Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. Vol. 10, N.º 3, pp. 47-57, 2006

TOLERANCIAMENTO DIMENSIONAL NUM AMBIENTE DE PROJECTO AXIOMÁTICO

HELENA V. G. NAVAS, ANTÓNIO M. GONÇALVES-COELHO
Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa,
Quinta da Torre, 2829-516 Caparica, Portugal

(Recibido 5 de abril de 2004, para publicación 17 de mayo de 2005)

Resumo – A especificação de tolerâncias num ambiente de projecto axiomático deve ter lugar em todas as fases do desenvolvimento do projecto, a começar no nível mais elevado da respectiva árvore hierárquica. As tolerâncias são menores nos projectos acoplados ou desacopláveis do que no caso dos projectos desacoplados. Assim, os projectos acoplados ou desacopláveis são menos robustos do que os projectos desacoplados. A construção e o cálculo de cadeias de cotas devem ser feitos após a selecção de uma solução desacoplada e com o conteúdo mínimo de informação.

Palavras chave – Projecto axiomático, toleranciamento, cadeias de cotas.

1. O PROJECTO AXIOMÁTICO

Os axiomas são verdades que não podem ser demonstradas mas para as quais não existem contraprovas nem excepções. Muitos dos campos de ciência e tecnologia devem o seu avanço à transição das práticas baseadas na experiência para o uso de teorias científicas e metodologias que se baseiam em axiomas. O projecto axiomático segue esta tendência histórica do desenvolvimento das ciências e da tecnologia.

A Teoria Axiomática do Projecto [1] auxilia o processo mental de criação de projectos novos e/ou de melhoramento de projectos já existentes e baseia-se na afirmação de que o acto de projectar é um processo que pode ser descrito em termos científicos.

Os principais conceitos do projecto axiomático são [1]: domínios e transformações, hierarquias, decomposição em ziguezague e dois axiomas.

O conceito fundamental é que o universo do projecto é composto por quatro domínios distintos: o do Cliente, o Funcional, o Físico e do Processo (Fig. 1).

Os Requisitos Funcionais (RFs) são estabelecidos e definidos como o conjunto mínimo de requisitos independentes que caracterizam completamente os objectivos do projecto, de modo a que este satisfaça os requisitos do cliente. Em seguida escolhem-se as soluções de projecto ou Parâmetros do Projecto (PPs) e, finalmente, são determinadas as Variáveis de Processo (VPs).

A elaboração do projecto pode ser representada por transformações entre os domínios. O projectista ziguezagueia entre os domínios -funcional, físico e de processo- decompondo o projecto em subprojectos mais simples. A título de exemplo, a decomposição entre os domínios funcional e físico está representada na Figura. 2. Obtém-se, assim, uma estrutura arborescente em cada domínio do projecto.

As soluções adoptadas e os processos escolhidos -PPs e VPs, respectivamente- têm sempre consequências. Porém, os PPs e as VPs no nível mais baixo da árvore de projecto (Fig. 2) não geram consequências.

Do ponto de vista formal, a síntese da solução é a transformação dos requisitos funcionais em parâmetros de projecto, tal como se esquematiza na Figura 2, e pode ser representada pela Equação do Projecto [1]:

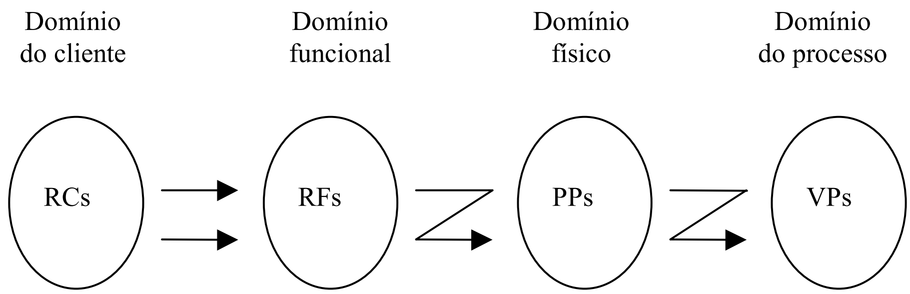

Fig. 1. A transição entre os domínios.

