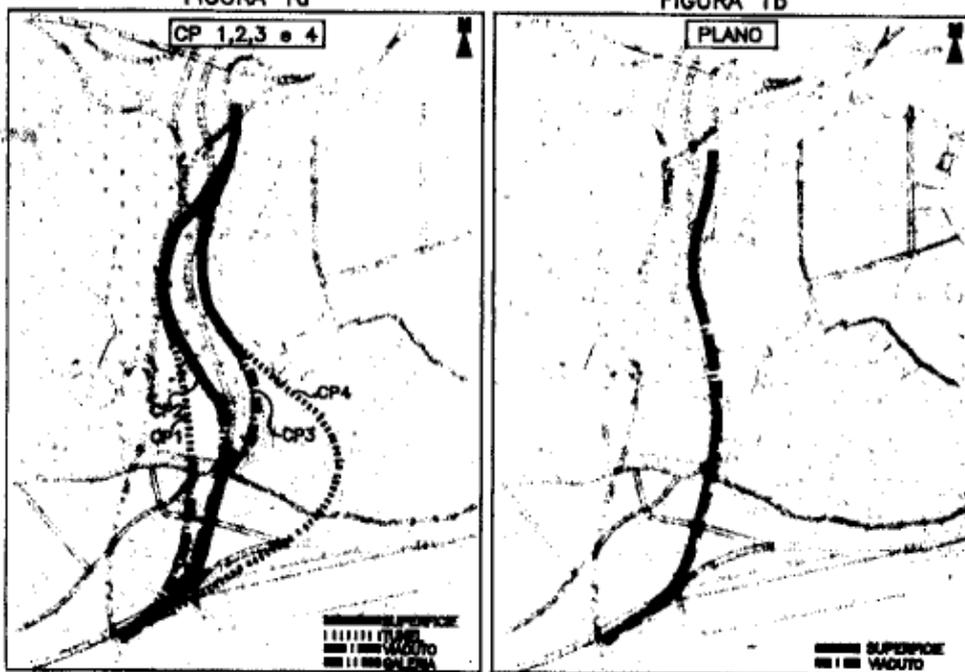


FIGURA 1c

FIGURA 1d

## 2. Fase de estruturação

### 2.1. Família de pontos de vista fundamentais

Como deve ser em qualquer actividade de apoio à avaliação e/ou à negociação (cf. [Bana e Costa, 1992a]), o estudo desenvolvido pelo CESUR é suportado em modelos formais (por oposição a "informal") tendo em vista a elaboração de *recomendações* que respondam o mais claramente possível às questões que se colocam aos vários intervenientes no processo. A equipa de estudo, para compreender a complexidade da situação em que foi chamada a intervir e lançar as bases de orientação da sua actividade em cada estado de avanço do trabalho - *a problemática do apoio à decisão ou problemática técnica* (cf. [Bana e Costa, 1993] - começou por analisar e caracterizar dois sistemas interligados, a saber, o *sistema das acções* (aqui, soluções alternativas) e o *sistema dos actores*.

Em relação à sua inserção no processo de decisão, importa notar que a equipa do PU do Vale de Alcântara estava impedida, pelo cliente, de contactar com os diferentes intervenientes durante a elaboração do estudo. De facto, segundo a solicitação da CML, deveria este ser considerado um estudo preparatório de uma fase de negociação posterior, o que não significa de todo que os sistemas de valores dos actores não tivessem que estar presentes no desenvolvimento dos trabalhos. Acrescente-se, ainda, que da análise do sistema de actores, resultou claro que os conflitos que se procuram ultrapassar com o desenvolvimento de uma nova solução de compromisso residem fundamentalmente nos valores subjacentes às alternativas (duas mais três) da responsabilidade do GNFL e da CML.

Nestas circunstâncias, partiu-se da análise destas 5 alternativas (GNFL1, GNFL2, CML1, CML2, CML3) com vista a detectar (indirectamente) os principais pontos de vista privilegiados e negligenciados pelos respectivos proponentes (ver quadro I). Depois, para estabelecer uma primeira base de negociação, a equipa de estudo definiu uma *família de nove pontos de vista fundamentais* que se propõe ser aceite consensualmente por todos os intervenientes, *independentemente* da maior ou menor relevância ("importância") que cada um destes lhes atribua, isto é, sem impor qualquer restrição às preferências "inter-pontos de vista".

Os nove pontos de vista fundamentais podem ser agrupados em quatro grandes *áreas de interesse*, a saber: *Impacte Ambiental e Urbanístico, Integração no Sistema de Transportes, Complexidade Construtiva e Encargos com a Construção* (ver quadro II). Das quatro Áreas de Interesse, apenas a segunda - *integração no sistema de transportes* - não se encontra suficientemente explícita nas alternativas propostas pelos actores, mas foi considerada de interesse fundamental pela equipa do Plano, preocupada, como é evidente, não só com os aspectos de serviço do porto mas também com a qualidade global do serviço de transporte prestado, tanto mais que o ramal de Alcântara passou entretanto a assegurar um serviço de passageiros, e o metropolitano de Lisboa projecta a construção de uma linha para a zona. Do mesmo modo, a equipa do Plano considerou fundamental o ponto de vista *possibilidade de faseamento da construção*, atendendo à necessidade de manter o ramal de Alcântara em

impactes das soluções alternativas em termos de  $PV_j$ , - por isso chamamos a  $I_j$  um *descriptor* de impactes (cf. [Bana e Costa, 1992b]), noção que se aproxima da de *attribute* da terminologia da Teoria de Utilidade Multi-atributos (*Multiattribute Utility Theory*, [Keeney e Raiffa, 1976], [Keeney, 1992]). Um descriptor pode ser *quantitativo* ou *qualitativo*, *discreto* ou *contínuo*, *directo*, *indirecto* ou *construído*, e nada garante a sua unicidade, isto é, um mesmo ponto de vista pode ser descrito por vários indicadores diferentes (ver, a este propósito, [Edwards e Newman, 1982] e [Bana e Costa, 1992b]). Os cuidados a ter na operacionalização dos pontos de vista resultam então ainda mais agravados quando os descritores são escolhidos e definidos sem a intervenção/validação dos actores, como foi no caso em estudo, dada a condição de não interacção imposta.

