

AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DE ALTERNATIVAS DE DECISÃO

Rui Assis
rassis46@gmail.com
www.rassis.com

Outubro/2012

OBJECTIVOS ESPECÍFICOS

No final desta Unidade Temática, o formando deverá ser capaz de:

- Reconhecer que uma decisão deve ser tomada, sempre que possível, com base num conjunto de critérios e não, apenas, com base na intuição;
- Avaliar o mérito de várias alternativas de decisão com base em critérios quantitativos e qualitativos;
- Reduzir o grau de subjectividade sempre presente no julgamento de alternativas com base em critérios qualitativos.

TEMAS

2.1 Introdução

2.2 Avaliação Multicritério de Alternativas nas Empresas

2.3 Métodos de Análise

2.4 Normalização

2.4.1 Normalização de atributos objectivos (MO)

2.4.2 Normalização de atributos subjectivos (MS)

2.4.3 Normalização de critérios

2.4.4 Modelo de *Brown-Gibson*

2.4.5 Análise de sensibilidade

2.5 O Método Hierárquico Multicritério (MHM)

2.5.1 Construção de uma hierarquia

2.5.2 Determinação da coerência dos julgamentos

2.5.3 Determinação da coerência global dos julgamentos

2.5.4 Hierarquias com mais de três níveis

ANEXO I – Terminologia em Decisão Multicritério

ANEXO II – Método de *Delphi*

ANEXO III – Características do MHM

2.6 Actividades/Avaliação

2.6.1 Selecção de um Local para Armazém

2.6.2 Selecção de um Equipamento

2.6.3 Qualificação de Fornecedores

2.6.4 Selecção de um Sistema de Informação

2.6.5 Controlo de Desempenho

2.7 Bibliografia

2.1 Introdução

Optar entre várias alternativas de escolha, é uma actividade bastante comum. Com efeito, no nosso quotidiano somos confrontados com variadíssimas situações decisionais: individuais ou colectivas, na actividade profissional ou na nossa vida familiar.

A tomada de decisão é parte integrante das nossas vidas. É também uma actividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, em que temos de escolher não apenas entre possíveis alternativas de acção, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas acções, isto é, de considerar toda uma multiplicidade de factores (ou atributos) directa ou indirectamente relacionados com a decisão a tomar. Por exemplo, o processo de decidir que automóvel comprar, envolve não só a pré-definição, face aos objectivos da compra, de um conjunto de modelos entre as marcas presentes no mercado, para subsequente avaliação e escolha final, mas também a selecção de critérios para tal apropriados: preço, potência, custos de manutenção, consumo e desvalorização previsível, estética, conforto, segurança e tantos outros.

A relevância da chamada “Tomada de Decisão Multi-Critério ou Multi-Objectivo” resulta do facto de na maioria das situações decisionais, no campo da engenharia, da gestão de empresas, no mundo dos negócios, na administração pública, estarem presentes e terem de ser ponderados vários objectivos, frequentemente conflitantes. Com efeito, um aumento do nível de desempenho segundo um deles, pode fazer-se acompanhar de um decréscimo segundo algum dos outros - conforme se verifica, por exemplo, entre a “minimização do custo” e a “maximização da qualidade de serviço”.

A tomada de decisão pode ser definida como um esforço para resolver o dilema dos objectivos conflitantes, cuja presença impede a existência de uma solução “óptima” e nos conduz para a procura da solução de “melhor compromisso”. Daí a grande importância do método multicritério ou multiobjectivo como instrumento de apoio à decisão.

Melhor compromisso

Em resumo e de uma forma geral, podemos dizer que um problema de decisão é um problema em que, face a um conjunto de objectivos, há que considerar um conjunto de soluções possíveis, ou alternativas, de entre as quais se pretende escolher a melhor, ou delimitar o subconjunto das boas, ou ordená-las por ordem decrescente de preferência global. Outras vezes, pretende-se apenas descrever as alternativas e caracterizar as suas múltiplas consequências, de forma a facilitar a avaliação e comparação das vantagens e desvantagens relativas.

2.2 Avaliação Multicritério de Alternativas nas Empresas

Com a globalização da economia e o aumento da concorrência, as empresas vêm-se compelidas, desde há alguns anos, a integrar nos seus objectivos não só objectivos económicos clássicos tendentes à maximização do lucro mas também objectivos não económicos e, contudo, vitais para a sua sobrevivência. Alguns destes objectivos não económicos referem-se a necessidades sociais dos trabalhadores, à ética ambiental, à qualidade dos produtos, às relações com fornecedores e distribuidores, à imagem/prestígio, à legislação, à resposta rápida a solicitações do mercado, etc.

Objectivos não económicos

Existem muitas situações no quotidiano das empresas em que o processo de decisão tem de considerar critérios múltiplos. Assim, uma empresa pode querer determinar a alocação óptima dos seus produtos aos diferentes mercados, de forma a otimizar simultaneamente os resultados económicos e a quota de mercado; a empresa pode também desejar alocar a produção dos seus produtos às várias unidades fabris de forma a maximizar a sua ocupação e, simultaneamente minimizar os custos de produção. Uma empresa que pretende preencher uma vaga de pessoal, terá em consideração as diferentes características dos candidatos de forma a julgar a sua adequabilidade ao lugar.

A uma escala macro, um governo pode estar interessado em promover diferentes tipos de indústria em diferentes regiões, de forma a promover as exportações, maximizar as oportunidades de emprego e distribuir a riqueza mais uniformemente entre as regiões, dependendo das suas prioridades.

Para julgar localizações alternativas de uma nova fábrica, uma empresa deve tomar em consideração, entre outras, as distâncias aos mercados, os factores de custo locais e a disponibilidade de mão-de-obra qualificada.

Estas e muitas outras situações demonstram o facto de que o Processo de Decisão Multicritério faz parte, hoje em dia, das actividades vitais de uma organização.

2.3 Métodos de Análise

Muitos métodos foram desenvolvidos nestes últimos anos de forma a possibilitarem a análise multicritério de alternativas de decisão. Esta obra trata apenas de dois dos mais populares: o Modelo de *Brown-Gibson* e o Método Hierárquico Multicritério (MHM).

Modelo de *Brown-Gibson* e o Método Hierárquico Multicritério (MHM)

Em qualquer dos métodos devem ter-se em conta as seguintes regras para escolha de critérios de avaliação de alternativas:

1. Cada critério distingue pelo menos duas alternativas, ou seja, o mesmo valor do seu descritor (ou atributo) nunca se aplica a todas as alternativas;
2. Cada critério deve traduzir uma faceta única do problema em análise, isto é, os critérios nunca devem ser dependentes entre si nem redundantes;
3. O conjunto de critérios deve ser suficiente para seleccionar a melhor alternativa;
4. As diferenças dos valores dos descritores de cada critério possuem significado e permitem distinguir diferentes alternativas entre si.

Regras para selecção de critérios

Notar que os critérios podem ser descritos por atributos qualitativos ou subjectivos (qualidade de um equipamento, estética, segurança, etc.) ou por atributos quantitativos ou objectivos (Kms a percorrer, nº de habitantes de uma certa região, milhares de euros de investimento, etc.).

Atributos qualitativos e atributos quantitativos

A quantificação dos atributos subjectivos pode ser conseguida através do método de *Delphi* descrito no Anexo II.

Método de *Delphi*

2.4 Normalização

A normalização tem como objectivos:

- Conseguir que a soma das ponderações de todos os critérios à luz dos quais as várias alternativas são avaliadas resulte igual a 1. Para tal, é necessário obter para cada critério um valor na escala de 0 a 1;
- Conseguir que a soma das classificações de todas as alternativas à luz de cada critério (objectivo ou subjectivo) resulte igual a 1. Para tal, é necessário obter para cada atributo um valor na escala de 0 a 1;
- Conseguir que a soma das classificações globais de todas as alternativas à luz dos vários critérios resulte igual a 1. Para tal, é necessário obter para cada alternativa um valor na escala de 0 a 1. Estes valores traduzem a “atractividade” ou “mérito relativo” de cada alternativa à luz dos vários critérios usados na sua avaliação.

2.4.1 Normalização de atributos objectivos

O atributo de uma alternativa à luz de determinado critério de natureza quantitativa A_n pode ser considerado “quanto maior melhor” ou, pelo contrário, “quanto maior pior”. Assim, teremos duas formas diferentes de o normalizar (ou de obter a sua medida objectiva MO_n):

1. Se for, desejavelmente, “quanto maior melhor”, então:

Quanto maior melhor

$$MO_n = \frac{A_n}{\sum_1^N A_n}$$

Em que: N – nº de alternativas ($1 \leq n \leq N$);
 A_n – atributo de uma alternativa à luz do critério n .

2. Se for, desejavelmente, “quanto maior pior”, então:

Quanto maior pior

$$MO_n = \frac{1}{A_n \cdot S} \quad S = \sum_1^N \frac{1}{A_n}$$

Notar que, os atributos do tipo “quanto maior pior” podem ser convertidos em “quanto maior melhor” se calcularmos os seus inversos. Neste caso, em vez de se usar a última fórmula para a normalização dos atributos, passamos a usar apenas a primeira.

Exemplo 2.1

Os custos anuais equivalentes e as fiabilidades proporcionadas pela operação de três equipamentos alternativos são os seguintes:

Alternativas	Fiabilidade (MTBF em horas)	Custos (anuidade em euros/ano)
Equipamento I	900	120.000
Equipamento II	600	150.000
Equipamento III	300	170.000

QUADRO 2.1 – Valores dos atributos das três alternativas

À luz do critério “Fiabilidade”, medido pelo atributo tempo médio entre falhas (MTBF) em horas, teremos:

$$\sum A_n = 900 + 600 + 300 = 1.800$$

Logo:

$$MO_I = 900 / 1.800 = 0,500$$

$$MO_{II} = 600 / 1.800 = 0,333$$

$$MO_{III} = 300 / 1.800 = \frac{0,167}{1,000}$$

Notar que MO_n e A_n mantêm entre si uma relação linear e directamente proporcional conforme se pode ver na Figura 2.1.

Linearidade entre a preferência e o atributo

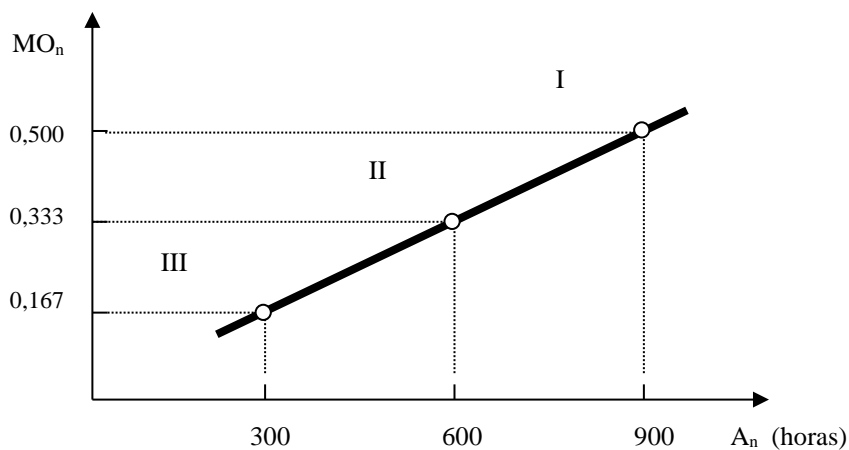


Figura 2.1 – Proporcionalidade directa entre a preferência e o atributo

Isto quer dizer que a alternativa I é preferível 1,5 vezes à II e que a alternativa II é preferível 2 vezes à III. Em consequência, a alternativa I é preferível $1,5 \times 2 = 3$ (ou $0,500 / 0,167 = 3$) vezes a III.