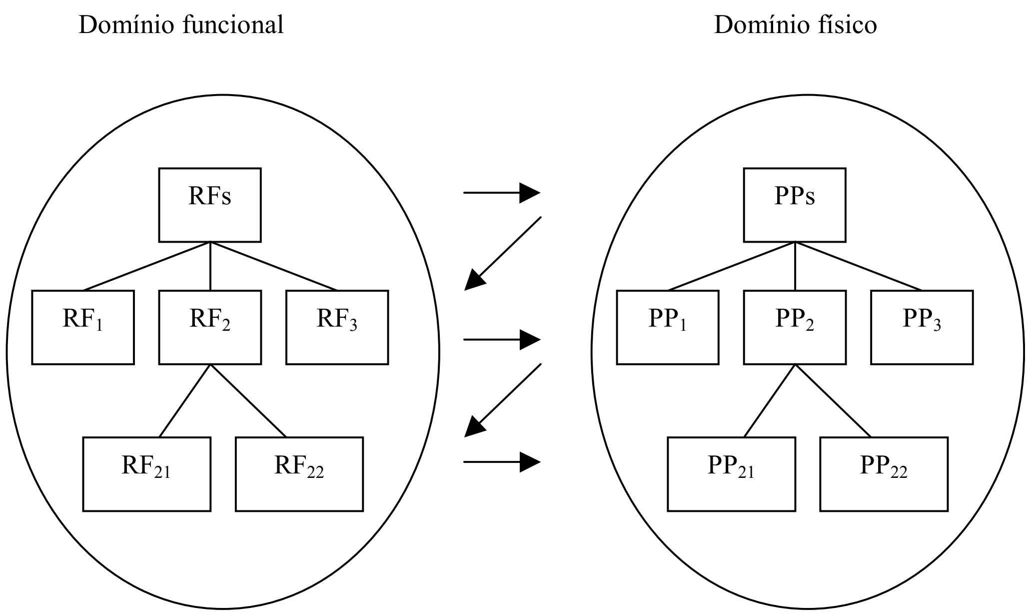

Fig. 2. Decomposição em ziguezague.

$$\{RF\} = [A]\ \{PP\} \tag{1}$$

onde:

{RF} – vector dos requisitos funcionais, de dimensão *m*;

{PP} – vector dos parâmetros do projecto, de dimensão *n*;

[A] – matriz de transformação, ou matriz de projecto, de dimensão *m* x *n*, cujo elemento genérico é da forma:

$$A_{ij} = \frac{\partial RF_i}{\partial PP_j} \tag{2}$$

As decisões a tomar durante a decomposição devem apoiar-se em dois axiomas [1]:

1. Num dado projecto, deve ser mantida a independência dos requisitos funcionais (axioma de independência).

   Isto significa que, num projecto aceitável, o mapeamento entre RFs e PPs deve ser tal que cada RF possa ser satisfeito sem afectar outros RFs.

2. O conteúdo de informação deve ser minimizado (axioma de informação).

   Ou seja, entre todas as soluções alternativas que satisfaçam o Axioma 1, a melhor é aquela que contiver o mínimo de informação.

Deste modo, o Axioma de Independência auxilia o projectista na criação de soluções alternativas tendo em conta as relações que devem existir entre as funcionalidades e o produto físico. Um projecto pode ser desacoplado (cada requisito funcional é satisfeito por ajuste de um único parâmetro de projecto), desacoplável (a independência entre os requisitos funcionais só pode ser garantida se os parâmetros de projecto forem ajustados seguindo uma sequência apropriada) ou acoplado (se o ajuste de qualquer dos parâmetros de projecto perturbar mais do que um requisito funcional).

O Axioma de Informação está relacionado com a probabilidade de serem satisfeitos os requisitos funcionais considerados e é utilizado como critério na selecção da melhor solução entre as alternativas encontradas.

Num ambiente de Projecto Axiomático, o conteúdo de informação deve ser minimizado, o que pode ser conseguido através de utilização de diversas técnicas:

1. Redução da “rigidez”.

   Quando são conhecidos os limites de projecto para RF_1, a tolerância permitida para PP_1 depende da grandeza de A_{11}, a qual representa a “rigidez”:

$$RF_1 = A_{11} \cdot PP_1 \tag{3}$$

2. Criação de sistemas insensíveis a variações.

   Se houver vários PPs que afectam um dado RF, então devem-se procurar outras soluções em que esse RF seja insensível à variação de todos os PPs, com excepção daquele que foi escolhido para controlar o RF em causa.

