

CAPÍTULO VI

SELEÇÃO DA SOLUÇÃO

6.1 - INTRODUÇÃO

Nos capítulos anteriores foram abordadas várias técnicas cujo objetivo estava voltado para a geração de soluções alternativas ou conceitos de solução, para o problema de projeto. Neste capítulo, serão abordadas técnicas destinadas à escolha do melhor destes conceitos, o qual será transformado no produto final.

A principal dificuldade envolvida nesta tarefa, encontra-se na principal característica da fase de projeto conceitual: informações limitadas e abstratas.

Como avaliar uma idéia ou conceito, que é abstrata, possuindo poucos detalhes e não pode ser mensurada? Deve-se detalhar cada conceito, de forma a medir alguns parâmetros, para então compará-los com as especificações de projeto do produto?

Além destas questões, deve-se também obter as justificativas pelas quais os conceitos descartados não são adequados.

Portanto, se faz necessária a utilização de métodos ou procedimentos sistemáticos, compatíveis com a limitação de informações, e que auxiliem na tomada de decisão quanto a seleção do melhor conceito de solução.

Neste capítulo, será mostrado um procedimento que utiliza quatro diferentes técnicas que irão reduzir os vários conceitos gerados em uns poucos, mas promissores, que poderão resultar em produtos de qualidade [6.1]. Estas técnicas, que deverão ser utilizadas em seqüência, são mostradas na figura 6.1, e serão descritas nos próximos itens.

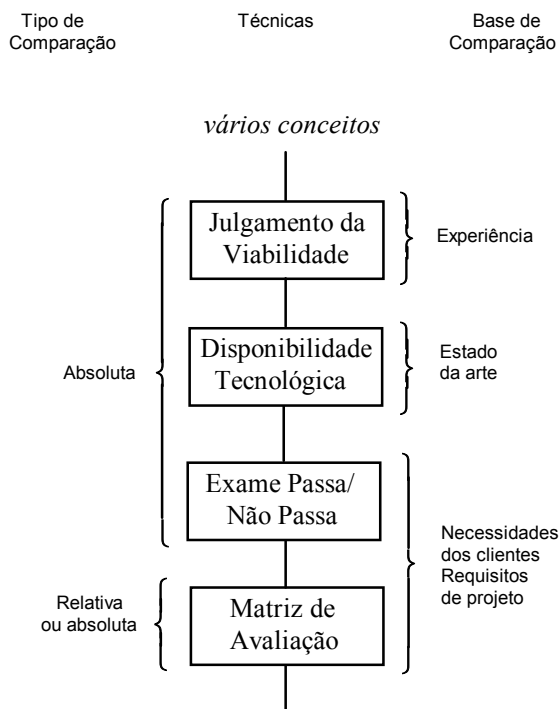


Fig. 6.1 - Técnicas de avaliação conceitual.

Antes porém, é importante notar que o termo *seleção* ou *escolha*, aqui utilizado, implica nas ações de valoração, comparação e tomada de decisão. Como estas ações são fortemente interrelacionadas, para se obter o maior número de informações para a tomada de

decisão, os conceitos devem ser valorados de forma compreensiva, cobrindo um amplo espectro de objetivos, e também serem expressos na mesma linguagem e no mesmo nível de abstração.

Existem dois tipos possíveis de comparação: absoluta e relativa. Na comparação absoluta, cada conceito é diretamente comparado com algum tipo de informação, conhecimento, experiência e dependendo do caso alguns requisitos. O segundo tipo é caracterizado pela comparação dos conceitos entre si.

Com mostra a figura 6.1, as primeira três técnicas de comparação, todas absolutas, são usadas como um filtro para a técnica de comparação relativa, chamada de matriz avaliação.

Estas quatro técnicas juntas, constituem excelentes ferramentas para a seleção de conceitos. Cada técnica, detalhada a seguir, irá auxiliar na decisão sobre qual conceito será desenvolvido num produto.

6.2 - AVALIAÇÃO BASEADA NO JULGAMENTO DA VIABILIDADE

Após a geração de uma solução conceitual, a equipe de projeto pode fazer uma primeira avaliação de viabilidade e verificar se o conceito se enquadra numa das seguintes condições:

- (1) o conceito não é viável;
- (2) o conceito é condicionalmente viável;
- (3) o conceito deve ser considerado.

NÃO VIÁVEL

Mesmo quando um conceito mostra-se inicialmente inviável, este deverá ser considerado sob diferentes pontos de vista antes de ser descartado. Deve-se poder definir claramente as razões pelas quais a dada solução conceitual não é viável, ou seja, poder responder à pergunta: por quê a solução não é viável?