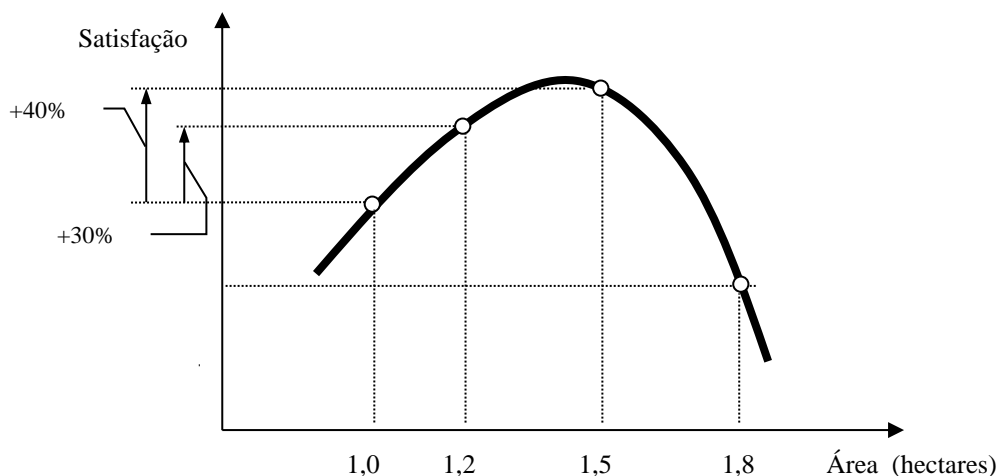


Figura 2.3 – Relação empírica entre a preferência (ou satisfação) e o atributo

A forma de quantificar o grau de satisfação nestes casos será abordada mais adiante no ponto 2.5.1, através de um método de comparação das alternativas duas a duas.

2.4.2 Normalização de atributos subjectivos

A medida subjectiva MS_n de uma alternativa à luz de determinado critério de natureza qualitativa, pode ser ponderada pelo analista numa qualquer escala (função apenas da precisão desejada).

Assim, por exemplo, poderá adoptar-se uma das escalas descritas no Quadro seguinte.

	Pesos na escala 1 a 5	Pesos na escala 1 a 10	Pesos na escala 1 a 20
Excelente	5	10	20
Muito bom	4	8	16
Bom	3	6	12
Suficiente	2	4	8
Sofrível	1	2	4

QUADRO 2.2 – Exemplo de três escalas de ponderação

Notar que as escalas se equivalem pois existe sempre a mesma proporção relativa entre os seus diferentes níveis (por exemplo, Muito bom/Suficiente: $4/2 = 8/4 = 16/8 = 2$).

Atribuindo-se pesos numa certa escala, tanto mais elevados quanto maior for o mérito da alternativa em apreço, a normalização da escala obtém-se facilmente a partir de uma transformação linear apresentando proporcionalidade directa:

Linearidade entre a preferência e o atributo

$$MS_n = \frac{P_n}{\sum_1^N P_n}$$

Em que: N – nº de alternativas ($1 \leq n \leq N$);
 P_n – peso de uma alternativa à luz do critério n .

Exemplo 2.2

As alternativas de equipamento consideradas atrás no Exemplo 2.1 mereceram, por parte do decisor, a seguinte avaliação do critério “Garantia de manutenção de 3º nível” (assistência técnica por parte do construtor):

Alternativas	Classificação	Pontuação
Equipamento I	Razoável	2
Equipamento II	Boa	3
Equipamento III	Fraca	1

QUADRO 2.3 – Pontuação das três alternativas

Ter-se-ia, então: $\sum P_n = 2 + 3 + 1 = 6$

E, logo:

$$MS_I = 2/6 = 0,333$$

$$MS_{II} = 3/6 = 0,500$$

$$MS_{III} = 1/6 = \underline{0,167}$$

$$1,000$$

2.4.3 Normalização de critérios

A importância relativa dos critérios para o efeito de avaliação de várias alternativas é também ponderada numa escala subjectiva e igualmente normalizada, da mesma forma como foi visto no ponto anterior.

Exemplo 2.5

Considerando os Exemplos anteriores 2.3 e 2.4, a medida de mérito resultante da avaliação de cada alternativa n , MM_n , para qualquer valor de α ($0 \leq \alpha \leq 1$), à luz dos vários critérios, pode agora ser calculada. Fazendo, por exemplo, $\alpha = 0,3$, obter-se-á:

$$\begin{aligned} MM_I &= 0,3 \times 0,475 + (1 - 0,3) \times 0,317 = & 0,364 \\ MM_{II} &= 0,3 \times 0,329 + (1 - 0,3) \times 0,296 = & 0,306 \\ MM_{III} &= 0,3 \times 0,196 + (1 - 0,3) \times 0,387 = & \underline{0,330} \\ & & 1,000 \end{aligned}$$

Em conclusão, segundo os critérios objectivos, a alternativa I é a melhor mas, segundo os critérios subjectivos, a alternativa melhor é antes a III. Contudo, ponderando o conjunto de critérios objectivos com o peso de 0,3 e o conjunto de critérios subjectivos com o peso de $1 - 0,3 = 0,7$, conclui-se que a alternativa I – com uma pontuação de 0,364 – é a melhor.

Conclusão

No caso da melhor alternativa apresentar uma pontuação muito próxima da de outra (ou de outras) alternativas, o desempate pode conseguir-se introduzindo-se um ou mais critérios (ou sub-critérios) que confirmam maior precisão às ponderações das várias alternativas à luz dos vários critérios.

2.4.5 Análise de sensibilidade

Muitas vezes torna-se útil conhecer o efeito de alterações do valor de α na avaliação final. Este efeito pode ser rapidamente conhecido através de uma representação gráfica da expressão de *Brown-Gibson*, conforme se ilustra na Figura 2.4 adiante.

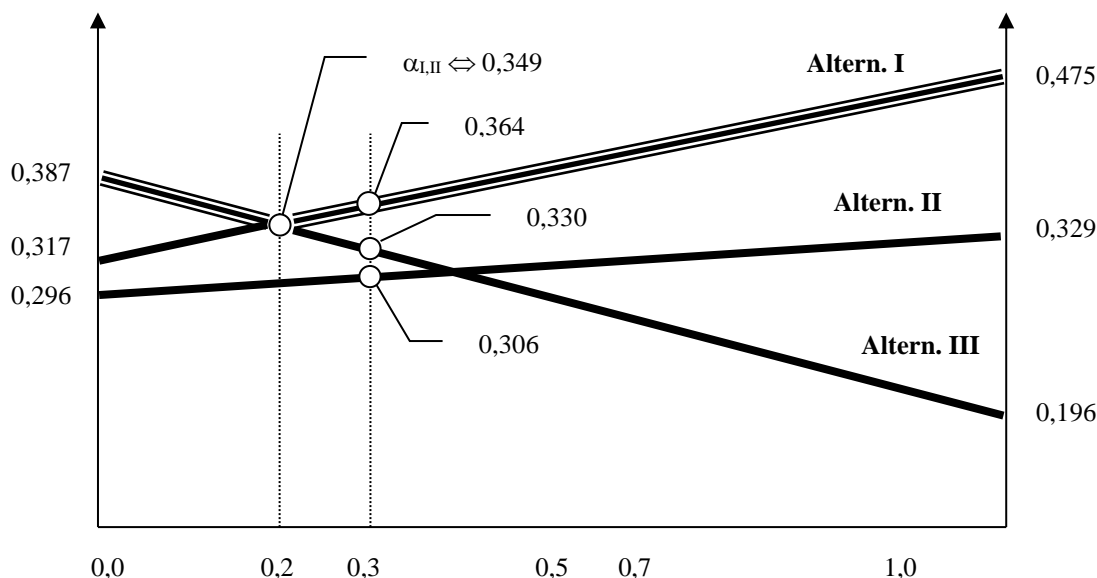


Figura 2.4 – Análise de sensibilidade do modelo de Brown-Gibson

O gráfico da Figura 2.4 mostra que a alternativa I é preferível à alternativa II para qualquer valor de α e que as alternativas I e III possuem o mesmo mérito (a seleção de uma ou de outra é indiferente), ou seja, 0,349, quando $\alpha = 0,2$.

Para: $0 \leq \alpha \leq 0,2$ a alternativa III é a melhor;

Para: $0,2 < \alpha \leq 1,0$ a alternativa I é a melhor.

O modelo de *Brown-Gibson* permite assim pôr em destaque os critérios mais importantes, os pontos de indiferença e as zonas de dominância das várias alternativas, de forma a apoiar o processo de tomada de decisão.

Vantagens do modelo de *Brown-Gibson*

Notar que este método não elimina a subjectividade da avaliação mas, apenas a reconhece e tenta quantificá-la. Em consequência o factor de subjectividade α deve ser ponderado cuidadosamente.

Quantificação da subjectividade

Notar também que este modelo não é sensível a diferenças multiplicativas dos atributos. Com efeito, duas alternativas – uma custando 20.000 euros e outra 30.000 euros – apresentarão os mesmos factores de medida objectiva que apresentariam se os seus custos fossem antes 200.000 euros e 300.000 euros, embora exista uma diferença de 10.000 euros no primeiro caso e de 100.000 euros no segundo caso.

Sensibilidade a diferenças multiplicativas

2.5 O Método Hierárquico Multicritério (MHM)

Este método é particularmente adequado para estruturar um problema complexo considerando vários critérios e podendo abranger vários períodos, de uma forma hierárquica. A comparação dois a dois de elementos (alternativas, critérios, subcritérios, sub-subcritérios, etc.) pode realizar-se usando uma escala que permite avaliar em que medida um elemento domina outro segundo a perspectiva de um elemento de nível imediatamente superior. Este processo de escalonamento pode depois ser transformado em graus de prioridade (preferência, satisfação ou utilidade) na comparação de diferentes alternativas de decisão.

O MHM comporta cinco fases:

1. Construção de uma hierarquia de elementos relacionados e identificação de alternativas de decisão;
2. Determinação da importância relativa dos critérios e (eventuais) subcritérios;
3. Determinação do peso de cada alternativa à luz de cada critério (ou subcritérios);
4. Determinação dos indicadores de coerência das comparações dois a dois;
5. Determinação do peso (ou classificação) global de cada alternativa.

Fases do MHM

O processo de cálculo dos vectores de preferência e dos rácios de coerência é normalmente complexo e moroso pelo que se torna adequado o recurso a um computador.

2.5.1 Construção de uma hierarquia

O MHM começa por decompor um problema de decisão complexo numa hierarquia de sub-problemas. A Figura 2.5 mostra a forma clássica de uma hierarquia MHM aplicada à selecção de um equipamento. O objectivo do problema decisional é representado no topo (nível I). No nível II encontram-se representados os critérios considerados pertinentes para o alcance do objectivo. Os próximos níveis descendentes podem conter subcritérios, sub-subcritérios, etc. As alternativas em avaliação (cinco propostas de fornecimento neste caso) são representadas no nível mais baixo.