3. Fixação dos valores dos PPs superabundantes.

   Quando o projecto é redundante — isto é, o número de PPs é maior que o de RFs, mas o projecto não é acoplado — a variação dos RFs pode ser reduzida através da identificação dos PPs-chave e da escolha de valores apropriados para os PPs superabundantes.

4. Minimização da variação aleatória de PPs e VPs.

   Uma das formas de reduzir a variação dos RFs é através da redução da variação aleatória dos parâmetros considerados no início, em função da sua contribuição para a variação dos RFs afectados.

5. Compensação.

   Quando o número de PPs é maior do que o dos RFs, os efeitos das variações aleatórias dos PPs superabundantes pode ser atenuado por compensação, isto é, diminuindo a sensibilidade (ou “rigidez”) do sistema em relação a esses mesmos PPs.

6. Aumento das tolerâncias dos RFs.

   Em algumas situações, as tolerâncias dos RFs podem ser alargadas sem comprometer os objectivos do projecto.

2. O TOLERANCIAMENTO DIMENSIONAL E O PROJECTO AXIOMÁTICO

O desenvolvimento da sociedade coloca os projectistas perante problemas complexos de criação de novos produtos, cada vez mais aperfeiçoados, eficientes e com elevado desempenho. Porém, esses produtos devem ser realizados com gastos mínimos de matérias-primas e de recursos energéticos e laborais.

Uma importante tarefa em qualquer projecto é a elaboração de documentação (gráfica e descritiva) que proporcione, por um lado, a obtenção do nível necessário de simplicidade tecnológica em todas as fases do processo de fabrico e de montagem e, por outro, a qualidade do produto final. A resolução deste problema está ligada à escolha dos níveis de precisão dos produtos.

A produção em série — tal como a produção contínua — baseia-se na utilização de componentes que devem ser produzidos com a precisão necessária e suficiente para garantir a sua intermutabilidade.

Dentro desta filosofia, é necessário justificar económica e tecnicamente a precisão que se exige para o fabrico dos componentes, calcular as cadeias de cotas, determinar as tolerâncias geométricas de fabrico e de montagem e especificar o estado das superfícies.

Além disso, os parâmetros de qualidade — tais como a precisão, a durabilidade, a fiabilidade, etc. — dependem, em grande medida, da escolha correcta dos ajustamentos, ou seja da natureza da conjugação dos componentes e da atribuição adequada de tolerâncias dimensionais e geométricas. Deste modo, na escolha dos ajustamentos e das tolerâncias dimensionais e geométricas, é necessário ter em conta:

- a função de cada componente no respectivo subconjunto;
- a função de cada superfície do componente;
- a influência que os desvios dimensionais e geométricos dos eixos ou superfícies de cada componente exercem sobre os componentes contíguos;
- a influência que a soma dos desvios de parâmetros de precisão de todos os componentes exerce sobre as características de qualidade do produto completo (a precisão de movimentos, a suavidade de funcionamento, o nível de ruído, a durabilidade, etc.).

Como se pode depreender, é necessário prever margens para um número significativo de erros dimensionais e geométricos em todas as operações de fabrico e de montagem.

Num ambiente de projecto tradicional, as tolerâncias são vistas somente como parâmetros de projecto (PPs) e são consideradas apenas no domínio físico. Já no projecto axiomático, a escolha dos níveis de precisão e das tolerâncias faz parte de todos os domínios e de todos os níveis das árvores hierárquicas.

A construção de qualquer sistema torna-se mais fácil se as correspondentes tolerâncias de fabrico forem as mais largas possíveis. Então, se quiséssemos levar em conta as tolerâncias, a equação do projecto — neste exemplo com apenas dois RFs e dois PPs — assumiria a forma:

$$\begin{Bmatrix} RF_1 \pm \Delta RF_1 \\ RF_2 \pm \Delta RF_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} PP_1 \pm \Delta PP_1 \\ PP_2 \pm \Delta PP_2 \end{Bmatrix} \tag{4}$$

O nosso objectivo seria agora o de desenvolver o projecto de forma que ΔPP_1 e ΔPP_2 pudessem ser maximizados para os valores adoptados para ΔRF_1 e ΔRF_2. No caso do projecto requerer decomposição, então a análise e a síntese das tolerâncias ganharia maior importância, como veremos de seguida.