Muitas podem ser as razões da inviabilidade, e normalmente estão associadas a aspectos tais como: limitações tecnológicas e o atendimento dos requisitos dos clientes. Também podem ocorrer interpretações errôneas da viabilidade, em que esta seja devida à concepção apresentar-se numa forma diferente do padrão normal estabelecido, ou também ser devida ao conceito não representar uma idéia original, não provocando assim entusiasmo ou interesse.

Julgar uma solução que é considerada diferente, é uma atividade que requer cuidados, pois existem alguns aspectos que normalmente não estão aparentes. Os seres humanos possuem uma tendência natural a resistir à mudanças, e assim, a empresa e/ou projetistas tendem a rejeitar novas idéias em favor daquelas já estabelecidas. Isto não é de todo ruim, pois os conceitos tradicionais já foram testados e validados na prática. Entretanto, este tipo de atitude pode impedir que o produto seja melhorado, e deve-se diferenciar mudanças potencialmente positivas de um conceito pobre. Os padrões utilizados pelas empresas e/ou projetistas fornecem um bom auxílio na prática de engenharia, devendo ser ambos seguidos e questionados, pois podem ser um fator limitante da base de informações.

Outro aspecto importante, é que idéias inicialmente tidas como não viáveis, podem servir para fornecer uma nova abordagem para o problema. Portanto, antes de descartar um conceito de solução, deve-se verificar se novas idéias podem ser geradas, e se vale a pena iteragir, voltando da etapa da seleção para a geração de soluções.

CONDICIONALMENTE VIÁVEL

Esta situação implica que um dado conceito é executável se alguma coisa diferente vier a ocorrer. Os fatores típicos que estão associados a esta situação são a disponibilidade tecnológica, a capacidade de obter informações não disponíveis, ou o desenvolvimento de

alguma parte do produto. Ou seja, não deve-se descartar imediatamente um conceito nesta situação, e sim considerá-lo na próxima técnica, onde estes aspectos condicionais serão vistos mais detalhadamente.

DEVE SER CONSIDERADO

O conceito mais difícil de ser avaliado é aquele em que não se evidencia imediatamente se é uma boa ou má idéia. Na avaliação deste tipo de conceito, a experiência e o conhecimento são essenciais. Se o conhecimento necessário não está disponível, o mesmo deverá ser desenvolvido. Isto deve ser acompanhado pela elaboração de modelos os quais podem ser facilmente avaliados. Considerando a linguagem de projeto, existem três principais classes de modelagem para avaliação: gráfica, física e analítica. Uma quarta linguagem, a textual, raramente auxilia na seleção de conceitos de solução de produtos industriais manufaturados.

6.3 - AVALIAÇÃO BASEADA NA DISPONIBILIDADE IMEDIATA DE TECNOLOGIA

A segunda técnica de avaliação, mostrada na figura 6.1, é voltada para determinar a disponibilidade tecnológica que pode ser relacionada ao conceito de solução. O objetivo desta técnica de avaliação é forçar uma comparação absoluta com as capacidades do atual estado da arte. Se uma determinada tecnologia deverá ser utilizada no projeto de um produto, esta deve estar suficientemente amadurecida de modo a ser efetivamente utilizada no projeto.

Pode-se verificar a maturidade de uma dada tecnologia, através das seguintes questões:

1. Pode a tecnologia ser produzida através de processos conhecidos?
Se ainda não foi desenvolvido um processo de manufatura confiável para a tecnologia, ou esta não deve ser utilizada no projeto, ou então esta nova capacidade do processo deverá ser desenvolvida. O risco desta última alternativa é que se este novo processo não for obtido, todo o projeto do produto irá fracassar.
2. Os parâmetros funcionais críticos podem ser identificados?
Todo conceito de solução possui parâmetros que são críticos para o desempenho operacional do produto. É importante conhecer-se os parâmetros – dimensões, propriedades dos materiais e outros – que são críticos para o funcionamento do produto.
3. A segurança e sensibilidade dos parâmetros operacionais é conhecida?
No decorrer do processo de projeto, os valores dos parâmetros poderão sofrer variações para achar-se o desempenho desejado ou melhorar a manufaturabilidade do produto. Portanto, é essencial conhecer-se os valores limites dos parâmetros e a sensibilidade de operação do produto com relação a estes parâmetros.
4. Os modos de falhas são conhecidos?
5. Existe algum tipo de experiência, experimento ou produto semelhante que responde positivamente as questões anteriores?
6. A tecnologia é controlável através do ciclo de vida do produto?

