

Introdução à Nova Linguagem ISO de Especificação Geométrica de Produtos

Parte 1: A classificação dos elementos geométricos de superfície e suas aplicações *

José António Almacinha **

Resumo

Neste artigo, o primeiro de uma série de dois sobre os fundamentos da nova linguagem ISO de Especificação geométrica de produtos, baseada numa matematização dos conceitos e utilizável em concepção, fabricação e verificação, assinala-se o papel relevante desempenhado pelos elementos geométricos de superfície na especificação de produtos. Apresenta-se uma classificação dos elementos geométricos desenvolvida a partir da noção de simetria e extensível às ligações cinemáticas entre dois corpos. Mostra-se também que os elementos geométricos podem ser reduzidos a elementos simples que mantêm a mesma classificação e são utilizados na definição de referências especificadas e no estabelecimento de uma base racional para a parametrização da situação relativa entre elementos.

1 Introdução

A partir da segunda metade do século XX, à medida que a utilização da **cotagem e toleranciamento** se foi difundindo pela indústria, surgiu a necessidade de se proceder à normalização da **sintaxe** (simbologia e regras de escrita) e da **semântica** (significado dos princípios, requisitos e tolerâncias) da sua linguagem, a um nível internacional, a partir de uma codificação das melhores práticas industriais então disponíveis.

No entanto, com a crescente utilização de sistemas computadorizados nos diferentes processos industriais, passou a dar-se uma importância cada vez maior à possibilidade de intercâmbio da informação técnica produzida, tendo surgido a necessidade de substituir a linguagem de especificação geométrica baseada na prática por uma linguagem baseada em princípios matemáticos que pudesse, também, ser alargada aos domínios da fabricação e da verificação, com vista a conseguir reduções dos tempos despendidos na realização das diferentes tarefas, contribuindo desse modo para um aumento da produtividade [1].

* In Revista Tecnometal. Porto: AIMMAP, Novembro / Dezembro 2005, 161, p. 7-14.

** Docente da Secção de Desenho Industrial do DEMEGI-FEUP, colaborador do ONS-INEGI e secretário das Comissões técnicas portuguesas de normalização CT1 e CT9.

Neste contexto, a codificação associada à especificação macro e micro geométrica das peças deve ser não ambígua para toda a gente e exaustiva face à necessidade de limitar a variação geométrica funcional das peças, e a nova linguagem deverá ser aplicável aos sistemas CAx (isto é, CAD, CAE, CAM, etc.).

Estas considerações levaram à criação, em 1996, da Comissão técnica **ISO/TC 213** - “Especificações e verificação dimensionais e geométricas de produtos”, que começou por estabelecer a base para uma nova estrutura das normas ISO no **domínio GPS** (“Geometrical product specification”) e tem vindo a desenvolver um conjunto de princípios de base aplicáveis a todas as normas ISO, neste domínio [2, 3]. A consideração das superfícies das peças constituídas por elementos geométricos e a classificação destes baseada no conceito matemático de “grupo de simetria” desempenham um papel central na nova linguagem de Especificação geométrica de produtos (GPS) em desenvolvimento.

A **nova linguagem ISO** permite estabelecer uma classificação dos elementos geométricos e definir referências especificadas utilizadas para situar (orientar e/ou posicionar) os diferentes elementos, fornecendo também uma base racional para a parametrização destes.

Os conceitos e as ferramentas para esta nova abordagem estão descritos nas especificações técnicas ISO/TS 17450-1 e -2 [4, 5]. Estas ferramentas são baseadas nas **características dos elementos** (ver secção 3), nas **restrições entre elementos** (restrição: relação entre dois ou mais elementos num modelo, cuja presença implica que esta deverá ser mantida em quaisquer modificações realizadas posteriormente) e nas **operações** utilizadas para a criação de diferentes elementos geométricos (ver parte 2 deste texto, a publicar no próximo número).

A terminologia e os conceitos utilizados neste texto estão já amplamente consagrados nas novas versões de normas ISO de grande utilização a nível industrial, dentre as quais se podem citar, a título de exemplo, a ISO 1101 – *Toleranciamento geométrico* [6] e a ISO 5459 – *Referências especificadas e sistemas de referências especificadas* [7], pelo que o seu conhecimento e a sua compreensão são fundamentais para os técnicos industriais que trabalham no domínio do desenvolvimento de produtos.

2 Elementos geométricos

Genericamente, pode considerar-se que um produto é constituído por vários subconjuntos, sendo cada um destes formado por diferentes peças. Por sua vez, as peças são limitadas por elementos geométricos de superfície que estão sujeitos a várias condições (restrições).