Consideremos que RF_1 da equação (4) é decomposto do seguinte modo:

$$RF_{11} \pm \Delta RF_{11} = \alpha\ (PP_{11} \pm \Delta PP_{11}) \tag{5}$$

$$RF_{12} \pm \Delta RF_{12} = \beta\ (PP_{12} \pm \Delta PP_{12}) \tag{6}$$

onde α e β são os elementos da matriz de projecto. Isto significaria que RF_{11} e RF_{12} são cumpridos de forma independente.

As tolerâncias de RF_{11} e de RF_{12} têm que ser compatíveis com as de RF_1. Em alguns casos, essas tolerâncias são as mesmas que as de RF_1, ou seja, $\Delta RF_1 = \Delta RF_{11} = \Delta RF_{12}$.

Em certas situações, porém, os limites considerados para os RFs “filhos” devem também considerar as relações que existem entre si, para além de estarem relacionados com as tolerâncias do RF “pai”.

A especificação das tolerâncias é simples se o projecto for desacoplado: para a tolerância ΔRF_i de qualquer RF_i, teremos [2]:

$$\Delta PP_i = \frac{\Delta RF_i}{A_{ii}} \tag{7}$$

Normalmente, procura-se fazer com que ΔPP_i seja o maior possível, pelo que A_{ii} deve ser pequeno.

Consideremos agora um projecto desacoplável com três RFs e três PPs:

$$\begin{Bmatrix} RF_1 \\ RF_2 \\ RF_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} PP_1 \\ PP_2 \\ PP_3 \end{Bmatrix} \tag{8}$$

O Axioma de Independência pode ser satisfeito se os PPs forem ajustados seguindo a sequência apropriada. Todavia, para tornar o projecto robusto (Projecto Robusto aquele que é insensível a variações na sua fabricação, nas condições ambientais de funcionamento e nas formas de uso [3], [4]), deve-se procurar que os elementos fora da diagonal principal sejam, ou nulos, ou muito menores que os elementos da referida diagonal (ou seja, $A_{ii} >> A_{ij}$, $j \neq i$).

Se as tolerâncias especificadas para os RFs forem ΔRF_1, ΔRF_2 e ΔRF_3, então as tolerâncias máximas admissíveis para os PPs poderão ser expressas do seguinte modo:

$$\Delta PP_1 = \frac{\Delta RF_1}{A_{11}} \tag{9}$$

$$\Delta PP_2 = \frac{\Delta RF_2 - \left| A_{21} \Delta PP_1 \right|}{A_{22}} \tag{10}$$

$$\Delta PP_3 = \frac{\Delta RF_3 - \left| A_{31} \Delta PP_1 \right| - \left| A_{32} \Delta PP_2 \right|}{A_{33}} \tag{11}$$

A variação de ΔPP_2 — que se deve ao termo A_{21} ΔPP_1 — pode tornar o termo ΔPP_2 maior ou menor, consoante o seu sinal. No entanto, o máximo admissível para ΔPP_2 corresponde ao pior caso possível, o que acontece quando ΔPP_2 é pequeno, por ser grande o valor de A_{21} ΔPP_1. Argumentação semelhante pode ser usada para ΔPP_3.

De acordo com as equações (9) – (11), as tolerâncias máximas admissíveis para os PPs de um projecto desacoplável são menores do que as tolerâncias correspondentes de um projecto desacoplado que possua os mesmos requisitos funcionais. Tal significa que os projectos desacopláveis são menos robustos do que os projectos desacoplados.

No caso dos projectos acoplados, as tolerâncias máximas admissíveis são ainda mais pequenas do que no caso dos projectos desacopláveis, como se verá de seguida.