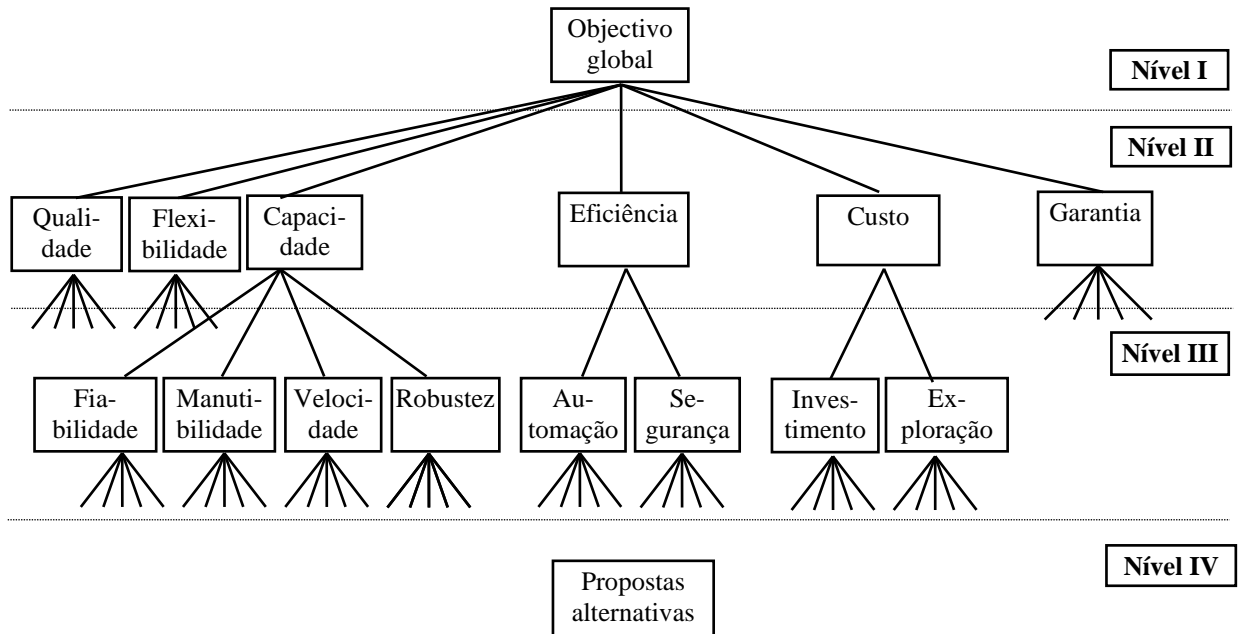


Figura 2.5 – Hierarquia (ou árvore) de decisão

A matemática do MHM é baseada no princípio da composição de hierarquias. Segundo este princípio, os elementos que integram um mesmo nível hierárquico são independentes entre si.

Considere-se, por exemplo, o nível II da Figura 2.5 anterior. De acordo com este princípio todos os critérios que nele figuram são independentes, isto é, uma alteração do valor do atributo de um destes critérios não implica a alteração do valor do atributo de qualquer outro critério.

Para construção de uma hierarquia devem ter-se em conta as seguintes regras:

1. O nº de níveis deve ser suficiente para representação correcta do problema decisional em apreço;
2. A ordenação dos vários níveis deve corresponder a relações lógicas de causa-efeito entre níveis adjacentes;
3. O nº de elementos em cada nível deve ser o adequado à descrição desse nível com suficiente detalhe sem gerar complexidade desnecessária.

Regras de construção de uma hierarquia

Vejamos como se desenvolve o MHM com o apoio de um exemplo.

Exemplo 2.6

Uma empresa pretende modernizar-se e possui três projectos alternativos P1, P2 e P3. Para o processo de decisão a empresa considera pertinentes cinco critérios: “Objectivo CIM”, “Rentabilidade” (VAL em milhares de euros), “Rapidez de resposta”, “Esforço de gestão” (horas) e “Fiabilidade”. A representação gráfica da hierarquia de decisão encontra-se na Figura 2.6.

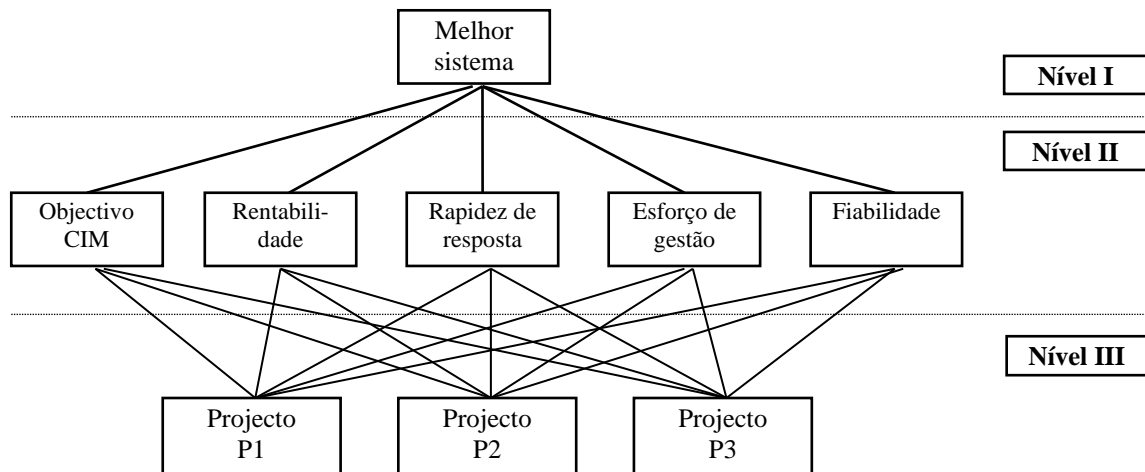


Figura 2.6 – Hierarquia de decisão de três níveis (caso tratado no Exemplo 2.6)

Vejam os passos a dar até se chegar a uma conclusão.

Passo 1 – Determinação da importância dos critérios e subcritérios

Passo 1

Uma vez estabelecida a hierarquia, fixam-se as prioridades (pesos relativos de importância) de cada elemento inscrito em cada nível da hierarquia (apenas o nível II no caso deste Exemplo). As prioridades obtêm-se pedindo às várias pessoas que contribuam para a decisão, que avaliem os vários elementos em cada nível. Esta avaliação processa-se comparando entre si cada dois elementos de um nível da hierarquia no respeitante à sua importância relativa para cada elemento situado ao nível imediatamente superior. Esta avaliação é acompanhada de perguntas do género:

- Ao nível dos critérios, “À luz do objectivo global “Melhor sistema”, em que medida considera mais importante o critério “Objectivo CIM” do que o critério “Rentabilidade” ?” ;
- Ou, ao nível das alternativas, “Na perspectiva do critério “Rapidez de resposta”, em que medida prefere o projecto P1 ao projecto P2 ?”.

Questões típicas

A resposta a estas questões toma a forma de um valor entre 1 e 9 e dos seus recíprocos. A magnitude da resposta indica o grau de preferência de um elemento da decisão em relação a outro. De uma forma geral, devemos considerar o referencial de preferências descrito no Quadro 2.7.

	Escala de preferências
. Se x é tão importante (preferível) como y, então ...	1
. Se x é pouco mais importante (preferível) do que y, então ...	3
. Se x é mais importante (preferível) do que y, então ...	5
. Se x é muito mais importante (preferível) do que y, então ...	7
. Se x é muitíssimo mais importante (preferível) do que y, então ...	9

QUADRO 2.7 – Referencial de preferências

Os números pares 2, 4, 6 e 8 podem ser usados na representação de compromissos entre as preferências da escala acima. As comparações inversas, ou seja y em relação a x, são estabelecidas através dos recíprocos da escala de preferências.

O Quadro 2.8 mostra uma matriz onde foram inscritas as preferências resultantes da comparação dois a dois dos cinco critérios do Exemplo 2.6, à luz do objectivo global “Melhor sistema”.

	A	B	C	D	E
A – Objectivo CIM	1	1/3	5	6	5
B – Rentabilidade	3	1	6	7	6
C – Rapidez de resposta	1/5	1/6	1	3	1
D – Esforço de gestão	1/6	1/7	1/3	1	1/4
E – Fiabilidade	1/5	1/6	1	4	1

QUADRO 2.8 – Matriz de preferências dos critérios

Nesta matriz pode ver-se, por exemplo, que o critério C foi considerado pouco mais importante do que o critério D (preferência 3) e tão importante como o critério E (preferência 1).

Notar que os valores inscritos em cada coluna são recíprocos dos valores inscritos nas linhas correspondentes e que a diagonal onde se intersectam os mesmos critérios se encontra, logicamente, preenchida com o valor 1, resultando sempre uma matriz simétrica.

Passo 2 – Cálculo do vector de prioridades (ou dos pesos dos elementos da matriz)

Passo 2

Em termos de cálculo matricial, os pesos dos elementos da matriz obtêm-se calculando o vector principal da matriz e normalizando-a depois, de forma a somar 1.

Começa-se por representar todos os elementos da matriz sob a forma decimal, somando-se depois todas as colunas. Em seguida, divide-se cada

elemento da matriz pelo resultado da soma da coluna a que pertence. Calculam-se depois as médias aritméticas das várias linhas da matriz resultante, obtendo-se finalmente o vector principal (ou vector de prioridades). Estes cálculos encontram-se representados seguidamente.

	A	B	C	D	E
A – Objectivo CIM	1	1/3	5	6	5
B – Rentabilidade	3	1	6	7	6
C – Rapidez de resposta	1/5	1/6	1	3	1
D – Esforço de gestão	1/6	1/7	1/3	1	1/4
E – Fiabilidade	1/5	1/6	1	4	1
$\Sigma =$	4,567	1,810	13,333	21,000	13,250

QUADRO 2.9 – Soma das colunas da matriz de preferências dos critérios

	A	B	C	D	E	Σ	$\Sigma/5$
A – Objectivo CIM	0,219	0,184	0,375	0,286	0,377	1,411	0,288
B – Rentabilidade	0,657	0,553	0,450	0,333	0,453	2,446	0,489
C – Rapidez de resposta	0,044	0,092	0,075	0,143	0,075	0,430	0,086
D – Esforço de gestão	0,036	0,079	0,025	0,048	0,019	0,207	0,041
E – Fiabilidade	0,044	0,092	0,075	0,190	0,075	0,477	0,095
$\Sigma =$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000

QUADRO 2.10 – Matriz de preferências dos critérios normalizada

O vector principal será, pois:

A – Objectivo CIM	0,288
B – Rentabilidade	0,489
C – Rapidez de resposta	0,086
D – Esforço de gestão	0,041
E – Fiabilidade	0,095
$\Sigma =$	1,000

QUADRO 2.11 – Vector principal dos critérios

Passo 3 – Determinação da importância das alternativas em relação a cada critério

O próximo passo consiste em calcular o vector principal de cada alternativa em relação a cada elemento (critério, subcritério, sub-subcritério, etc.) constante no nível imediatamente superior.