Na construção dos descritores  $I_1$  a  $I_9$  dos pontos de vista  $PV_1$  a  $PV_9$  (quadro III) tivemos presente a necessidade de encontrar uma relação estreita e facilmente perceptível - e portanto potencialmente aceite pelos diferentes actores - entre cada ponto de vista e a forma de avaliar a sua satisfação, bem como a facilidade da sua quantificação ou da definição qualitativa da escala de impactes que lhe está associada. Nesta definição dos descritores, a equipa do Plano apoiou-se ainda em estudos idênticos onde foi possível estabelecer uma interacção entre os agentes de decisão e a equipa de estudo (ver [Mac Crimmon, 1969], [Roy e Hugonnard, 1982], [Bovy, 1983], [Simos, 1990], entre outros).

Quadro III. Descritores dos pontos de vista fundamentais

Pontos de vista	Descritores de impactes
$PV_1$	$I_1$ - Comprimento em viaduto, aterro ou vala aberta em áreas expostas (metros)
$PV_2$	$I_2$ - Comprimento do atravessamento à superfície em viaduto ou em vala aberta, em áreas consolidadas (metros)
$PV_3$	$I_3$ - Número de interfaces possíveis com transportes colectivos
$PV_4$	$I_4$ - Proximidade das estações aos principais geradores de tráfego existentes ou previstos (escala qualitativa)
$PV_5$	$I_5$ - Facilidade de inserção do ramal de Alcântara na zona portuária (escala qualitativa)
$PV_6$	$I_6$ - Comprimento do traçado em túnel ou em vala aberta em áreas geologicamente instáveis (metros)
$PV_7$	$I_7$ - Sobreposição do traçado com outras infraestruturas (escala qualitativa)
$PV_8$	$I_8$ - Possibilidade de fasear a construção e implicações com o ramal de Alcântara (escala qualitativa)
$PV_9$	$I_9$ - Custo total da construção da linha (milhões de contos)

$I_1, I_2, I_3, I_6$  e  $I_9$  são descritores *quantitativos*, *indirectos* os dois primeiros e *directos* os restantes, *discreto*  $I_3$  e *contínuos* os outros quatro. Por sua vez, os descritores  $I_4, I_5, I_7$  e  $I_8$  são *qualitativos* e *construídos* a partir de indicadores de base, e cada um deles é um conjunto discreto de níveis de impacte *plausíveis* segundo o *PV* respectivo (ver tabelas seguintes, em que N1 designa o pior nível plausível).

exploração durante a construção da nova linha, o que vem ao encontro do sistema de valores defendidos pela CP.

Quadro I. Pontos de vista privilegiados e negligenciados pela CML e pelo GNFL

Caracterização dos sistemas de valores dos actores GNFL e CML:		
⊕	Pontos de vista privilegiados ...	
⊖	Pontos de vista negligenciados ...	
nas soluções que propõem:		
<b>GNFL:</b>		
⊕	Conflitualidade com infraestruturas existentes ou previstas	7
⊕	Complexidade das obras de arte a realizar	6
⊕	Custos de construção	9
⊖	Integração paisagística	1
⊖	Efeito de corte no tecido urbano	2
⊖	Possibilidade de faseamento da construção	8
<b>CML:</b>		
⊕	Integração paisagística	1
⊕	Efeito de corte no tecido urbano	2
⊕	Ligação ao terminal portuário	5
⊕	Conflitualidade com infraestruturas existentes ou previstas	7
⊖	Complexidade das obras de arte a realizar	6
⊖	Custos de construção	9
⊖	Possibilidade de faseamento da construção	8

Quadro II. Família de pontos de vista fundamentais

Áreas de Interesse	Pontos de Vista Fundamentais
Impacte ambiental e urbanístico	$PV_1$ - Integração paisagística $PV_2$ - Efeito de corte no tecido urbano
Integração no sistema de transportes	$PV_3$ - Conexão com outros modos de transporte $PV_4$ - Centralidade urbana das estações $PV_5$ - Ligação ao terminal portuário
Complexidade construtiva	$PV_6$ - Complexidade das obras de arte a realizar $PV_7$ - Conflitualidade com infraestruturas existentes ou previstas $PV_8$ - Possibilidade de faseamento da construção
Encargos com a construção	$PV_9$ - Custos de construção

## 2.2. Operacionalização dos pontos de vista fundamentais

A primeira condição a impôr para que um ponto de vista fundamental  $PV_j$  seja operacional, para a construção de um modelo de avaliação, é que lhe seja associado um conjunto  $I_j$  de níveis de impacte bem definidos e ordenados entre o melhor e pior níveis. É com base em  $I_j$  que será posteriormente possível *descrever*, de forma não ambígua e o mais objectiva possível, os

<b>Descritor (<math>I_4</math>) do ponto de vista (<math>PV_4</math>) "centralidade urbana das estações":</b>	
<b>Níveis</b>	<b>Descrição</b>
N 5	Todas as estações têm bons acessos rodoviários e pedonais, e situam-se em áreas centrais
N 4	A maioria das estações tem bons acessos, e situam-se em áreas centrais
N 3	Os acessos são aceitáveis, a localização nem sempre é central
N 2	Os acessos são aceitáveis, a localização não é central
N 1	Maus acessos e localização não central