Seja então o projecto acoplado que é representado pela seguinte equação:

$$\begin{Bmatrix} RF_1 \\ RF_2 \\ RF_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} PP_1 \\ PP_2 \\ PP_3 \end{Bmatrix} \quad (12)$$

A equação (12) pode ser resolvida caso o determinante da matriz do projecto, $\|A\|$, seja diferente de zero. A solução para PP_1 será:

$$PP_1 = \frac{1}{\|A\|}\left\{a \cdot RF_1 - b \cdot RF_2 - c \cdot RF_3\right\} \quad (13)$$

onde:

$$a = A_{22}A_{33} - A_{23}A_{32} \quad (14)$$

$$b = A_{12}A_{33} - A_{32}A_{13} \quad (15)$$

$$c = A_{22}A_{13} - A_{12}A_{23} \quad (16)$$

As expressões que se podem obter para PP_2 e PP_3 são semelhantes.

Para um dado conjunto de tolerâncias admissíveis para os RFs, a tolerância máxima admissível para PP_1 será [2]:

$$\Delta PP_1 = \frac{1}{\|A\|}\left\{a \cdot \Delta RF_1 - \left|b \cdot \Delta RF_2\right| - \left|c \cdot \Delta RF_3\right|\right\} \quad (17)$$

A comparação da equação (17) com as equações (7) e (9) mostra que as tolerâncias dos PPs dos projectos acoplados são mais pequenas do que as dos projectos desacoplados e as dos projectos desacopláveis.

3. APLICAÇÃO DO PROJECTO AXIOMÁTICO ÀS CADEIAS DE COTAS

No projecto de sistemas mecânicos e na selecção de sistemas e de métodos de medição é necessário determinar as proporções correctas entre as dimensões dos componentes interligados e as respectivas tolerâncias. Esses cálculos são realizados durante o processo de projecto por recurso à teoria das cadeias de cotas, a qual permite determinar as relações entre as superfícies dos componentes de forma a garantir o nível adequado de precisão durante o fabrico e a montagem.

Quer se trate do fabrico quer se trate da montagem, as cadeias de cotas são conjuntos de medidas interligadas que formam circuitos fechados.

A tolerância de uma condição funcional (ou tolerância de conjunto) depende das tolerâncias de cada um dos elos da cadeia, e vice-versa. O objectivo da síntese de tolerâncias consiste na determinação das tolerâncias e dos desvios de todas as cotas que constituem a cadeia, sendo conhecida a tolerância da condição funcional. Ao contrário, o objectivo da análise é o cálculo da tolerância da condição funcional a partir das tolerâncias e dos desvios de todas as cotas que constituem a cadeia [5].

O modelo de análise de tolerâncias dimensionais baseado na intermutabilidade total costuma ser usado em máquinas e outros produtos com precisão não muito elevada, e também em cadeias de cotas com poucos elos, em especial nos casos de produção unitária ou de pequenas séries.

A aplicação de modelos baseados no cálculo estatístico permite reduzir custos industriais graças ao aumento dos valores absolutos das tolerâncias. É por isso que esses modelos são usados normalmente em situações de produção em grande série ou de produção contínua.

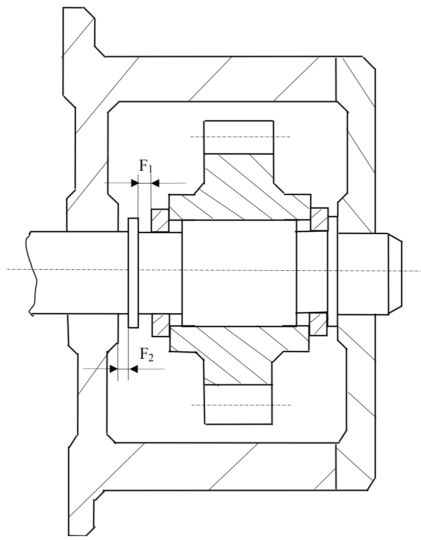

Fig. 3. Desenho de conjunto (adaptado de [6]).