O processo de cálculo em relação aos elementos subjectivos é, em tudo, igual ao usado no passo anterior. Suponhamos que o processo de comparação duas a duas das alternativas em relação aos elementos subjectivos produziu os seguintes resultados:

Em relação ao critério “Objectivo CIM”:

	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Σ	Σ/3
P1	1	1/3	1	0,200	0,182	0,250	0,632	0,211
P2	3	1	2	0,600	0,545	0,500	1,645	0,548
P3	1	1/2	1	0,200	0,273	0,250	0,723	0,241
Σ =	5,000	1,833	4,000	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000

QUADRO 2.12 – Matriz normalizada das alternativas à luz do critério A

Em relação ao critério “Rapidez de resposta”:

	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Σ	Σ/3
P1	1	2	2	0,500	0,500	0,500	1,500	0,500
P2	1/2	1	1	0,250	0,250	0,250	0,750	0,250
P3	1/2	1	1	0,250	0,250	0,250	0,750	0,250
Σ =	2,000	4,000	4,000	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000

QUADRO 2.13 – Matriz normalizada das alternativas à luz do critério C

Em relação ao critério “Fiabilidade”:

	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Σ	Σ/3
P1	1	3	4	0,632	0,667	0,571	1,870	0,623
P2	1/3	1	2	0,211	0,222	0,286	0,718	0,239
P3	1/4	1/2	1	0,158	0,111	0,143	0,412	0,137
Σ =	1,583	4,500	7,000	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000

QUADRO 2.14 – Matriz normalizada das alternativas à luz do critério E

Suponhamos agora que as alternativas apresentam os seguintes atributos em relação aos critérios objectivos “Rentabilidade” e “Esforço de gestão”:

	P1	P2	P3
Rentabilidade (VAL 10 ³ em euros)	300	350	400
Esforço de gestão (Tempo em horas)	500	700	1.100

QUADRO 2.15 – Atributos objectivos das alternativas

No caso do critério “Rentabilidade”, quanto mais alto for o respectivo atributo (VAL em milhares de euros) tanto melhor. Logo, os pesos relativos de importância das três alternativas à luz deste critério serão:

$$\sum MC_n = 300 + 350 + 400 = 1.050$$

Logo:

$$MO_{P1} = 300 / 1.050 = 0,290$$

$$MO_{P2} = 350 / 1.050 = 0,330$$

$$MO_{P3} = 400 / 1.050 = \underline{0,380}$$

$$1,000$$

No caso do critério “Esforço de gestão”, passa-se o inverso, isto é, quanto menor for o respectivo atributo (Tempo em horas) tanto melhor. Então, supondo existência de proporcionalidade (inversa neste caso) entre o atributo e a preferência, as prioridades das três alternativas à luz deste critério serão:

$$S = 1/500 + 1/700 + 1/1.100 = 4,3.10^{-3}$$

Logo:

$$\begin{aligned} MO_{P1} &= 1 / (500 \times 4,3.10^{-3}) = && 0,460 \\ MO_{P2} &= 1 / (700 \times 4,3.10^{-3}) = && 0,330 \\ MO_{P3} &= 1 / (1.100 \times 4,3.10^{-3}) = && \underline{0,210} \\ &&& 1,000 \end{aligned}$$

Notar, mais uma vez, que entre satisfação (preferência, mérito, importância, utilidade, etc.) e o valor do atributo (descriptor) pode não existir uma relação de proporcionalidade (directa ou inversa), mas antes outra, de acordo com o entendimento dos decisores. A Figura 2.7 seguinte ilustra algumas relações possíveis.

Relações empíricas entre satisfação e valor de atributos

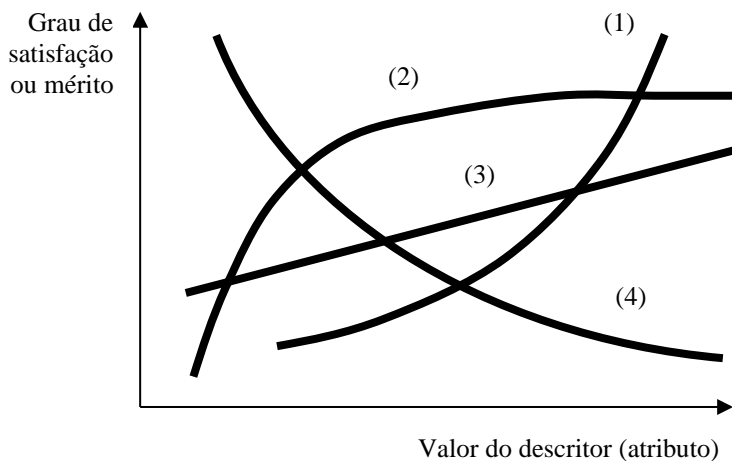


Figura 2.7 – Exemplos de relação entre o mérito e o descriptor: (1) Crescimento exponencial; (2) Crescimento com saturação; (3) Crescimento linear; (4) Decrescimento

Em resumo, as pontuações resultantes da avaliação das três alternativas em relação a cada critério são, então, as seguintes:

Pontuações das alternativas

	A	B	C	D	E
P1	0,211	0,290	0,500	0,460	0,623
P2	0,548	0,330	0,250	0,330	0,239
P3	0,241	0,380	0,250	0,210	0,137
Σ =	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

QUADRO 2.16 – Pontuações resultantes da avaliação das três alternativas

Passo 4 – Determinação dos pesos globais de prioridade das alternativas

Passo 4

A Figura 2.8 seguinte mostra a hierarquia decisional à qual se juntaram os pesos de prioridade dos cinco critérios e as pontuações das três alternativas à luz de cada um dos cinco critérios.

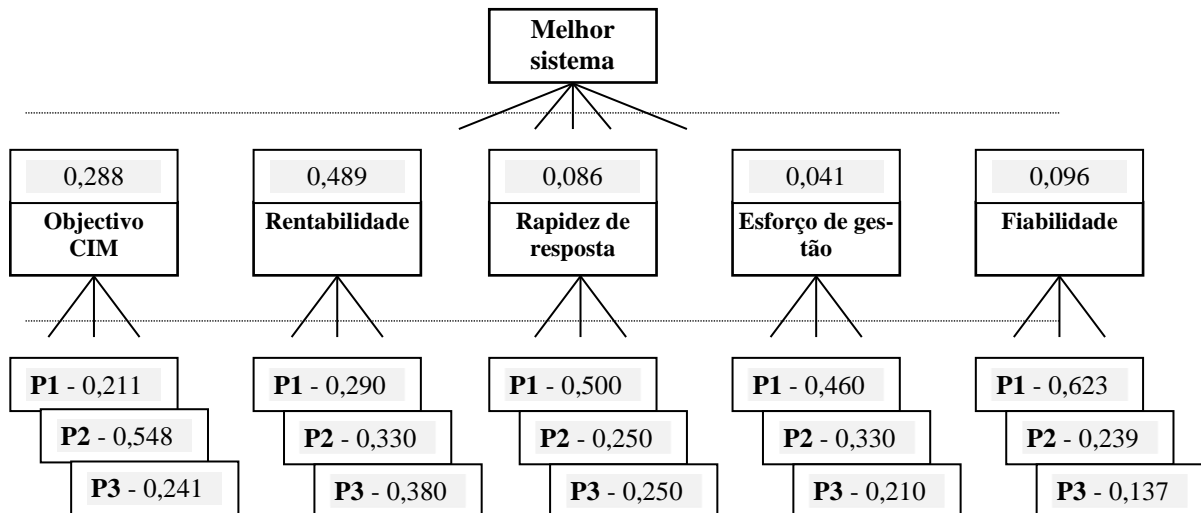


Figura 2.8 – Hierarquia de decisão de três níveis com ponderações representadas (caso tratado no Exemplo 2.6)

A avaliação ponderada de cada alternativa pode agora ser obtida multiplicando a correspondente matriz das pontuações pelo vector dos pesos de prioridade dos critérios. Assim, ter-se-á:

Alternativa P1:

$$0,211 \times 0,288 + 0,290 \times 0,489 + 0,500 \times 0,086 + 0,460 \times 0,041 + 0,623 \times 0,096 = 0,324246$$

Alternativa P2:

$$0,548 \times 0,288 + 0,330 \times 0,489 + 0,250 \times 0,086 + 0,330 \times 0,041 + 0,239 \times 0,096 = 0,377168$$

Alternativa P3:

$$0,241 \times 0,288 + 0,380 \times 0,489 + 0,250 \times 0,086 + 0,210 \times 0,041 + 0,137 \times 0,096 = 0,29849$$

Conclui-se, pois, que o projecto alternativo P2 é o melhor com uma pontuação de 0,377168, ou seja, $0,377168/0,324246 \cong 16\%$ melhor do que o projecto P1 e $0,377168/0,29849 \cong 26\%$ melhor do que o projecto P3.

No caso de um problema decisional ser representado por uma hierarquia com mais de três níveis, isto é, contendo subcritérios, sub-subcritérios,

Hierarquia com mais de 3 níveis

etc., o processo de cálculo é em tudo semelhante, havendo sempre que realizar o cálculo por ordem ascendente ao longo da hierarquia.

2.5.2 Determinação da coerência dos julgamentos

O MHM compreende uma forma de medir a coerência dos julgamentos subjectivos quando se procede à comparação dois a dois dos elementos de um nível na perspectiva de cada um dos elementos do nível imediatamente superior. A avaliação de coerência consiste em confirmar se existe transitividade de preferência da matriz resultante da comparação dois a dois. Com efeito, se se julgar que o critério A é duas vezes mais importante do que o critério B e que o critério B é duas vezes mais importante do que o critério C, havendo coerência cardinal perfeita, verificar-se-á que o critério A é quatro vezes ($2 \times 2 = 4$) mais importante do que o critério C.

Quando a coerência perfeita não se verifica, é possível medir a amplitude do afastamento desta através da determinação de um rácio de coerência RC.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Este rácio mede a relação entre dois índices:

1. IC – índice de coerência, resultante da comparação dois a dois do processo efectivamente realizado;
2. IA – índice aleatório, resultante do mesmo processo de comparação mas no qual os resultados foram gerados aleatoriamente.

O RC deve apresentar um valor $\leq 0,1$ para que o processo de comparação seja considerado suficientemente coerente.

O MHM compreende quer uma medida de coerência local das matrizes de comparação individual quer uma medida de coerência global de todo o problema decisional. Vejamos o primeiro caso aplicado ao Exemplo 2.6.

Exemplo 2.7

Determinar a coerência dos julgamentos subjectivos do caso apresentado no Exemplo 2.6.

Começando pela matriz de comparações dos critérios à luz do objectivo global, o primeiro passo consiste em multiplicar a matriz de comparações (matriz [A]) pelo vector principal [B], obtendo-se um novo vector [C].

Rácio de coerência

Índice de coerência e índice aleatório

Condição de coerência

	[A]						[B]		[C]
1	1/3	5	6	5		x	0,288	=	1,606
3	1	6	7	6			0,489		2,731
1/5	1/6	1	3	1			0,086		0,445
1/6	1/7	1/3	1	1/4			0,041		0,212
1/5	1/6	1	4	1			0,095		0,486

Seguidamente, divide-se cada elemento do vector [C] pelo seu elemento correspondente no vector [B], obtendo-se um novo vector [D].

$$[D] = \begin{vmatrix} 1,606/0,288 & 2,731/0,489 & 0,445/0,086 & 0,212/0,041 & 0,486/0,095 \\ 5,570 & 5,583 & 5,178 & 5,117 & 5,095 \end{vmatrix}$$

Agora, calcula-se a média aritmética dos elementos do vector [D] que se representa por λ_{\max} e obtém-se:

$$\lambda_{\max} = (5,570 + 5,583 + 5,178 + 5,117 + 5,095) / 5 = 5,309$$

O índice de coerência (IC) de uma matriz de dimensão N é dado pela expressão:

Índice de coerência

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1}$$

Substituindo valores vem: $IC = (5,309 - 5) / (5 - 1) = 0,077198$

Os índices aleatórios (IA) para várias dimensões de matrizes encontram-se representados no Quadro seguinte.

Índices aleatórios

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
IA	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	...