6.4 - AVALIAÇÃO BASEADA NO PASSA/NÃO-PASSA

Após estabelecer-se que as tecnologias utilizadas num dado conceito são maduras, o enfoque da base de comparação move-se para as necessidades dos clientes. Assim, cada conceito deve ser comparado com as necessidades de maneira absoluta. Ou seja, as necessidades devem ser transformada num conjunto de questões endereçada à cada conceito. Estas questões deverão ser respondidas por *sim* ou *possivelmente* (passa), ou *não* (não passa).

Este tipo de avaliação serve não somente para encontrar conceitos que não são adequados, mas irá servir para auxiliar a geração de novas idéias. Se um conceito apresentar nesta etapa, poucas respostas não-passa, tem-se uma forte indicação de que o conceito pode ser modificado ao invés de ser eliminado. Esta avaliação permite identificar de maneira rápida os pontos fracos de um conceito, e dependendo da situação, modificar o conceito de modo a ajustá-lo melhor ao problema. Durante esta modificação, a estruturação funcional e a matriz morfológica deverão ser analisadas e possivelmente atualizadas.

6.5 - AVALIAÇÃO BASEADA NA MATRIZ DE AVALIAÇÃO UTILIZANDO-SE AS NECESSIDADES DOS CLIENTES

Este método, também conhecido como método de Pugh, além de simples, tem se mostrado bastante eficiente para a comparação de conceitos que não tenham sido suficientemente detalhados, para uma comparação direta utilizando as necessidades e os requisitos de projeto. A essência do método é mostrada na figura 6.2. Este fornece uma maneira de medir a capacidade de cada conceito de atender as necessidades dos clientes. A comparação dos escores obtidos para os conceitos servirá para indicar as melhores alternativas e fornecer boas informações para a tomada de decisões. Trata-se de um método interativo de avaliação, que testa a completeza e o entendimento dos necessidades, identificando rapidamente os conceitos mais fortes, e auxilia a criar novos conceitos.

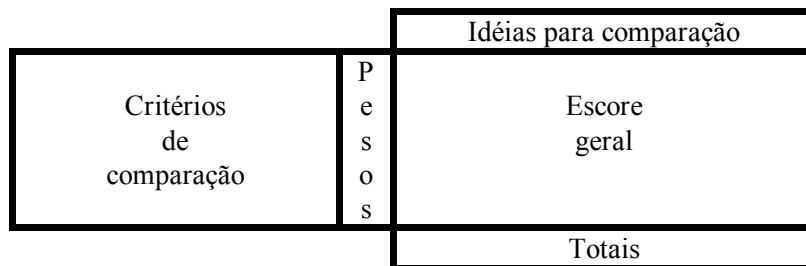


Fig. 6.2 - Matriz decisão [6.2].

Passo 1 - Escolha dos critérios para comparação

Inicialmente, é necessário conhecer-se as bases sobre as quais os conceitos serão comparados um com outro. Conforme visto no Capítulo 3, a utilização do QFD propiciou o desenvolvimento de um conjunto de necessidades dos clientes de um projeto, as quais foram usadas para gerar um conjunto de requisitos de projeto ou de engenharia, sendo estes por sua vez, associados com valores metas, com o objetivo de assegurar que o produto atendesse as necessidades dos clientes. Entretanto, dependendo da disponibilidade de conhecimentos e informações, os conceitos gerados não apresentam um grau de refinamento e detalhamento suficientes para que se possa compará-las com base nos requisitos de projeto, que são basicamente mensuráveis por algum tipo de sensor. Portanto, a base de comparação aqui, deve ser as necessidades dos clientes, que da mesma forma que os conceitos gerados, são abstratas e subjetivas.

Passo 2 - Seleção dos itens a serem comparados

Os itens a serem comparados são as diferentes idéias desenvolvidas durante a etapa de geração de soluções. Aqui é importante que todos os conceitos a serem comparados tenham o mesmo nível de abstração e estejam expressos na mesma linguagem.

Passo 3 - Geração do escore

Nesta fase, todo o projetista tem uma concepção favorita, uma que o projetista entende como sendo a melhor das concepções e que deverá ser desenvolvida. Esta concepção será usada como *referência*, e todas as outras concepções deverão ser comparadas com esta última, com relação às necessidades dos clientes. Se o problema é de reprojetar um produto existente, então o produto deverá ser abstraído ao mesmo nível dos conceitos propostos e então, utilizado como referência.