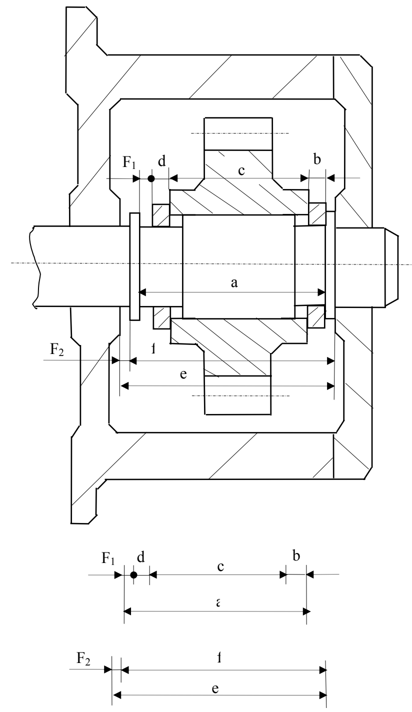

Fig. 4. Cadeias de cotas.

O exemplo que se segue ilustra algumas das vantagens que se podem obter na construção das cadeias de cotas e na análise e síntese de respectivas tolerâncias através da utilização da Teoria Axiomática do Projecto em vez dos métodos tradicionais.

Consideremos o desenho de conjunto representado na Figura 3 e sigamos os passos habituais da construção e do cálculo de cadeias de cotas.

Tradicionalmente, são dados os seguintes passos [5], [6]:

1. Análise funcional do conjunto.
2. Identificação das condições funcionais que exigem a construção de cadeias de cotas.

   Neste caso, as condições funcionais são (Fig. 3):

   - garantir a folga axial da roda dentada (folga F_1);
   - garantir a folga axial do veio (folga F_2).
3. Construção das cadeias de cotas correspondentes (Fig. 4).
4. Determinação do modelo de análise e do método de síntese de tolerâncias dimensionais, em função da escala de fabrico, do número de elos da cadeia, etc.

   Neste caso, a opção recaiu sobre o modelo da intermutabilidade total para e análise e o método da precisão constante para a síntese das tolerâncias das respectivas cotas.
5. Cálculo das tolerâncias e dos desvios das cotas.

No cálculo das tolerâncias para as cotas da Figura 4, os requisitos funcionais foram os seguintes:

RF_1 – folga axial da roda dentada (folga F_1 da Fig. 4);
RF_2 – folga axial do veio (folga F_2);
RF_3 – simplicidade tecnológica;

e os parâmetros de projecto foram:

PP_1 – tolerância da folga 1;

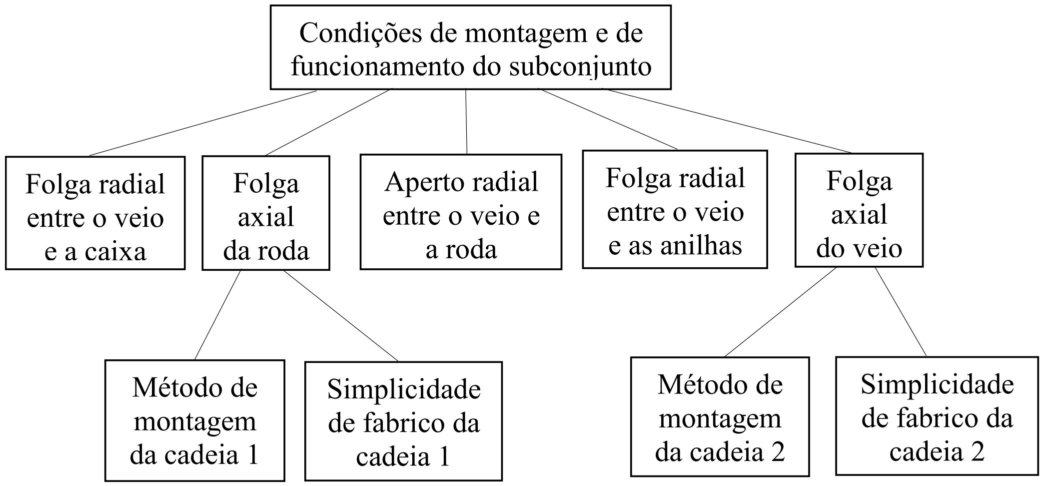

Fig. 5. Hierarquia de requisitos funcionais.

PP_2 – tolerâncias de fabrico das cotas da cadeia 1 (cotas a, b, c, d da Fig. 4);
PP_3 – tolerância da folga 2;
PP_4 – tolerâncias de fabrico das cotas da cadeia 2 (cotas e, f da Fig. 4);
PP_5 – modelo de análise das tolerâncias.