QUADRO 2.17 – Tabela de índices aleatórios

No caso do Exemplo, para $N = 5$ vem que $IA = 1,12$. O rácio de coerência RC será, então:

$$RC = IC / IA = 0,077198 / 1,12 = 0,068927$$

Como $RC < 0,1$ pode-se concluir que a comparação dois a dois dos critérios para obtenção do vector principal é suficientemente coerente.

Estendendo agora a análise às comparações dois a dois dos vários descritores qualitativos à luz de cada critério, obter-se-ão os seguintes resultados:

Em relação ao critério “Objectivo CIM”:

$$\begin{vmatrix} 1 & 1/3 & 1 \\ 3 & 1 & 2 \\ 1 & 1/2 & 1 \end{vmatrix} \quad \text{X} \quad \begin{vmatrix} 0,211 \\ 0,548 \\ 0,241 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,634 \\ 1,662 \\ 0,726 \end{vmatrix}$$

$$[D] = | 3,012 \quad 3,030 \quad 3,013 |$$

$$\lambda_{\max} = 3,018$$

$$IC = 0,009159$$

$$IA = 0,58$$

$$RC = 0,015792 < 0,1 \Rightarrow \text{aceitável}$$

Em relação ao critério “Rapidez de resposta”:

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad \text{x} \quad \begin{vmatrix} 0,500 \\ 0,250 \\ 0,250 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,500 \\ 0,750 \\ 0,750 \end{vmatrix}$$

$$[D] = | 3,000 \quad 3,000 \quad 3,000 |$$

$$\lambda_{\max} = 3,000$$

$$IC = 0,000$$

$$IA = 0,58$$

$$RC = 0,000 \Rightarrow \text{perfeitamente coerente}$$

Em relação ao critério “Fiabilidade”:

$$\begin{vmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{vmatrix} \quad \text{x} \quad \begin{vmatrix} 0,623 \\ 0,239 \\ 0,137 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,891 \\ 0,722 \\ 0,413 \end{vmatrix}$$

$$[D] = | 3,034 \quad 3,014 \quad 3,007 |$$

$$\lambda_{\max} = 3,018$$

$$IC = 0,009169$$

$$IA = 0,58$$

$$RC = 0,015808 < 0,1 \Rightarrow \text{aceitável}$$

Notar que, no caso dos descritores dos critérios quantitativos, o índice de coerência é obviamente igual a 0 e, logo, o rácio de coerência também o será.

Critérios quantitativos

No caso de se verificar incoerência, isto é, se o valor do rácio de coerência de uma matriz resultar superior a 0,10, o decisor deverá rever os julgamentos e procurar intransitividades na matriz. Se a fonte de incoerência não for aparente, é possível que a hierarquia tenha sido mal definida. Pode também acontecer que os critérios ou as alternativas em fase de comparação não sejam independentes ou não sejam comparáveis numa escala de 1 a 9. Nestas circunstâncias há que reformular o problema.

Incoerência

Constitui uma boa prática, para evitar a incoerência dos julgamentos, começar por ordenar os elementos da matriz por ordem decrescente de importância.

Procedimento prévio aconselhável

2.5.3 Determinação da coerência global dos julgamentos

A medida da coerência pode ser aplicada a toda a hierarquia. O rácio de coerência global RCG é calculado pelo quociente entre o índice de coerência agregado ICA e o índice aleatório agregado IAA.

$$RCG = \frac{ICA}{IAA}$$

De forma idêntica à que vimos atrás para o caso do rácio de cerência RC de cada nível, o rácio de coerência global RCG deve apresentar um valor inferior a 0,10 sob pena de termos de considerar a hierarquia incoerente.

Os dois índices ICA e IAA são calculados da seguinte forma:

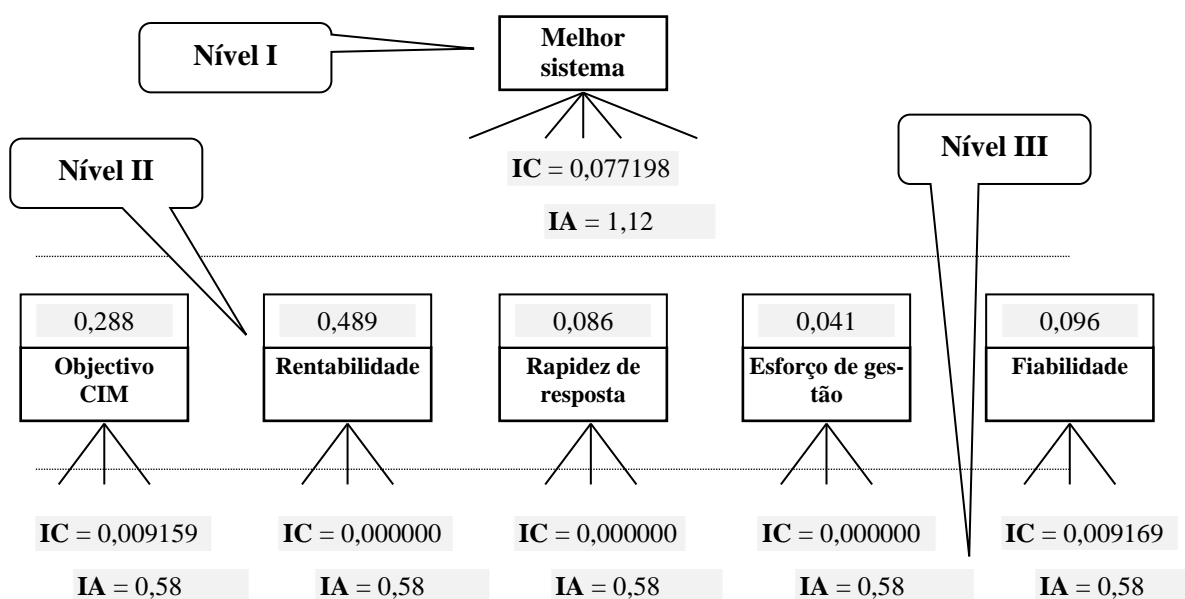
$$ICA = IC \text{ do } 2^{\circ} \text{ nível} + \left| \begin{array}{c} \text{Vector de} \\ \text{prioridades} \\ \text{do } 2^{\text{a}} \text{ nível} \end{array} \right| \times \left| \begin{array}{c} \text{Vector dos IC} \\ \text{do } 3^{\circ} \text{ nível} \end{array} \right|$$

$$IAA = IA \text{ do } 2^{\circ} \text{ nível} + \left| \begin{array}{c} \text{Vector de} \\ \text{prioridades} \\ \text{do } 2^{\text{a}} \text{ nível} \end{array} \right| \times \left| \begin{array}{c} \text{Vector dos IA} \\ \text{do } 3^{\circ} \text{ nível} \end{array} \right|$$

Exemplo 2.8

Determinar a coerência global da hierarquia do caso apresentado nos Exemplos 2.6 e 2.7.

Começemos por representar graficamente a hierarquia e identificar nela todos os índices de coerência IC e índices aleatórios IA de cada nível e os pesos de cada critério.



Teremos então:

$$ICA = 0,077198 + \begin{vmatrix} 0,288 & 0,489 & 0,086 & 0,041 & 0,096 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0,009159 \\ 0,000000 \\ 0,000000 \\ 0,000000 \\ 0,009169 \end{vmatrix} = 0,080716$$

$$IAA = 1,12 + \begin{vmatrix} 0,288 & 0,489 & 0,086 & 0,041 & 0,096 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0,58 \\ 0,58 \\ 0,58 \\ 0,58 \\ 0,58 \end{vmatrix} = 1,7$$

O rácio de coerência global RCG pode agora ser calculado:

$$RCG = ICA / IAA = 0,080716 / 1,7 = 0,05$$

De acordo com a sugestão empírica de que $RCG \leq 0,1$ é aceitável, concluímos que a comparação dois a dois realizada de forma a obter a pontuação final das três alternativas é razoavelmente coerente. Este resultado era de esperar atendendo a que já havíamos testado a coerência de cada matriz individualmente.

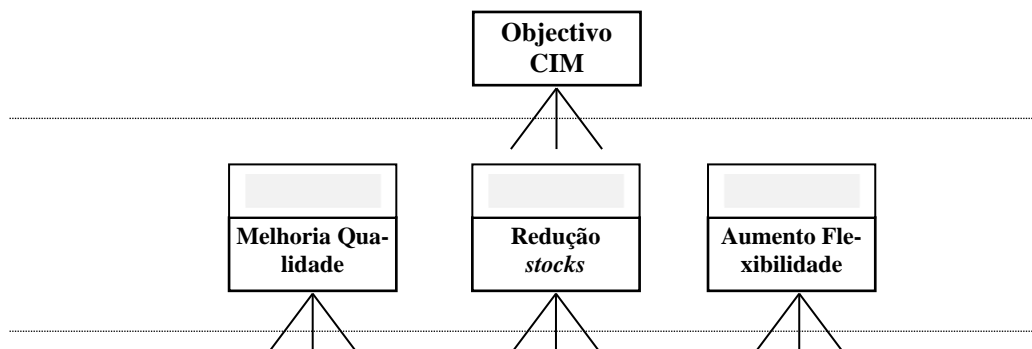
Conclusão

2.5.4 Hierarquias com mais de três níveis

Em situações muito complexas de decisão pode surgir a necessidade de representar a hierarquia com mais de três níveis. Nestes casos, o problema resolve-se exactamente da mesma forma como vimos no ponto anterior, mas por etapas – uma para cada nível.

Exemplo 2.9

Determinar a coerência global da hierarquia do caso apresentado nos Exemplos 2.6 e 2.7 mas no qual o Objectivo CIM passa a ser descrito por três subcritérios: Melhoria da Qualidade dos produtos, Redução dos *Stocks* e Aumento da Flexibilidade.



Suponhamos que a avaliação dois a dois dos três subcritérios à luz do critério Objectivo CIM resultou na seguinte matriz:

Avaliação dois a dois dos subcritérios

	Qual	Stk	Flex	Qual	Stk	Flex	Σ	$\Sigma/3$
Qual	1	2	5	0,588	0,571	0,625	1,785	0,595
Stk	1/2	1	2	0,294	0,286	0,250	0,830	0,277
Flex	1/5	1/2	1	0,118	0,143	0,125	0,385	0,128
$\Sigma =$	1,7	3,5	8	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000

E a coerência resultou da seguinte forma:

1	2	5	x	0,595	=	1,790
1/2	1	2		0,277		0,831
1/5	1/2	1		0,128		0,386

$$[D] = \begin{vmatrix} 3,010 & 3,004 & 3,002 \end{vmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 3,0055$$

$$IC = 0,002769; IA = 0,58$$

$$RC = 0,004775 < 0,1 \Rightarrow \text{aceitável}$$

Suponhamos ainda que as avaliações dois a dois das três alternativas à luz de cada subcritério resultaram nas matrizes que se descrevem seguidamente bem como os correspondentes vectores de pesos e consequentes coerências.