<b>Descritor (<math>I_5</math>) do ponto de vista (<math>PV_5</math>) "ligação ao terminal portuário":</b>	
<b>Níveis</b>	<b>Descrição</b>
N 6	Acesso directo sem deslocação do actual feixe de linhas, e sem interferência no nó de Alcântara-Mar
N 5	Acesso directo com reformulação do feixe de linhas, e sem interferência no nó de Alcântara-Mar
N 4	Acesso indirecto sem deslocação do feixe de linhas, e sem interferência no nó de Alcântara-Mar
N 3	Acesso indirecto com reformulação do feixe de linhas, e sem interferência no nó de Alcântara-Mar
N 2	Acesso indirecto sem deslocação do feixe de linhas, e com interferência no nó de Alcântara-Mar
N 1	Acesso indirecto com reformulação do feixe de linhas, e com interferência no nó de Alcântara-Mar

<b>Descritor (<math>I_7</math>) do ponto de vista (<math>PV_7</math>) "conflitualidade com outras infraestruturas existentes":</b>	
<b>Níveis</b>	<b>Descrição</b>
N 5	Não interfere com nenhuma infraestrutura existente ou prevista
N 4	Interfere com o ramal de Alcântara ou (exclusivo) com o acesso ao porto, e não interfere com a Av. de Ceuta
N 3	Interfere com o ramal de Alcântara e o acesso ao porto, e não interfere com a Av. de Ceuta
N 2	Interfere com o ramal de Alcântara e com a Av. de Ceuta, ou (exclusivo) com o acesso ao porto e a Av. de Ceuta
N 1	Interfere com todas as infraestruturas

Descritor ( $I_8$ ) do ponto de vista ( $PV_8$ ) "faseamento da construção":	
Níveis	Descrição
N5	É possível fasear a obra em todos os seus troços: Campolide - Alcântara-Terra, Alcântara-Terra - Alcântara-Mar e Alcântara-Mar - Alcântara-Porto, mantendo a funcionar o ramal de Alcântara
N4	Só permite duas fases (Campolide-Alc.-Terra, Alc.-Terra-porto), mantendo a funcionar o ramal de Alcântara
N3	Não permite fases, mas mantém o ramal de Alcântara em funcionamento
N2	Permite duas fases, mas não mantém o ramal de Alcântara a funcionar
N1	Não permite fases, nem mantém o ramal de Alcântara a funcionar

### 2.3. Perfis de impactes das alternativas

Uma vez definidos os descritores, foi possível determinar para cada uma das alternativas propostas pelos diferentes actores (GNFL, CML e CP) os respectivos impactes segundo os nove pontos de vista considerados. Os resultados da análise efectuada apresentam-se no quadro IV, em que cada coluna representa o *perfil de impactes* da alternativa respectiva. Nos casos em que a equipa do Plano hesitou entre dois níveis consecutivos, o impacte foi considerado intermédio entre os níveis em questão. Os impactes quantitativos estão evidentemente expressos nas unidades referidas no quadro III e os níveis de impacte discretos são os anteriormente descritos.

Note-se no entanto, que nada pode ser directamente concluído a respeito do *valor intrínseco* das propostas, e isto porque um impacte pode ser *melhor* (ou *pior*) do que outro e serem ambos *bons*, ou ambos *maus* ou um bom e o outro mau. Esta distinção entre juízos *comparativos* (ou *relativos*) e juízos *absolutos* (ou *intrínsecos*), de há muito bem conhecida da Psicologia Cognitiva (cf. [Blumenthal, 1977]) e da Filosofia do Valor (cf. [von Wright, 1963]) não tem merecido a devida atenção na literatura da Teoria da Decisão, quase sempre focalizada sobre o problema da escolha (relativa) da melhor acção sem tratar de saber se ela é suficientemente boa (cf. [Bana e Costa, 1993]).

Quadro IV. Tabela de impactes

	GNFL 1	GNFL 2	CML 1	CML 2	CML 3	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
$i_1(.)$	1500	1440	495	0	215	450	450	1630	0
$i_2(.)$	1200	1020	400	260	300	580	700	1120	0
$i_3(.)$	2	2	1	1	1	1	2	2	1
$i_4(.)$	N4	N4	N3/N2	N3/N2	N3/N2	N3	N4	N5	N3
$i_5(.)$	N3	N3	N4	N6	N6	N1	N1	N1	N5
$i_6(.)$	156	156	750	1505	975	566	0	0	1170
$i_7(.)$	N5	N4	N5	N4	N5	N4	N2	N2	N5
$i_8(.)$	N3	N1	N3	N3	N3	N3	N3	N2	N3
$i_9(.)$	2.29	2.37	3.96	5.47	4.76	6.53	6.78	3.22	5.70

Um conceito poderoso para tornar operacional as noções absolutas de *bom* e *mau* é o de *nível neutro de impacte* sobre um dado ponto de vista, uma vez que o seu conhecimento torna possível distinguir entre *impactes atractivos* ou *positivos* (os que são melhores do que o nível neutro) e *impactes repulsivos* ou *negativos* (os que são piores do que o nível neutro). Como diz Vansnick [1989, p. 636] *um nível neutro é um impacte considerado nem favorável nem desfavorável em termos de um ponto de vista* e corresponde por definição ao zero de uma escala bipolar de valor (cf. [Rescher, 1969], p. 64).