Do ponto de vista da Teoria Axiomática de Projecto, a equação de projecto utilizada teria sido a seguinte:

$$\begin{Bmatrix} RF_1 \\ RF_2 \\ RF_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{23} & A_{24} & 0 \\ 0 & A_{32} & 0 & A_{34} & A_{35} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} PP_1 \\ PP_2 \\ PP_3 \\ PP_4 \\ PP_5 \end{Bmatrix} \tag{18}$$

cuja solução é:

$$\begin{aligned} RF_1 &= A_{11} \cdot PP_1 + A_{12} \cdot PP_2 \\ RF_2 &= A_{23} \cdot PP_3 + A_{24} \cdot PP_4 \\ RF_3 &= A_{32} \cdot PP_2 + A_{34} \cdot PP_4 + A_{35} \cdot PP_5 \end{aligned} \tag{19}$$

Como mostra a equação (19), o ajuste de qualquer dos parâmetros de projecto perturba vários requisitos funcionais. Trata-se de uma solução infeliz pois viola o axioma da independência.

O processo de construção de cadeias de cotas e de análise e síntese das tolerâncias dimensionais necessita, portanto, de ser desacoplado, o que se pode conseguir tendo em atenção que um projecto ideal tem um número de parâmetros de projecto igual ao dos requisitos funcionais e que estes últimos são independentes [1].

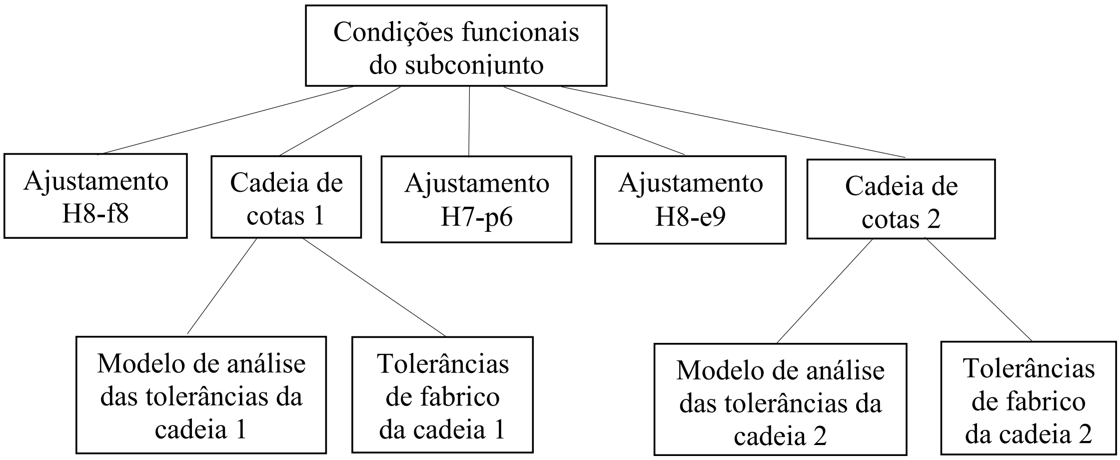

Fig. 6. Hierarquia de projecto.

Consideremos o mesmo problema mas, desta vez, num ambiente de projecto axiomático. A Figura 5 mostra a hierarquia funcional do subconjunto considerado anteriormente (Fig. 3). A hierarquia das correspondentes soluções físicas está representada na Figura 6.

A matriz do projecto passa a ser diagonal:

$$\left\{\begin{array}{l} \text{Mont.e func.conj.} \\ \hline \text{Folga veio-caixa} \\ \text{Folga axial roda} \\ \text{Aperto veio-roda} \\ \text{Folga veio-anilhas} \\ \text{Folga axial veio} \\ \hline \text{Montagem-cadeia 1} \\ \text{Fabrico-cadeia 1} \\ \text{Montagem-cadeia 2} \\ \text{Fabrico-cadeia 2} \end{array}\right\} = \left[\begin{array}{c|ccccc|cccc} X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X \end{array}\right] \left\{\begin{array}{l} \text{Cond.func.} \\ \hline \text{Ajust. H8-f8} \\ \text{Cadeia cotas 1} \\ \text{Ajust. H7-p6} \\ \text{Ajust. H8-e9} \\ \text{Cadeia cotas 2} \\ \hline \text{Análise-cadeia 1} \\ \text{Toler.-cadeia 1} \\ \text{Análise-cadeia 2} \\ \text{Toler.-cadeia 2} \end{array}\right\} \quad (20)$$

Como se vê através da equação (20), cada requisito é agora satisfeito por ajuste de um único parâmetro de projecto, assegurando a condição de independência.