Avaliação dois a dois das alternativas à luz dos subcritérios

Em relação ao subcritério "Melhoria da Qualidade dos produtos":

	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Σ	$\Sigma/3$
P1	1	1/2	1	0,25	0,25	0,25	0,75	0,25
P2	2	1	2	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5
P3	1	1/2	1	0,25	0,25	0,25	0,75	0,25
$\Sigma =$	4	2	4	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000

1	1/2	1	x	0,25	=	0,75
2	1	2		0,5		1,5
1	1/2	1		0,25		0,75

$$[D] = \begin{vmatrix} 3,000 & 3,000 & 3,000 \end{vmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 3,0000$$

$$IC = 0,0000; IA = 0,58$$

$$RC = 0,0000 < 0,1 \Rightarrow \text{perfeitamente coerente}$$

Em relação ao subcritério "Redução dos Stocks":

	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Σ	$\Sigma/3$
P1	1	1/2	1	0,250	0,273	0,200	0,723	0,241
P2	2	1	3	0,500	0,545	0,600	1,645	0,548
P3	1	1/3	1	0,250	0,182	0,200	0,632	0,211
$\Sigma =$	4,000	1,833	5,000	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000

1	1/2	1	x	0,241	=	0,726
2	1	3		0,548		1,662
1	1/3	1		0,211		0,634

$$[D] = \begin{vmatrix} 3,012 & 3,030 & 3,012 \end{vmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 3,0183$$

$$IC = 0,009159; IA = 0,58$$

$$RC = 0,015792 < 0,1 \Rightarrow \text{aceitável}$$

Em relação ao subcritério “Aumento da Flexibilidade”

	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Σ	Σ/3
P1	1	1/8	1/3	0,083	0,086	0,077	0,246	0,082
P2	8	1	3	0,667	0,686	0,692	2,045	0,682
P3	3	1/3	1	0,250	0,229	0,231	0,709	0,236
Σ =	12	1,458	4,333	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000

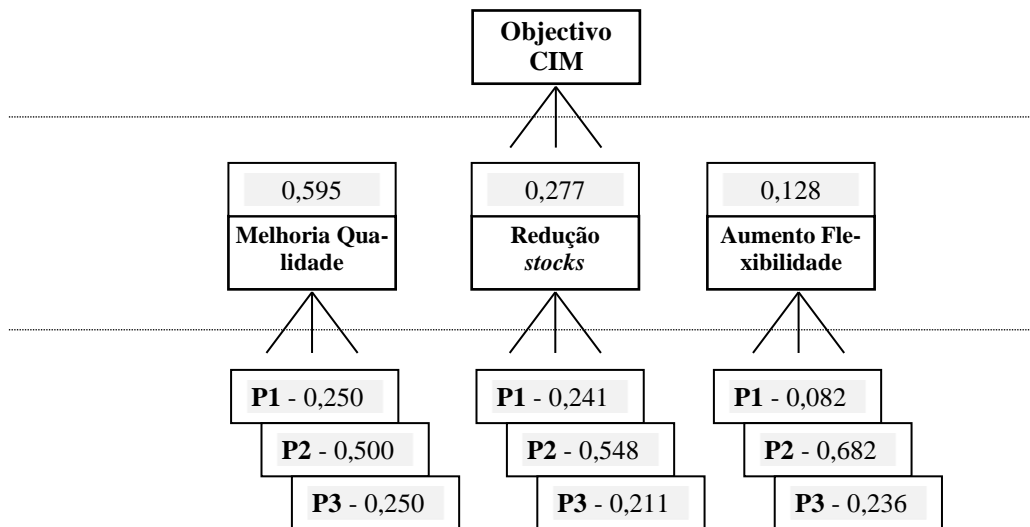
$$\begin{vmatrix} 1 & 1/8 & 1/3 \\ 8 & 1 & 3 \\ 3 & 1/3 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0,082 \\ 0,682 \\ 0,236 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,246 \\ 2,047 \\ 0,710 \end{vmatrix}$$

$$[D] = \begin{vmatrix} 3,000 & 3,0043 & 3,001 \end{vmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 3,0015$$

$$IC = 0,000771; IA = 0,58$$

$$RC = 0,001329 < 0,1 \Rightarrow \text{aceitável}$$



A avaliação ponderada de cada alternativa pode agora ser obtida multiplicando a correspondente matriz das pontuações pelo vector dos pesos de prioridade dos critérios. Assim, ter-se-á:

Alternativa P1:

$$(0,250 \times 0,595 + 0,241 \times 0,277 + 0,082 \times 0,128) \times 0,288 + 0,290 \times 0,489 + 0,500 \times 0,086 + 0,460 \times 0,041 + 0,623 \times 0,096 = 0,328567$$

Alternativa P2:

$$(0,500 \times 0,595 + 0,548 \times 0,277 + 0,682 \times 0,128) \times 0,288 + 0,330 \times 0,489 + 0,250 \times 0,086 + 0,330 \times 0,041 + 0,239 \times 0,096 = 0,373882$$

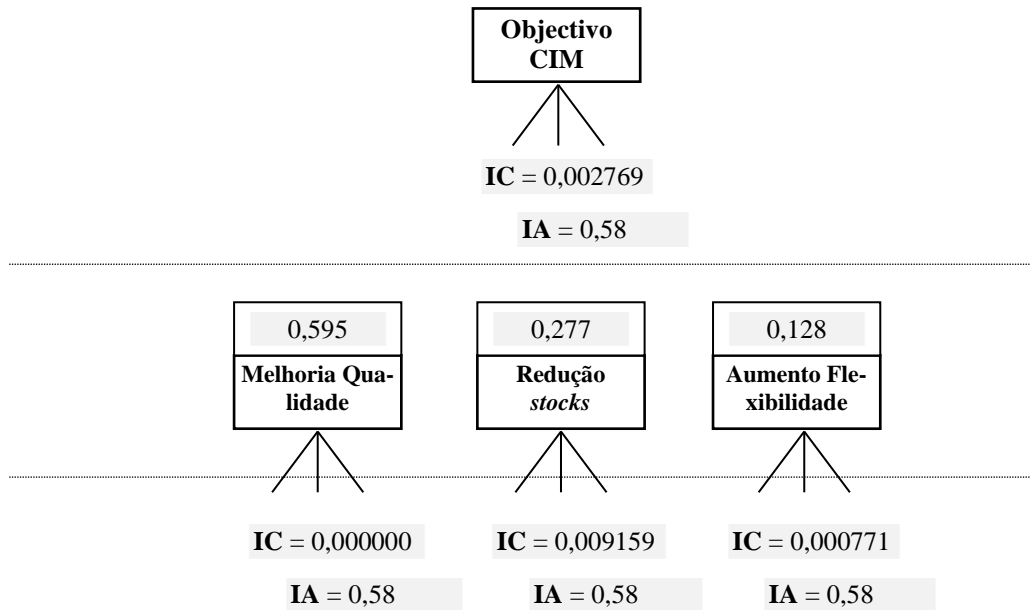
Alternativa P3:

$$(0,250 \times 0,595 + 0,211 \times 0,277 + 0,236 \times 0,128) \times 0,288 + 0,380 \times 0,489 + 0,250 \times 0,086 + 0,210 \times 0,041 + 0,137 \times 0,096 = 0,297455$$

Conclui-se, pois, que o projecto alternativo P2 continua a ser o melhor.

Calculemos agora o índice de coerência agregado ICA_{CIM} e o índice aleatório agregado IAA_{CIM} da hierarquia do Objectivo CIM.

Índices agregados do Objectivo CIM

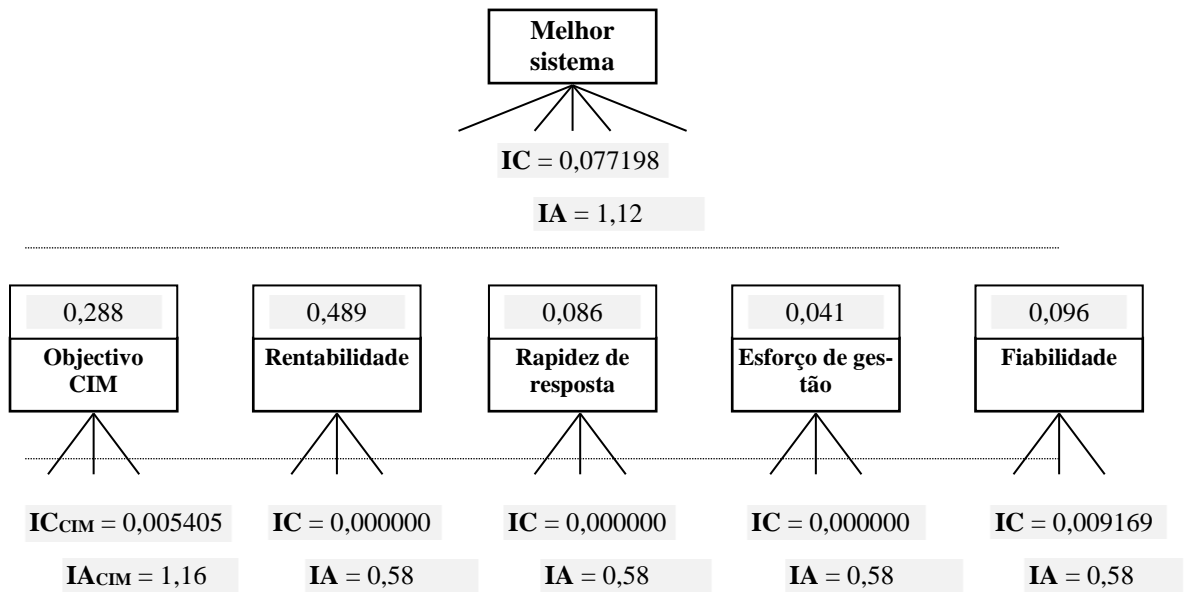


$$ICA_{CIM} = 0,002769 + \begin{vmatrix} 0,595 & 0,277 & 0,128 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0,000000 \\ 0,009159 \\ 0,000771 \end{vmatrix} = 0,005405$$

$$IAA_{CIM} = 0,58 + \begin{vmatrix} 0,595 & 0,277 & 0,128 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0,58 \\ 0,58 \\ 0,58 \end{vmatrix} = 1,16$$

Podemos agora representar a hierarquia completa, fazer os ajustamentos dos valores do IC e do IA do Objectivo CIM e calcular finalmente o rácio de coerência global.

Rácio de coerência global



$$ICA = 0,077198 + \begin{vmatrix} 0,288 & 0,489 & 0,086 & 0,041 & 0,096 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0,005405 \\ 0,000000 \\ 0,000000 \\ 0,000000 \\ 0,009169 \end{vmatrix} = 0,079635$$

$$IAA = 1,12 + \begin{vmatrix} 0,288 & 0,489 & 0,086 & 0,041 & 0,096 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1,16 \\ 0,58 \\ 0,58 \\ 0,58 \\ 0,58 \end{vmatrix} = 1,45496$$

O rácio de coerência global RCG pode agora ser calculado, resultando:

$$RCG = ICA / IAA = 0,079635 / 1,45496 = 0,054733$$

De acordo com a sugestão empírica de que $RCG \leq 0,1$ é aceitável, concluímos que a comparação dois a dois realizada ao longo da hierarquia de forma a obter a pontuação final das três alternativas é razoavelmente coerente.

Conclusão

ANEXO I – Terminologia em Decisão Multicritério

Em processos de decisão multicritério são frequentemente usadas algumas expressões de forma incorrecta. São elas: os atributos, os objectivos, as metas e os critérios. Clarifiquemos estas questões, vendo em que consiste cada uma delas.

Critérios são medidas, regras ou normas que orientam o processo de decisão. A idade de um indivíduo, o seu estado de saúde, a sua altura, o seu peso, o número de empregados de uma empresa ou o seu volume de vendas, etc. constituem exemplos de critérios quantitativos ou objectivos. Podemos também considerar critérios qualitativos ou subjectivos, tais como: prestígio, beleza, segurança, flexibilidade, etc.