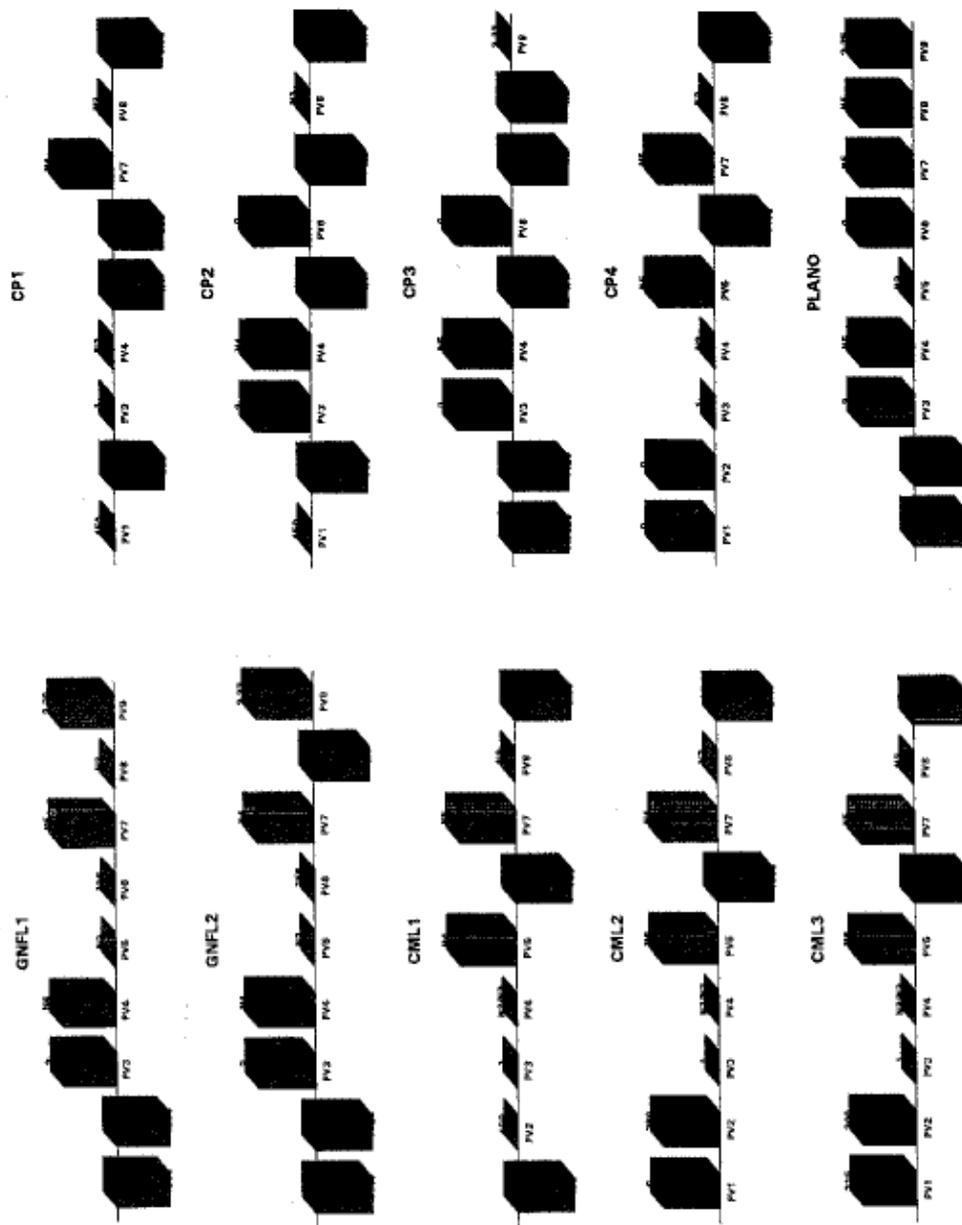
Para a família de pontos de vista fundamentais do quadro II, a equipa do Plano definiu os níveis neutros de impacte, apresentados no quadro V a par dos melhores e piores níveis possíveis ou plausíveis. Note-se que o nível neutro segundo  $PV_3$  coincide com o pior (1 interface) e que segundo  $PV_4$  o nível neutro é intermédio entre os níveis N3 e N2.

Os nove níveis melhores (respectivamente, piores) definem a chamada *alternativa ideal* (respectivamente, *anti-ideal*). Por sua vez, os nove níveis neutros definem uma alternativa fictícia (não necessariamente realista) chamada *robot neutro* [Bana e Costa, 1992b] que tem a particularidade de ser *globalmente neutra* qualquer que seja a importância relativa atribuída aos pontos de vista (desde que estes sejam preferencialmente independentes entre si). Com referência ao robot neutro, os perfis de impactes das várias propostas podem ser representados graficamente por forma a evidenciar os seus impactes negativos e positivos (figura 2).

Quadro V. Níveis de impacte piores, neutros e melhores

Ponto de vista fundamental	Pior nível de impacte	Nível neutro de impacte	Melhor nível de impacte
$PV_1$	1630 metros	450 metros	0 metros
$PV_2$	1200 metros	400 metros	0 metros
$PV_3$	1 interface	1 interface	2 interfaces
$PV_4$	N1	N3/N2	N5
$PV_5$	N1	N3	N6
$PV_6$	1505 metros	156 metros	0 metros
$PV_7$	N1	N3	N5
$PV_8$	N1	N3	N5
$PV_9$	6.79 milhões de contos	3.22 milhões de contos	2.29 milhões de contos

Tendo presentes os pontos de vista fundamentais, o robot neutro e os perfis de impactes das propostas da CML, do GNFL e da CP, a equipa do Plano construiu uma nova alternativa, que se deseja de compromisso, tecnicamente viável e realista, com a qual se procurou corrigir os impactes mais negativos, de cada um dos três grupos de propostas, em termos dos pontos de vista dos restantes actores, e maximizar a satisfação dos pontos de vista considerados mais relevantes por todos eles. Esta nova alternativa, a seguir designada simplesmente por "PLANO"



(ver figura 1d) e cujo perfil de impactes é também representado na figura 2, foi posteriormente confrontada com as restantes num processo multicritério de avaliação.