Para cada comparação com relação às necessidades, o conceito sendo avaliado é julgado como melhor que, mesmo que ou pior que a referência. Se para uma dada necessidade o conceito for julgado melhor que, recebe um escore “+”, para um mesmo que, recebe um “M” e se o conceito não atender a dada necessidade tão bem quanto a referência, recebe um “-”.

Passo 4 - Cálculo do escore total

Após um conceito ser comparado com a referência em cada critério, quatro escores podem ser obtidos; o número de “+”, o número de “-”, o total global e o peso total. O total global é a diferença entre o número de escores “+” e o número de escores “-”. O peso total é a soma de cada escore multiplicado pelo peso de importância de cada necessidade. Um M conta como 0, um “+” como +1 e um “-” como -1.

Os escores não devem ser tratados como medidas absolutas do valor dos conceitos, e sim como uma orientação. Os escores obtidos podem ser interpretados da seguinte forma:

- se um conceito ou grupo destes tem um bom total global ou um grande número de escores “+”, é importante identificar quais os aspectos deste conceito que são melhores que os da referência. Da mesma maneira, os escores “-” irão mostrar quais as necessidades que são especialmente difíceis de serem atendidas;
- se vários conceitos obtêm o mesmo escore para um dado critério, deve-se examinar cuidadosamente este critério. Pode ser que seja necessário um desenvolvimento maior na área de conhecimento deste critério para que sejam gerados conceitos melhores. Também pode ser o caso do critério ser ambíguo, ou seja poder ser interpretado de diferentes maneiras. Se o critério tiver um baixo peso de importância não deve-se dispendir muito esforço para clarificá-lo. Entretanto, se o critério é importante, devem ser empregados esforços e recursos ou para gerar novos conceitos ou para clarificar o critério.
- Para conhecer mais o problema, refazer as comparações utilizando o conceito com o mais alto escore, como sendo a nova referência. Esta iteração deverá ser feita até que claramente surja o melhor conceito.

A seguir será mostrado um exemplo de aplicação da matriz de avaliação, utilizando como tarefa de projeto o desenvolvimento de um retroprojektor de transparências. Serão utilizadas neste exemplo, as necessidades levantadas no exemplo do QFD do Capítulo 3, mostradas na figura 3.3.

A avaliação feita é mostrada na figura 6.3, onde pode-se perceber que os conceitos I e III ficaram avaliados tanto no total global quanto no peso total, como piores que o conceito de referência, sendo que a principal dificuldade destes conceitos ficou no aspecto de operação do aparelho. Já os conceitos II IV e V, resultaram melhores que o conceito de referência, sendo os seus escores finais similares.

Assim, desenvolve-se uma nova matriz de avaliação, mostrada na figura 6.4, na qual o conceito IV é tomado como nova referência.

O resultado desta segunda avaliação mostrou que o conceito IV foi o melhor, e o conceito II seria uma boa segunda escolha.

Cabe ressaltar, que este método permite duas possibilidades de geração de escores dependendo das informações disponíveis. A primeira mostrada anteriormente nas figuras 6.3 e 6.4, e uma segunda na qual emprega-se um sistema mais refinado, onde pode-se tratar

melhor o “quanto” melhor ou pior uma necessidade é atendida, então ao invés de utilizar-se “+1”, “0” e “-1” e utiliza-se:

- +3, quando o critério é atendido de modo imensamente superior à referência;
- +2, quando o critério é atendido muito melhor que à referência;
- +1, quando o critério é atendido melhor que a referência;
- 0, quando o critério é atendido da mesma forma que a referência;
- 1, quando o critério não é atendido tão bem quanto a referência;
- 2, quando o critério é atendido muito pior que a referência;
- 3, quando o critério é atendido imensamente pior que referência.

	Peso	I	II	III	IV	V	VI
Baixo aquecimento	4	+	+	+	+	+	R
Baixo ruído	4	-	+	+	+	+	E
Homogeneidade do foco	5	+	+	+	+	+	F
Facilidade de ajuste foco	3	+	+	+	+	+	E
Adequada ampliação	5	-	+	-	+	+	R
Adequado contraste	4	+	+	+	+	M	Ê
Baixo peso	4	-	-	-	+	M	N
Facilidade de pegar	3	-	-	-	M	M	C
Não provoca queimaduras	4	-	-	-	-	-	I
Não provoca lesões	3	-	M	-	M	-	A
Agradabilidade da cor	1	+	M	M	-	M	
Agradabilidade da forma	2	-	M	-	M	M	
Total +		5	6	5	7	5	0
Total -		7	3	6	2	2	0
Total global		-2	3	-1	5	3	0
Peso total		-8	14	-1	24	14	0

Fig. 6.3 - Matriz de avaliação para um retroprojeto de transparências.