Atributos (ou descritores) são características usadas para descrever um critério. Assim, por exemplo, se um dos critérios de decisão for a rentabilidade, o atributo (ou o seu descritor) pode ser o VAL medido em euros ou a TIR medida em %. Outro exemplo, poderia ser o caso de um tractor cuja força de tracção constitui um critério de decisão muito importante. Neste caso, o atributo poderia ser o binário medido em *Newtons.metro*.

Objectivos são aspirações que também podem indicar o caminho para a melhoria dos atributos seleccionados, tais como, maximizar lucros, minimizar prejuízos, etc. Os limites práticos destes objectivos são definidos pelas chamadas restrições. Na prática do MHM os objectivos podem ser considerados como critérios.

Metas são aspirações cujo nível desejado do atributo (ao contrário dos objectivos) é especificado *à priori*. Por exemplo, enquanto aumentar as vendas de um determinado produto constitui um “objectivo”, as vendas constituem o “atributo” e o estabelecimento de um volume de vendas de 10 toneladas constitui a “meta”.

ANEXO II – Método de *Delphi*

A avaliação da importância dos critérios utilizados num problema multicritério depende inteiramente do julgamento das pessoas. Este julgamento pode envolver uma única pessoa ou um grupo de pessoas. Em geral, no caso dos grupos, os seus membros envolvem normalmente especialistas ou pessoas com bastante conhecimento do assunto em análise, podendo mesmo incluir algum dos responsáveis pela decisão.

A medida das opiniões inclui uma variedade de métodos. O método mais simples consiste em obter a opinião de um único especialista. Contudo, uma sondagem a um painel de especialistas produz uma melhor medida de opinião.

A vantagem de um grupo sobre a opinião de um único indivíduo, consiste na possibilidade de confrontar um maior leque de informação, conhecimentos e experiências. Pode, contudo, ocasionar alguns inconvenientes, tais como, por exemplo, processos mais demorados, eventual dominância ou maior capacidade de persuasão por parte de um dos participantes do grupo e, ainda, manutenção teimosa de uma opinião.

O método de *Delphi* para medida de opinião, permite contornar estes obstáculos. O método disfruta de um elevado grau de respeitabilidade científica e de aceitação, ao contrário de outros métodos com o mesmo fim.

O método de *Delphi* é caracterizado pelas seguintes propriedades que o distinguem de outros métodos de medida de opinião:

- Anonimato. Cada membro desconhece a composição do grupo. A interação entre os membros do grupo realiza-se de uma forma totalmente anónima através de questionários, evitando-se assim a identificação do autor de uma certa opinião. Desta forma, o autor de uma opinião pode vir a alterá-la sem ter que o admitir publicamente.
- Interação com retorno. O responsável ou coordenador do grupo extrai dos questionários sómente aquelas informações que são relevantes para a questão em análise e devolve-as aos membros do grupo. O principal efeito deste retorno é evitar que os participantes se restrinjam às suas próprias metas e objectivos.
- Estatística da resposta do grupo. O método de *Delphi* em lugar de apresentar o ponto de vista predominante, apresenta as respostas de todos os membros do grupo tratadas estatisticamente. Os resultados podem ser representados pela mediana e pelos dois quartis. Assim, pode afirmar-se que todas as opiniões dos membros do grupo foram tomadas em consideração.

As diversas etapas do método de *Delphi* encontram-se representadas na Figura seguinte:

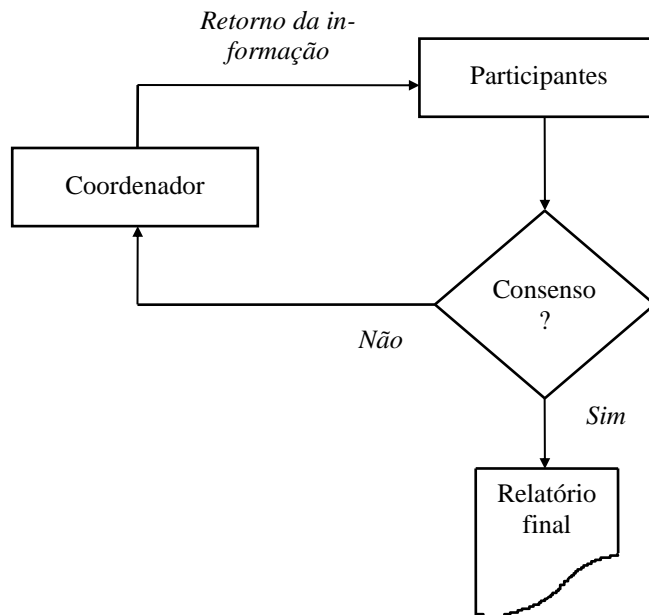


Figura 2.9 - Etapas do método *Delphi*

A maior vantagem do método *Delphi* consiste no facto de nenhum membro do grupo poder influenciar a opinião de outros membros. A possibilidade de envolver um grupo grande de pessoas sem as ter que reunir durante horas ou dias no mesmo local, é outra vantagem reconhecida do método.

A composição do grupo deve ser tal que envolva todas as pessoas que possam amanhã ser abrangidas pelas decisões. Se o coordenador esquecer algum aspecto pertinente, ele será decerto levantado por um ou vários respondentes ao questionário. Cria-se assim um clima de participação, o qual, em princípio, gera um clima favorável às mudanças que se irão seguir.

O método de *Delphi* é, contudo, moroso, dependendo o seu sucesso do tacto e eficiência da acção do coordenador.

ANEXO III – Características do MHM

- **Unidade:** O MHM propõe um modelo único, facilmente compreensível para resolver um grande número de problemas não estruturados;
- **Complexidade:** O MHM integra as abordagens dedutiva e indutiva (sistémica) na resolução de problemas complexos;
- **Interdependências:** O MHM toma em conta as interdependências entre os elementos de um sistema sem se focalizar sobre um pensamento linear;
- **Estrutura hierárquica:** O MHM reflecte a nossa tendência natural para classificar os elementos de um sistema em diferentes níveis e agrupar os elementos semelhantes num mesmo nível;
- **Medida:** O MHM fornece uma escala que permite medir as propriedades intangíveis e um método que permite estabelecer prioridades;
- **Coerência:** O MHM avalia a coerência lógica das opiniões utilizadas para determinar prioridades;
- **Síntese:** O MHM conduz a uma estimação global do mérito de cada solução;
- **Compromisso:** O MHM tem em conta as propriedades relativas dos factores de um sistema e permite seleccionar a melhor solução em função dos objectivos estabelecidos;
- **Julgamento e consenso:** O MHM não faz do consenso uma necessidade absoluta mas elabora um compromisso representativo das diversas opiniões consideradas;
- **Repetição do processo:** O MHM permite que os decisores afinem a definição de um problema e melhorem o seu julgamento e compreensão através da repetição.

2.6 Actividades/Avaliação

Nas próximas páginas encontram-se descritos os enunciados de quatro casos que o formando deverá resolver, de preferência com o recurso a uma folha de cálculo.

2.6.1 “Seleção de um Local para Armazém”

Uma empresa pretende instalar um armazém (frigorificado) para distribuição dos seus produtos congelados numa dada região, possuindo quatro alternativas de localização. Para o processo de decisão a empresa considera pertinentes cinco critérios, à luz dos quais determinou os atributos de cada alternativa – ver Quadro 1.

Quadro 1

Critérios	Alternativas			
	Local A	Local B	Local C	Local D
Custo terreno + Construção (10 ³ €)	200	250	175	220
Densidade populacional (10 ³ habitantes)	190	170	120	250
Distância à fábrica (Km)	160	140	110	140
Existência de m.d.o. qualificada (1 a 5)	Boa (3)	Razoável (2)	Boa (3)	Muito Boa (4)
Disponibilidade energia eléctrica (1 a 10)	MT, Zona B	MT, Zona B	MT, Zona C	MT, Zona A

As faixas de valores aceitáveis para cada critério são as seguintes – ver Quadro 2.

Quadro 2

Critérios	Valor mínimo aceitável	Valor máximo aceitável
Custo terreno + Construção	-	225
Densidade populacional	150	-
Distância à fábrica	-	180
Existência de m.d.o. qualificada	Boa (3)	-
Disponibilidade energia eléctrica	MT, Zona B	-

A EDP informa que a frequência média de interrupções/ano bem como as correspondentes durações médias são as que se mostram no Quadro 3.

Quadro 3

Tipo de rede	Tipo de zona	Interrupções/ano	Duração (horas/ano)
Muito Alta Tensão	A, B e C	3	0,75
Alta Tensão	A, B e C	8	4
Média Tensão	A	8	4
	B	16	8
	C	25	16
Baixa Tensão	A	12	6
	B	21	10
	C	30	20

Zona A – Capitais de distrito e localidades com mais de 25.000 clientes; Zona B – Localidades com um nº de clientes entre 2.500 e 25.000; Zona C – Restantes locais.

A empresa pondera os critérios conforme se mostra no Quadro 4.

Quadro 4

	Custo	População	Distância	M.d.o.	Energia
Custo	1				
População	8	1	5	5	1
Distância	1		1		
M.d.o.	1		4	1	
Energia	4		5	3	1

Os dois subcritérios “Interrupções/ano” e “Duração” foram comparados entre si no respeitante à sua importância para o critério “Disponibilidade de energia eléctrica”, tendo resultado a seguinte pontuação:

	Interrupções	Duração
Interrupções	1	3
Duração		1

- a) Qual é a melhor decisão?
- b) Compare a melhor alternativa com as restantes;
- c) Confirme a coerência da comparação dois a dois dos critérios de 1º nível.

2.6.2 “Seleção de um Equipamento”

Uma empresa metalomecânica de produção por encomenda acaba de fechar um contrato para fabricação de 5.000 unidades/ano de uma peça a obter por torneamento. A empresa não dispõe de tornos suficientes e decide adquirir um propositadamente para este contrato – muito exigente no tocante à qualidade e à pontualidade. Sob o ponto de vista tecnológico é indiferente a utilização de um torno mecânico, semi-automático ou automático. Para tomar uma decisão, a empresa decidiu avaliar cada uma das alternativas à luz de um conjunto de critérios. São eles: a flexibilidade, a precisão, a segurança, a disponibilidade e a economia.

Depois de algumas reuniões, foi possível acordar a importância relativa daqueles critérios, à luz dos quais, cada alternativa deverá ser avaliada – todos quantitativos excepto a Segurança que é qualitativo – conforme o Quadro adiante.

	Flexibilidade	Precisão	Segurança	Disponibilidade	Economia
Flexibilidade	1	4	4	4	
Precisão		1	3	3	
Segurança			1	2	
Disponibilidade				1	
Economia	4	6	6	8	1

Cada um dos critérios Flexibilidade, Disponibilidade e Economia foram divididos, por sua vez, em dois sub-critérios, de forma a melhor traduzir o seu significado.

- O tempo de *setup* foi preferido ao grau de polivalência com o peso de 3.
- A manutibilidade foi preferida à fiabilidade com o peso de 4.
- O custo unitário foi preferido ao custo de propriedade com o peso de 3.

Chegaram também a acordo quanto aos atributos de cada alternativa à luz de cada critério.