### 3. Fase de avaliação

#### 3.1. Avaliação das alternativas segundo cada ponto de vista fundamental

Os impactes da tabela 1 permitem apenas *ordenar* as propostas por cada um dos vários pontos de vista, não oferecendo uma *medida* nem da *diferença de valor* ou *atractividade* entre duas quaisquer delas, nem do *valor intrínseco* de cada uma. Para avaliar as propostas, em termos cardinais, por cada ponto de vista ( $PV_j$ ,  $j = 1, \dots, 9$ ) tomado isoladamente, construiu-se uma *função-critério*  $v_j$  com base em juízos absolutos sobre a diferença de atractividade entre impactes formulados pela equipa do Plano (representada por um de nós, Nunes da Silva). Com excepção dos pontos de vista  $PV_3$  (cujo descritor só tem dois níveis) e dos pontos de vista  $PV_6$  (Complexidade) e  $PV_9$  (Encargos) - cujas funções foram tomadas lineares sobre os descritores respectivos, por estes serem directos -, o método utilizado para a construção das *escalas de valor local*  $v_j$  foi o *MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (de que o outro de nós, Bana e Costa, é co-autor) e cuja descrição remetemos para [Bana e Costa e Vansnick, 1994]. Nas figuras 3, as escalas  $v_j$  propostas pelo *MACBETH* foram transformadas de modo a que os níveis neutros tenham sempre valor 0 ( $v_j(\text{neutro}_j) = 0$ ) e os níveis melhores valor 100 ( $v_j(\text{melhor}_j) = 100$ ). Desta forma, a níveis de impacte atractivos (respectivamente, repulsivos) correspondem sempre valores positivos (respectivamente, negativos) segundo cada (função-)critério  $v_j$  ( $j = 1, \dots, 9$ ).

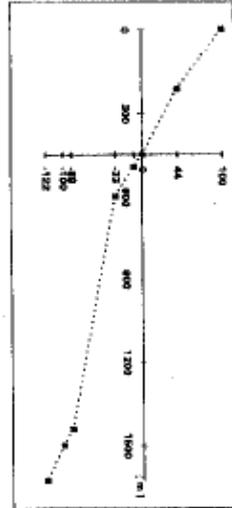
Evidentemente, o valor local de cada proposta  $a$  segundo cada ponto de vista  $PV_j$  (ver quadro VI) é dado pelo valor  $v_j(i_j(a))$  do seu impacte  $i_j(a)$ . Note-se que  $v_j(i_j(a))$  é uma *medida* de valor intrínseco de  $a$ , uma vez que está referenciado ao valor do nível neutro e ao valor do melhor nível segundo  $PV_j$ . Recorde-se ainda que  $v_j$  é uma *escala de intervalos*, pelo que só tem sentido quocientes entre diferenças de valor, e nunca quocientes directamente entre dois valores.

Quadro VI. Matriz multicritério

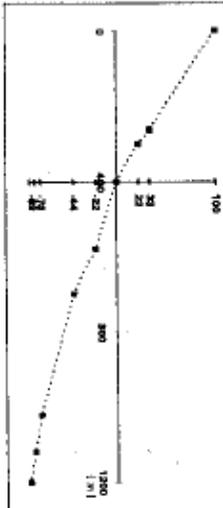
	GNFL 1	GNFL 2	CML 1	CML 2	CML 3	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	Plano
$v_1(\cdot)$	-100	-89	-10	100	44	0	0	-122	100	-33
$v_2(\cdot)$	-89	-78	0	33	22	-22	-44	-88	100	-26
$v_3(\cdot)$	100	100	0	0	0	0	100	100	0	100
$v_4(\cdot)$	68	68	0	0	0	23	68	100	23	100
$v_5(\cdot)$	0	0	33	100	100	-67	-67	-67	67	0
$v_6(\cdot)$	0	0	-481	-965	-625	-363	100	100	-750	100
$v_7(\cdot)$	100	47	100	47	100	47	-47	-47	100	100
$v_8(\cdot)$	0	-155	0	0	0	0	0	-55	0	100
$v_9(\cdot)$	100	91	-80	-242	-166	-356	-384	0	-267	51

↑

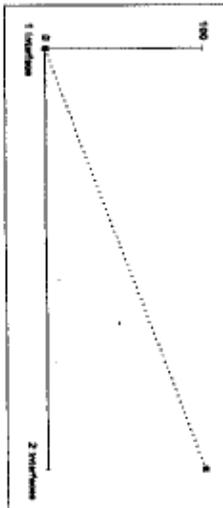
↑



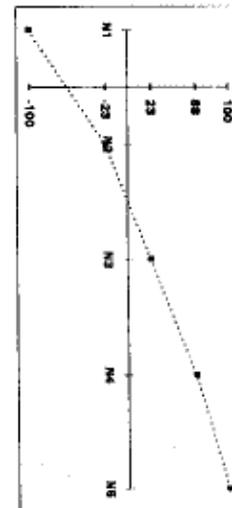
PVI - INTEGRAÇÃO PARAFÉRICA



PVI - EFEITO DE CORTE (DO TECIDO URBANO)