	Peso	II	IV	V
Baixo aquecimento	4	M	R	M
Baixo ruído	4	M	E	M
Homogeneidade do foco	5	M	F	M
Facilidade de ajuste do foco	3	M	E	M
Adequada ampliação	5	M	R	M
Adequado contraste	4	M	Ê	-
Baixo peso	4	-	N	-
Facilidade de pegar	3	-	C	M
Não provoca queimaduras	4	M	I	M
Não provoca lesões	3	M	A	-
Agradabilidade da cor	1	+		+
Agradabilidade da forma	2	M		M
Total +		1	0	1
Total -		2	0	3
Total global		-1	0	-2
Peso total		-6	0	-10

Fig. 6.4 - Segunda matriz de avaliação para um retroprojeto de transparências.

6.6 - AVALIAÇÃO BASEADA NA MATRIZ DA AVALIAÇÃO UTILIZANDO-SE OS REQUISITOS DE PROJETO

Conforme citado no Passo 1 do item anterior, dependendo do nível de informação e conhecimento acerca do problema de projeto, pode-se obter ainda na fase de projeto conceitual, concepções com um nível razoável de detalhamento, e assim a matriz de avaliação pode ser montada utilizando-se como critérios para a comparação os requisitos de projeto.

Nesta avaliação pode-se utilizar também como critérios, além dos requisitos de projeto que são critérios quantitativos ou mensuráveis, critérios qualitativos.

Uma vez que os critérios e seus coeficientes de peso tenham sido definidos, o passo seguinte para a valoração de cada solução alternativa é a determinação do valor dos critérios. Em outras palavras, são atribuídos valores numéricos aos critérios, de modo a verificar se um determinado critério é bem ou mal atendido nas diferentes soluções alternativas.

Para que isto seja efetuado adequadamente, a matriz de avaliação deve ser montada conforme o exemplo mostrado na figura 6.5. Na primeira coluna desta figura, são colocados os critérios de avaliação com os respectivos coeficientes de peso p_i . Na segunda coluna indicam-se, quando possível, os parâmetros dos critérios de avaliação com as respectivas unidades. Para a direita são feitas tantas colunas quantas forem as soluções sob avaliação. Para cada solução tem-se três colunas de valores, os parâmetros k_{ij} , o valor v_{ij} a ser determinado para cada critério de avaliação e, por último a coluna do produto $p_i v_{ij}$.

Critério de avaliação		Parâmetros		Solução S ₁ (Motor M ₁)			Solução S ₂ (Motor M ₂)		
Título C _i	p_i	Nome	k_{ij} unid.	Parâm. k_{i1}	Valor v_{i1}	$p_i v_{i1}$	Parâm. k_{i2}	Valor v_{i2}	$p_i v_{i2}$
Pequeno consumo de combustível	0,30	Consumo de combustível	$\frac{g}{kWh}$	240	3	0,90	300	2	0,60
Baixo peso	0,15	Relação peso/potência	$\frac{kg}{kW}$	1,7	4	0,60	2,7	2	0,30
Fácil fabricação	0,10	Facilidade de fundição das peças	—	Regular	1	0,10	Bom	2	0,20
Vida longa	0,20	Vida	km	80.000	2	0,40	95.000	3	0,60
— — —	p_n	— —	—	—	—	—	—	—	—
	$\sum p_i=1$		—	—	—	$\sum p_i v_{i1}$	—	—	$\sum p_i v_{i2}$

Fig. 6.5 - Matriz de avaliação - exemplo motor [6.3].

No passo seguinte deverão ser consignados valores numéricos aos critérios enumerados na primeira coluna, ou seja, determinados os valores de v_{ij} para as diferentes soluções alternativas. Os valores de v_{ij} são fixados entre faixas de 0 a 10 ou 0 a 4 dependendo da vontade do avaliador. Considerando a faixa de 0 a 4, dá-se o valor ou nota 4 à solução que atender idealmente, ou bem, um determinado critério, e 0 quando não atendê-lo.