Critérios e sub-critérios	Alternativas		
	Torno mecânico	Torno revólver	Torno automático
Flexibilidade	-	-	-
Tempo de <i>setup</i> (horas)	0,5	0,2	0,1
Grau de polivalência *	4	4	1
Precisão (capacidade do processo) **	1,4	2,33	2,33
Segurança	2	3	5
Disponibilidade			
Fiabilidade (MTBF horas)	900	600	300
Manutibilidade (MTTR horas)	3	4	5
Economia			
Propriedade (10 ³ €)	20	40	55
Custo unitário (€/peça) ***	15	12	11

* Nº de operadores existentes igualmente qualificados;

** Cociente entre o intervalo de tolerância e 6 vezes o desvio padrão $\frac{TS - TI}{6 \cdot \sigma}$;

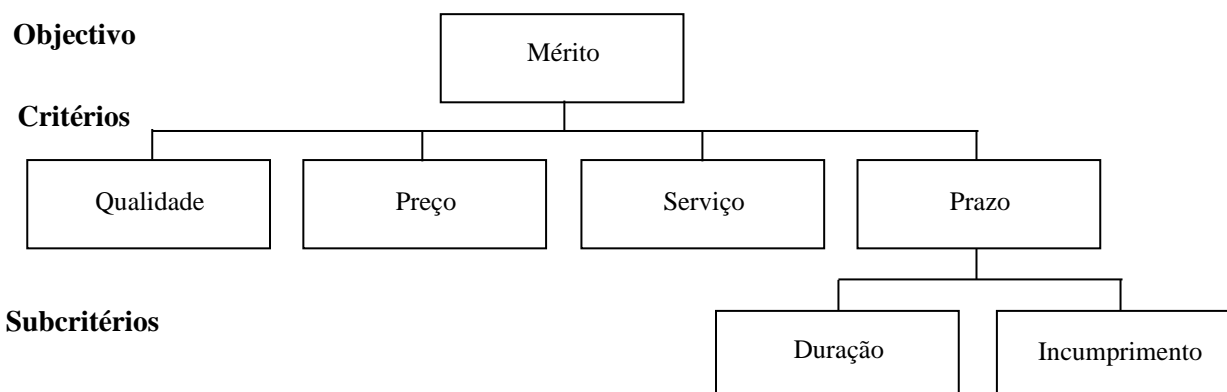
*** Mão de obra + materiais + energia + consumíveis + controlo + não-qualidade.

Face aos resultados desta ponderação, qual será a melhor alternativa?

2.6.3 “Qualificação de Fornecedores”

Uma empresa pretende classificar os seus três fornecedores de um certo artigo destinado ao seu processo produtivo, designados adiante genericamente por F1, F2 e F3. Essa classificação (numa escala de 1 a 10) será determinante para a manutenção das relações comerciais, sendo necessário manter uma classificação global de pelo menos 5 naquela escala e não menos do que 3 em qualquer dos critérios seguidamente descritos.

Para apoiar a avaliação numa base periódica, a Direcção da empresa constituiu uma equipa formada por pessoas das áreas do Aprovisionamento, Produção e Qualidade. Após algum tempo e discussão, foi possível chegar a um acordo quanto à hierarquia de critérios a utilizar. Assim, foram seleccionados os critérios “Qualidade” (medido pela percentagem média de entregas sem reclamações), “Preço” (medido em €/unidade), “Serviço” (medido pela facilidade do diálogo e rapidez de actuação após uma reclamação) e “Prazo” (medido, a um segundo nível, pelos critérios “Duração” e “Incumprimento”).



O subcritério “Duração” é medido pelo nº de dias acordado entre a confirmação de uma encomenda e a sua entrega, e o subcritério “Incumprimento” é medido pela média dos dias de atraso em relação àquela duração.

Outros critérios poderiam ser “Capacidade económico-financeira”, “Idoneidade/credibilidade” e “Experiência”. Estes dois últimos seriam adequados no caso de um novo fornecedor.

A equipa debruçou-se depois sobre a importância relativa dos vários critérios e subcritérios, tendo adoptado para o efeito o método de comparação dois a dois. Da comparação entre os quatro critérios resultou a pontuação expressa na matriz seguinte.

	Qualidade	Preço	Serviço	Prazo
Qualidade	1	2	4	3
Preço		1	3	3
Serviço			1	2
Prazo				1

Os dois subcritérios “Duração” e “Incumprimento” foram comparados entre si no respeitante à sua importância para o critério “Prazo”, tendo resultado a seguinte pontuação:

	Duração	Incumprimento
Duração	1	
Incumprimento	3	1

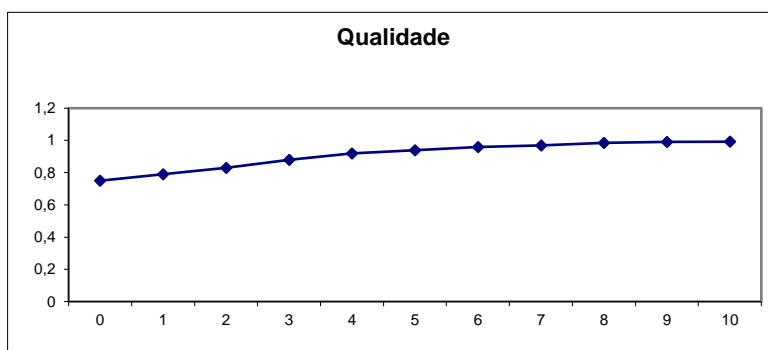
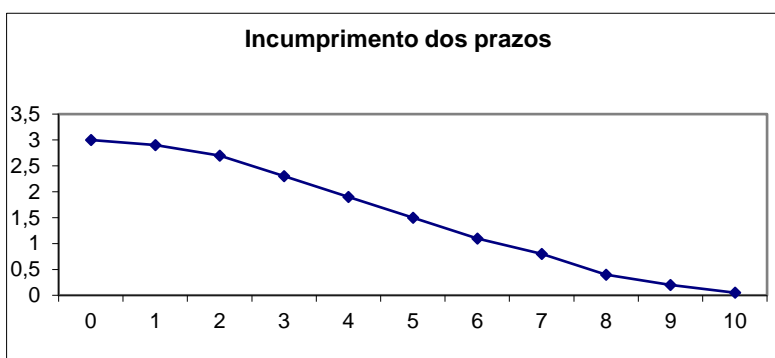
A equipa considerou também que deveria fixar limites para as métricas dos critérios “Qualidade” e “Incumprimento” deixando as restantes dependentes das flutuações das performances dos fornecedores. Em consequência, as métricas “Qualidade” e “Incumprimento” deverão obedecer aos limites e formas descritos no Quadro e Figuras adiante.

As métricas dos três fornecedores correspondentes a cada um dos restantes critérios deverão ser transformadas linearmente. A melhor métrica receberá o valor 10 e a pior o valor 5 (o terceiro fornecedor receberá uma classificação interpolada).

Correspondência entre as métricas dos critérios e o mérito

Escala de mérito	Qualidade	Incumprimento dos prazos
0	0,750	3,00
1	0,790	2,90
2	0,830	2,70
3	0,880	2,30
4	0,920	1,90
5	0,940	1,50
6	0,960	1,10
7	0,970	0,80
8	0,985	0,40
9	0,990	0,20
10	0,992	0,05

Nota: O valor 0 representa o nível mínimo que alguma vez poderá ser atingido e o valor 10 o nível máximo possível atingir a curto prazo negociado com os três fornecedores. Interpole linearmente e aproxime os resultados às décimas



As medições do mês passado resultaram no Quadro seguinte:

Medidas dos indicadores de desempenho

	Qualidade	Incumprimento dos prazos	Preços unitários (€/unidade)	Duração (dias)
Fornecedor 1	0,965	1,30	1,4	3
Fornecedor 2	0,990	0,95	0,8	5
Fornecedor 3	0,985	0,60	1,6	2

Quanto ao critério qualitativo (subjectivo) “Serviço”, a equipa comparou entre si os três fornecedores, tendo concluído pela seguinte matriz:

	F1	F2	F3
F1	1	3	4
F2		1	2
F3			1

- a) Teste a coerência do último julgamento;
- b) Classifique estes três fornecedores no mês que passou;
- c) Calcule o seu mérito relativo.

Nota:

O subcritério “Incumprimento” foi medido pela média dos dias de atraso em relação àquela duração. Contudo, este indicador poderia ser outro. Suponhamos que temos dois fornecedores A e B, com os quais se encontram contratualizados os prazos de entrega 3 e 5 dias respectivamente. Se num determinado mês apurarmos que as médias aritméticas dos desvios dos n últimos períodos são de 2 dias para ambos os fornecedores, os valores das métricas em termos absolutos seriam de 2 no caso do A e 2 no caso do B, o que não permitiria diferenciar os fornecedores um do outro. Mas se a métrica for antes calculada pelo cociente do desvio pela duração do prazo de entrega, as métricas passariam a ser $2/3$ e $2/5$. Esta diferença já os permitiria diferenciar. Todavia, a selecção de um ou outro indicador dependerá sempre do nosso objectivo específico. Com efeito, na perspectiva das consequências para o cliente, o atraso médio de 2 dias nas entregas dos dois fornecedores traduz-se na mesma consequência: *stock* de segurança com a mesma dimensão.

2.6.4 “Seleção de um Sistema de Informação”

Uma empresa pretende investir num sistema de comunicações sob a forma de uma rede local de computadores e possui três propostas alternativas de fornecimento. Para seleccionar uma das propostas e após alguma reflexão, a empresa deu os seguintes passos: 1) Seleccionou um conjunto de critérios (objectivos e subjectivos) à luz dos quais cada alternativa deverá ser avaliada; 2) Ponderou as preferências pelos vários critérios comparando-os dois a dois; 3) Avaliou os atributos de cada proposta à luz de cada um daqueles critérios. Os resultados encontram-se nos três Quadros seguintes.

Quadro 1

Critérios	Critérios					
	Qualidade resultados	Facilidade utilização	Serviço apoio	Adaptabilidade	Expansibilidade	Preço
. Qualidade dos resultados	1	5	5	5	5	2
. Facilidade de utilização		1	3	4	3	
. Serviço de apoio			1	3	3	
. Adaptabilidade				1	1	
. Expansibilidade					1	
. Preço		3	5	5	7	1

Quadro 2

Critérios subjectivos	Alternativas		
	Proposta I	Proposta II	Proposta III
. Qualidade dos resultados	Boa (2)	Excelente (4)	Fraca (1)
. Facilidade de utilização	Muito boa (3)	Fraca (1)	Excelente (4)
. Serviço de apoio	Bom (2)	Bom (2)	Bom (2)
. Adaptabilidade	Fraca (1)	Pobre (0)	Muito boa (3)
. Expansibilidade	Excelente (4)	Muito boa (3)	Muito boa (3)

Quadro 3

Critérios objectivos	Alternativas		
	Proposta I	Proposta II	Proposta III
. Preço	13.000	15.000	16.500

- Construir um gráfico para apoio à decisão representando a sensibilidade do mérito de cada alternativa a variações da proporção entre o peso da medida objectiva e o peso da medida subjectiva de acordo com o método de *Brown-Gibson* e tirar conclusões;
- Qual a melhor alternativa de acordo com o Método Hierárquico Multicritério? Teste a coerência da matriz de critérios.

2.7 Bibliografia

1. CANADA, John R., William Sullivan, John A. White, *Capital Investment Analysis for Engineering and Management*, Prentice Hall, Inc., New Jersey 1996
2. SAATY, Thomas L., *Decision Making for Leaders*, AHP Series, 1999
3. SINK, Scott, e Thomas Tuttle, *Planning and Measurement in your Organization of the Future*, Industrial Engineering e Management Press, 1989