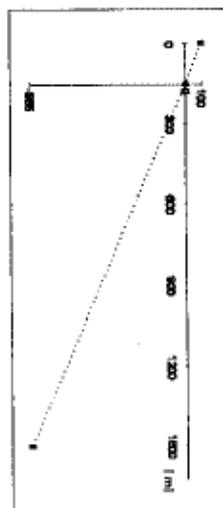
PVI - CONEXÃO COM OUTROS MODOS DE TRANSPORTE



PVI - CENTRALIDADE URBANA DAS ESTAÇÕES



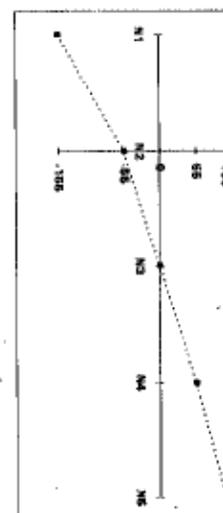
PVI - LOCALIZAÇÃO AO TERMINAL PORTUÁRIO



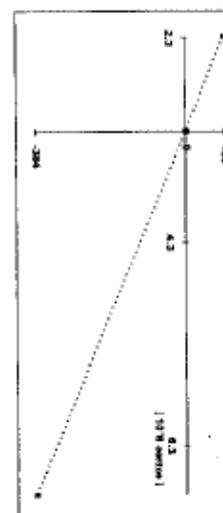
PVI - COMPLETITUDE DAS OBRAS DE ARTE A REALIZAR



PVI - COMPLETITUDE COM INFRAESTRUTURAS EXISTENTES OU PREVISIVAS



PVI - FAZEAMENTO DA CONSTRUÇÃO



PVI - ENCARCOS COM A CONSTRUÇÃO

### 3.2. Modelo de avaliação global das alternativas

Para calcular o valor global  $V(a)$  de cada proposta  $a$ , adoptou-se um modelo de agregação aditiva dos valores locais  $v_j$  ( $j = 1, \dots, 9$ ), matematicamente:

$$V(a) = \sum_{j=1}^9 p_j \cdot v_j(i_j(a)), \text{ com:}$$

$$V(\text{Ideal}) = 100$$

$$V(\text{Robot Neutro}) = 0$$

$$v_j(\text{melhor}_j) = 100, \quad j = 1, \dots, 9$$

$$v_j(\text{neutro}_j) = 0, \quad j = 1, \dots, 9,$$

donde:  $\sum_{j=1}^9 p_j = 1$  e  $p_j > 0$  ( $j = 1, \dots, 9$ ),

em que  $p_j$  é uma constante de escala (*scaling constant*, [Weber e Borchering, 1993]) do critério  $v_j$  (vulgarmente designado por "peso"). Na grande maioria das aplicações práticas deste modelo, começa-se por determinar directamente os factores de escala  $p_j$  aplicando um procedimento de ponderação, por exemplo, a *tradeoff procedure* [Keeney e Raiffa, 1976] ou o método *swing weighting* [von Winterfeldt e Edwards, 1986]. No entanto, as características da situação decisória em estudo não recomendam seguir-se esta via, pois que, tendo os vários intervenientes certamente preferências inter-critérios diferentes, seria irrealista considerar que um qualquer sistema de pesos particular poderia reunir consenso.

### 3.3. Aplicação de uma abordagem do tipo desagregação-agregação

Não sendo possível interrogar directamente os intervenientes para determinar os parâmetros do modelo  $V$ , seguiu-se uma via diferente da tradicional, com o duplo objectivo de encontrar:

1. Uma função de valor (global)  $V$  compatível com a ordenação holística das propostas da CML e do GNFL que é preferida pela CML:

$$\text{CML2} \rightarrow \text{CML3} \rightarrow \text{CML1} \rightarrow \text{GNFL2} \rightarrow \text{GNFL1},$$

isto é, determinar  $V$  tal que:

$$V(\text{CML2}) > V(\text{CML3}) > V(\text{CML1}) > V(\text{GNFL2}) > V(\text{GNFL1});$$

2. uma função de valor (global)  $V$  compatível com a ordenação holística das propostas da CML e do GNFL que é preferida pelo GNFL:

$$\text{GNFL1} \rightarrow \text{GNFL2} \rightarrow \text{CML1} \rightarrow \text{CML3} \rightarrow \text{CML2},$$

isto é, determinar  $V$  tal que:

$$V(\text{GNFL1}) > V(\text{GNFL2}) > V(\text{CML1}) > V(\text{CML3}) > V(\text{CML2}).$$

A definição das ordenações acima apresentadas, informação de base para a implementação desta abordagem, não foi difícil. Com efeito, é claro que, para o GNFL, a alternativa que melhor satisfaz os seus pontos de vista é a GNFL1, dado ser aquela que não só tem menor custo como permite manter o ramal de Alcântara em exploração durante a sua construção. Inversamente, a "pior" alternativa será, ainda para o GNFL, a proposta CML2, pois não só

implica um maior custo de construção, como é aquela que apresenta maior complexidade construtiva. Pelo contrário esta é a alternativa privilegiada pela CML, já que minimiza os impactes ambientais e paisagísticos.

As alternativas propostas pela CP não foram incluídas nesta fase do estudo pois, como se referiu anteriormente, constituem já uma tentativa de compromisso com a posição da CML, e portanto não traduzem inequivocamente uma preferência clara por uma determinada família de pontos de vista fundamentais. Na verdade, como se pode observar na figura 1c, os traçados das propostas CP contemplam, não só soluções em túnel - de difícil execução mas de inegável menor impacte ambiental e urbanístico - como também soluções em viaduto ou vala aberta que, embora apresentando menores custos e sendo de menor dificuldade técnica de construção, têm todavia o inconveniente de revelarem maiores impactes negativos segundo os pontos de vista "integração paisagística" e "efeito de corte".

Tecnicamente, para alcançar o duplo-objectivo fixado, recorreu-se ao Sistema de Apoio à Decisão PREFCALC (cf. [Jacquet-Lagrèze, 1984]), que implementa uma abordagem do tipo *desagregação-agregação* (cf. [Jacquet-Lagrèze, 1979 e 1990]). A ideia subjacente é engenhosa: partir de juízos holísticos de valor global sobre um sub-conjunto de alternativas (no caso, uma ordenação de 5 das propostas) e encontrar os parâmetros do modelo para os quais a função  $V$  é compatível com (reproduz) esses juízos (ordenação) - fase de *desagregação* - e em seguida aplicar o modelo  $V$  assim encontrado para determinar os valores globais de todas as alternativas - fase de *agregação*. O cálculo de  $V$  é feito pelo método de regressão ordinal UTA I (cf. [Jacquet-Lagrèze e Siskos, 1982]). Na literatura, os casos descritos de aplicação desta metodologia (cf. [Jacquet-Lagrèze e Shakun, 1984], [Moscarola e Siskos, 1984]) deixam livres não só os valores para as constantes  $p_j$  mas também as funções-critérios  $v_j$ . No nosso caso, adaptámos o PREFCALC para determinar apenas os  $p_j$  ( $j = 1, \dots, 9$ ), entrando directamente as funções  $v_j$  com *inputs*. Finalmente, note-se que o conjunto de soluções possíveis é um poliedro no espaço dos parâmetros desconhecidos. A solução oferecida pelo PREFCALC é a que maximiza a mínima diferença de valor global entre duas alternativas.