Como se acaba de mostrar, o procedimento tradicional conduz a um projecto acoplado que obriga a compromissos por vezes impossíveis de alcançar, com o consequente sacrifício da qualidade das soluções finais.

Pelo contrário, o procedimento desenvolvido neste trabalho resulta em soluções desacopladas, graças à hierarquização e ao respeito pelo axioma da independência em todas as suas etapas: os valores de tolerâncias são alvo de atenção em todos os níveis das árvores hierárquicas (Fig. 5 e 6), condicionando à partida as tolerâncias de conjunto que definem as folgas e os apertos necessários. A construção de cadeias de cotas, assim como a análise e a síntese de tolerâncias dimensionais, tornaram-se desacopladas e perfeitamente integradas na hierarquia do projecto. Isto permite aumentar as tolerâncias de fabrico dos componentes, como se mostra na Tabela 1, o que normalmente corresponde a uma redução de custos industriais.

Tabela 1. Comparação das tolerâncias obtidas.

Cotas nominais, mm	**Tolerâncias, µm**	
	Metodologia tradicional	**Metodologia axiomática**
a = 33	25	100
b = 1,5	10	40
c = 30	21	84
d = 1,5	10	40
e = 50	25	100
f = 50	25	100

No caso apresentado — e graças à utilização da nova metodologia baseada na Teoria Axiomática do Projecto — conseguiu-se alargar significativamente as tolerâncias de fabrico relativas às cotas funcionais dos componentes, passando do nível que corresponde às tolerâncias fundamentais IT 7 para o nível IT 10.

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho apresentaram-se exemplos de aplicação da Teoria Axiomática do Projecto ao cálculo de cadeias de cotas. Esses exemplos mostram que o uso sistemático do axioma da independência, em conjunto com a hierarquização funcional, facilita a manutenção da coerência das cadeias de cotas ao longo de todas as etapas do desenvolvimento do projecto. Desta forma, as cadeias de cotas a toleranciar devem ser definidas antes do dimensionamento pormenorizado dos elementos que compõem cada conjunto ou subconjunto.

Finalmente, mostrou-se que este procedimento conduz geralmente ao uso de tolerâncias de fabrico mais alargadas, o que se costuma traduzir em maior facilidade na fabricação e na redução dos respectivos custos sem comprometer a qualidade.

REFERÊNCIAS

[1] N.P. Suh, “The Principles of Design”, Oxford University Press, 1990.

[2] N.P. Suh, “Axiomatic Design. Advances and Applications”, Oxford University Press, 2001.

[3] G. Taguchi, “Introduction to Quality Engineering. Designing Quality into Products and Processes”, Asian Productivity Organization, 1986.

[4] G. Taguchi, “System of Experimental Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Costs”, Quality Resources, White Plains, 1987.

[5] A. Mourão, “Modelos de Análise e Métodos de Síntese de Tolerâncias Dimensionais”, DEM, FCT – UNL, 1993.

[6] O. Lopes, “Tecnologia Mecânica. Elementos Para Fabricação Mecânica em Série”, Editora Edgard Blücher, 1983.

DIMENSIONAL TOLERANCE SPECIFICATION IN AN AXIOMATIC DESIGN ENVIRONMENT

Abstract - The tolerance specifications in an axiomatic design background must be considered at all the project development stages, beginning at the highest level of the respective hierarchical trees. Both coupled and de-coupled designs have tighter tolerances than the equivalent uncoupled ones. Therefore, coupled designs and de-coupled designs are less robust than uncoupled designs. This paper shows that construction and the calculation of the dimension chains should be made according to the independence condition, with minimum information content.

Keywords – Axiomatic design, tolerancing, dimension chains.