Quanto aos critérios qualitativos, tais como a facilidade de fabricação, resistência à corrosão, aclimatação, conforto, segurança contra choques, silenciosidade etc. normalmente são difíceis de quantificar. Nestes casos os critérios são avaliados qualitativamente de acordo com a tabela 6.1, e às avaliações qualitativas são consignados pontos ou notas.

Uma vez determinados os produtos $p_i v_{ij}$ para todos os critérios e soluções alternativas, o passo seguinte é a determinação do valor da função critério, ou seja:

$$F_j = \sum_{i=1}^n p_i v_{ij} \tag{6.1}$$

onde n é o número de critérios parciais e j indica a j -ésima solução alternativa. Estes valores poderão ser comparados, e o maior valor de F_j representa a melhor solução.

Tabela 6.1 - Escalonamento de critérios qualitativos.

<i>Avaliação qualitativa de critérios</i>	<i>Valores dos critérios v</i>
Insatisfatório	0
Regular	1
Bom	2
Muito Bom	3
Ótimo	4

Os possíveis erros cometidos nesta técnica podem ser classificados em dois grupos: erros dos avaliadores e erros do próprio método. Os erros dos avaliadores são de várias origens tais como: avaliação feita de modo tendencioso ou parcial, má escolha dos critérios de avaliação e interdependência dos critérios de avaliação. Os erros do próprio método decorrem da dificuldade de estabelecer os valores, e não se tem uma forma de determiná-los univocamente, sendo portanto estimados.

Neste método é escolhida a solução que apresentar o maior valor da função critério. Mas tão somente este número não satisfaz a uma boa escolha, principalmente quando se têm duas ou mais soluções alternativas com valores próximos, isto porque uma solução, mesmo apresentando um valor maior, pode apresentar-se muito fraca num dos critérios de avaliação parciais.

Para comparar estas soluções constrói-se um diagrama como o da figura 6.6, que mostra um perfil das mesmas. Na ordenada são marcados os coeficientes de peso, na abcissa os valores dos critérios de avaliação; a área hachurada representa o valor da função critério dada pela equação (6.1).

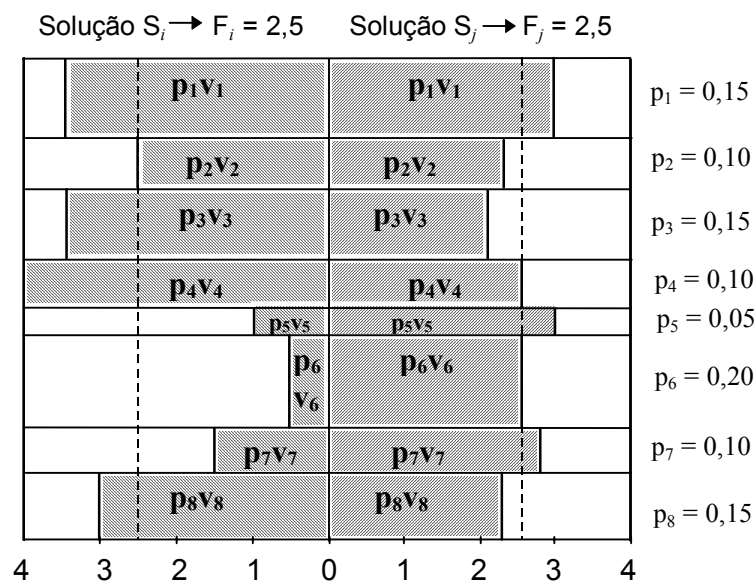


Fig. 6.6 - Perfis das soluções alternativas

Como mostra a figura 6.6, mesmo que as duas soluções apresentem o mesmo valor da função critério, ou seja, $F = 2,5$, a solução S_j se mostra melhor que S_i , isto porque a solução S_i , mesmo apresentando-se sob alguns critérios bem melhor do que S_j , apresenta três com valores bem mais baixos, um dos quais com grande peso. Como se verifica, a construção dos perfis das soluções vem facilitar a escolha de soluções, ainda mais quando estas estão próximas.

6.7 - REFERÊNCIAS

- 6.1. D. G. ULLMAM, “The Mechanical Design Process”, McGraw-Hill, 1992.
- 6.2. S. PUGH, “Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering”, Addison Wesley, 1991.
- 6.3. N. BACK, “Metodologia de Projeto de Produtos Industriais”, Editora Guanabara Dois, 1983.
- 6.4. G. PAHL & W. BEITZ, “Engineering Design a systematic approach”, Springer-Verlag, 1988