### 3.4. Interpretação dos resultados da aplicação do sistema PREFCALC

A aplicação da abordagem descrita no parágrafo anterior, para as ordenações da CML e do GNFL definidas no mesmo parágrafo, conduziu naturalmente a dois valores globais diferentes,  $V_{GNFL}(a)$  e  $V_{CML}(a)$ , para cada proposta  $a$  (ver quadro VII), excepto obviamente para o robot neutro cujo valor global é sempre 0 (ver § 2.3 e § 3.2).

É oportuno recordar que a problemática deste estudo é a concepção de uma proposta de consenso, nomeadamente entre os intervenientes GNFL e CML de posições mais extremadas, tendo sido neste sentido que a equipa do Plano desenvolveu a sua proposta PLANO. Ora, o modelo multicritério construído permite definir formalmente o que entender por *proposta de consenso*, neste contexto: será qualquer proposta que seja *globalmente boa*, isto é, cujo valor global seja positivo - superior ao do robot neutro.

A análise do quadro VII mostra que *qualquer das 9 soluções iniciais está longe de ser globalmente boa (consensual), pois que nenhuma apresenta valores globais sempre positivos*. É por isso, afinal, que existe conflito: o quadro VII confirma que as propostas do GNFL são, naturalmente, boas para o GNFL, o mesmo se passando do lado da CML com as suas propostas, mas, desafortunadamente, o que é bom para um é mau para o outro interveniente. Por outro lado, no que se refere às propostas da CP, enquanto CP3 se aproxima das do GNFL mas sendo má para a CML, CP4 responde às preocupações da CML (tem até o melhor valor global na perspectiva CML) mas é nitidamente má na perspectiva GNFL. De CP1 e CP2 os números apontam para um consenso infelizmente pela negativa.

A proposta da equipa do PLANO é, finalmente, a que está mais próxima de ser consensual: é boa, até é a melhor, na perspectiva GNFL e pode considerar-se neutra na perspectiva CML.

Quadro VII. Valores globais das propostas para os sistemas de valores do GNFL e da CML

	GNFL 1	GNFL 2	CML 1	CML 2	CML 3	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	Plano	Robot Neutro
$V_{GNFL}$	67	46	-23	-64	-44	-95	-59	36	-64	77	0
$V_{CML}$	-48	-42	0	30	22	-30	-34	-58	68	-2	0

#### 4. Conclusões

O estudo descrito neste artigo mostra as potencialidades das Metodologias Multicritérios, quando aplicadas em contextos decisoriais complexos, para modelizar sistemas de preferência, para abrir caminho ao diálogo e à participação, para ajudar a elaborar, a justificar e/ou a transformar juízos de valor e, também, no apoio à construção de boas soluções para os problemas que se colocam no seio das organizações e em particular ao nível do sector público - talvez seja esta até a maior das suas virtudes.

No caso do problema da ligação ferroviária ao porto de Lisboa, o modelo de avaliação está concebido e implementado informaticamente, e portanto está pronto a ser utilizado quer como suporte a cada interveniente isoladamente, quer em eventuais futuras negociações. Mas também a equipa do Plano pode socorrer-se dele para fazer melhor. De facto, caso a equipa consiga alterar a sua proposta PLANO no sentido de melhorar um ou mais dos seus impactes menos bons, poderá gerar uma solução mais robusta do ponto de vista do consenso. Por exemplo, menos 200 m de nível de impacte em  $PV_1$  e  $PV_2$ , baixando de 600m para 400m, mesmo que implicasse um agravamento ligeiro dos encargos com a construção, por exemplo, mais 10% de impacte (um aumento de custo de 2,75 para 3 milhões de contos) e mantendo inalterados os níveis nos outros pontos de vista, resultaria numa solução, chamemos-lhe PLANOVO, a que o modelo de avaliação atribui os valores globais  $V_{GNFL}(\text{PLANOVO}) = 69$  e  $V_{CML}(\text{PLANOVO}) = 6$ , que continua a ser a melhor na perspectiva GNFL e passa a positiva na perspectiva CML.

Por fim, pode ser apontado com um ponto fraco da metodologia a opção pela construção de funções de valor com base em juízos de valor da própria equipa do Plano, sem intervenção dos

actores. De facto, o recurso a outras abordagens multicritérios, do tipo subordinação (*surclassement*, cf. [Roy e Bouyssou, 1993]) por exemplo, teria permitido contornar esse problema derivado da não interacção equipa de estudo - intervenientes, mas outros problemas surgiriam, nomeadamente os relativos à definição de limiares de veto, ou outros novos parâmetros, e maiores dificuldades de implementação. A opção que tomámos teve em conta os prós e os contras de cada abordagem disponível, no contexto decisório particular em questão. Entretanto, note-se que as funções de valor utilizados no modelo de agregação, e até o próprio modelo em si, são apenas hipóteses de trabalho no seio da via *construtivista* que defendemos ser a mais adequada seguir na actividade do apoio à decisão (cf. [Bana e Costa, 1994]). Além disso, a componente *descritivista* do modelo, traduzida na derivação de valores globais para as alternativas a partir de ordenações parciais, foi ela própria utilizada numa perspectiva puramente construtiva, enquanto hipótese de trabalho. Este mesmo tipo de argumentação pode ser utilizada para justificar a construção do *robot neutro* pela equipa de estudo, que também deve ser entendida como hipótese de trabalho a ser validada em fase posterior de negociação entre os vários intervenientes. De qualquer modo, o sistema concebido não é fechado: ele está plenamente aberto a alterações em qualquer das variáveis do modelo - a ser usado para encontrar respostas a dúvidas ou questões dos actores, incluindo a equipa do Plano, e como chave para abrir a porta à descoberta de novas soluções.

Ainda uma nota final relativa à não divulgação dos valores obtidos para as constantes de escala ("pesos"), seja para o modelo GNFL seja para o modelo CML. Lembre-se que, no quadro teórico de um modelo aditivo, os valores das constantes de escala dependem dos intervalos de escala arbitrados para as funções-critérios (ver, a propósito, [Weber e Borcherding, 1993]), não sendo pois os valores desses parâmetros directamente associáveis à noção intuitiva de importância dos pontos de vista fundamentais respectivos. Dito de outro modo, a divulgação dos pesos poderia levar a interpretações incorrectas sobre a importância relativa de cada ponto de vista para cada um dos actores.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a valiosa colaboração do Eng. Carlos Correia, bolseiro do CESUR e membro da equipa de estudo, na preparação do artigo e na produção das figuras. Uma palavra também de agradecimento e muito apreço, pelo cuidado posto por um revisor anónimo na análise crítica do artigo.

## Referências

- [1] Bana e Costa, C.A. (1992a), Structuration, Construction et Exploitation d'un Modèle Multicritère d'Aide à la Décision, *Tese de Doutoramento em Engenharia de Sistemas, UTL, IST*, 1993.
- [2] Bana e Costa, C.A. (1992b), Absolute and relative evaluation problematiques. The concept of neutral level and the MCDA Robot Technique, in Cerny, D. Glúckafová and D. Loula (eds.), *Proceedings of the International Workshop on Multicriteria Decision Making, Methods - Algorithms - Applications, Liblice, march 18-22, 1991, Prague* (7-15).
- [3] Bana e Costa, C.A. (1993), Les problématiques dans le cadre de l'activité d'aide à la décision, *Document du LAMSADE*, 80, Université de Paris-Dauphine, França.
- [4] Bana e Costa, C.A. (1994), Convictions et Aide à la Décision, *Newsletter of the European Working Group "Multicriteria Aid for Decisions"*, Series 2, nº3, (1-3).
- [5] Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.-C. (1994), Uma nova abordagem ao problema da construção de uma função de valor cardinal: MACBETH, comunicação ao *Congresso IO 94*, Braga, Março de 1994.
- [6] Blumenthal, A.L. (1977), *The Process of Cognition*, Prentice-Hall.
- [7] Bovy, Ph. H. (1983), Transports Collectifs du Sud-Ouest Lausannois, Rapport de Synthèse 1, *ITEP/Etat de Vaud, Suíça*.
- [8] Edwards, W., Newman, J.R. (1982), *Multiaattribute Evaluation*, Sage.
- [9] Jacquet-Lagrèze, E. (1979), De la logique d'agrégation des critères à une logique d'agrégation-désagrégation de préférences et de jugements, *Cahiers de l'ISMEA : Série Sciences de Gestion*, 13 (839-859).
- [10] Jacquet-Lagrèze, E. (1984), PREFCALC: Evaluation et décision multicritère, *Revue de l'Utilisateur de l'IBM PC*, 3 (38-55).
- [11] Jacquet-Lagrèze, E. (1990), Interactive Assessment of preferences using holistic judgements: the PREFCALC system, in C.A. Bana e Costa (ed.), *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, Springer-Verlag, (335-350).
- [12] Jacquet-Lagrèze, E., Siskos, J. (1982), Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision making, *EJOR*, 10, 2 (151-164).
- [13] Jacquet-Lagrèze, E., Shakun, M.F. (1984), Decision support systems for semistructured buying decisions, *EJOR*, 16, 1 (48-56).
- [14] Keeney, R.L. (1992), *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking*, Harvard University Press.
- [15] Keeney, R.L., Raiffa, H. (1976), *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*, John Wiley.
- [16] MacCrimmon, K.R. (1969), Improving the system design and evaluation process by the use of trade-off information: an application to northeast corridor transportation planning, RM-5877-DOT, Rand Corporation.
- [17] Moscarola, J., Siskos, J. (1984), Analyse a posteriori d'une étude d'aide à la décision en matière de gestion d'un réseau de distribution, in E. Jacquet-Lagrèze, J. Siskos (eds.), *Méthode de Décision Multicritère*, Editions Hommes et Techniques (143-167).
- [18] Rescher, N. (1969), *Introduction to Value Theory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [19] Roy, B., Bouyssou, D. (1993), *Aide Multicritère à la Décision : Méthodes et Cas*, Economica.
- [20] Roy, B., Hugonnard, J.Ch. (1982), Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria methods, *Transportation research*, 16A (301-312).
- [21] Simos, J. (1990), *Evaluer l'Impact sur l'Environnement*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- [22] Vansnick, J.-C. (1989), Application of multicriteria decision-aid to allocating budget for building repairs and maintenance, in M.T. Tabucanon and V. Chankong (eds.) *Proceedings of the International Conference on Multiple Criteria Decision Making: Applications in Industry and Service*, Asian Institute of Technology, Bangkok, 6-8 décembre (629-642).
- [23] Weber, M., Borcherding, K. (1993), Behavioral influences on weight judgements in multiattribute decision making, *EJOR*, 67 (1-12).
- [24] Von Winterfeldt, D., Edwards, W. (1986), *Decision Analysis and Behavioral Research*, Cambridge University Press.
- [25] Von Wright, G.H. (1963), *The Logic of Preference*, Edinburgh University