As ambiguidades decorrentes da definição de peça, que podem ser constatadas a nível industrial, fizeram com que as normas centrassem a sua abordagem nos elementos geométricos, partindo-se daí para a especificação de peças ou produtos, conforme necessário.

2.1 Alguns termos gerais e definições

Os **elementos geométricos** (“geometrical features”) são entidades constituídas por conjuntos finitos ou infinitos (contínuos) de pontos, podendo ser classificados em simples ou compostos. De acordo com a sua definição, um **elemento simples** pode ser um ponto, uma linha ou uma superfície. Por sua vez, um **elemento composto** é uma colecção de elementos. A norma ISO 14660-1 [8] define vários elementos geométricos existentes em três domínios:

- No **domínio da especificação**, onde várias representações da futura peça são imaginadas pelo projectista (ex.: modelo da superfície não ideal e modelo da superfície discreta);
- No **domínio da peça**, o mundo físico;
- No **domínio da verificação**, onde é utilizada a representação de uma dada peça, obtida através de uma amostragem desta por meio de instrumentos de medição.

Partindo, a título de exemplo, de um elemento de superfície cilíndrica, podem considerar-se os vários tipos de elementos representados na figura 1. Um **elemento integral nominal** é um elemento teoricamente exacto definido por meio de um desenho técnico, sendo o seu eixo designado de **elemento derivado nominal**, uma vez que resulta daquele [ver figura 1 a)]. Estes elementos ideais fazem parte de um **modelo da superfície nominal** definido pelo projectista (ver figura 2).

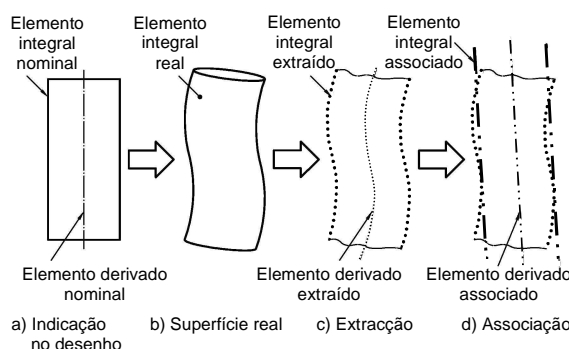


Figura 1 – Relação entre as definições dos elementos geométricos [8]

O **elemento integral real** é um elemento constitutivo da superfície real da peça, limitado pelos elementos reais adjacentes [ver figura 1 b)]. Este elemento é formado por um número infinito de pontos, mas apenas um subconjunto finito destes será usado para fins de medição. A representação aproximada do elemento real, obtida por extração de um número finito dos seus pontos, é denominada de **elemento integral extraído**, sendo a sua linha mediana designada de **elemento derivado extraído**, uma vez que resulta daquele [ver figura 1 c)].

Finalmente, o **elemento integral associado** é um elemento de forma perfeita (elemento ideal) que é ajustado ao elemento integral extraído ou ao próprio elemento integral real [7, 13], de acordo com convenções especificadas, sendo o seu eixo ou outra entidade considerada adequada designado de **elemento derivado associado**, uma vez que resulta daquele [ver figura 1 d)]. O elemento integral associado é um elemento do mesmo tipo (neste caso, um cilindro) do elemento integral nominal.

2.2 Classificação dos elementos geométricos

A partir dos elementos integrais nominais utilizados na definição do modelo da superfície nominal (ver figura 2), a ISO (Organização internacional de normalização) estabeleceu uma classificação dos elementos geométricos ideais. Um **Elemento ideal é um elemento definido por uma equação paramétrica**, sendo, geralmente, designado pelo seu **tipo** (propriedades geométricas de um elemento), por exemplo: plano, cone, cilindro, toro, linha recta, etc. As denominações de cilindro, de cone, etc., utilizadas ao longo do texto, empregam-se, neste contexto, para designar, respectivamente, uma superfície cilíndrica, uma superfície cónica, etc.

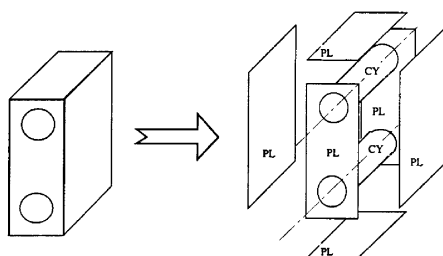


Figura 2 – Exemplo de modelo da superfície nominal e seus elementos ideais constituintes

A classificação adoptada assenta na noção de simetria e na definição matemática de grupo de simetria [9]. Neste âmbito, um **grupo de simetria** pode ser definido como o conjunto de movimentos de corpo rígido (transformações) que deixa um elemento geométrico invariante no espaço. Assim, todos os elementos ideais podem ser englobados numa das sete classes de invariância, definidas, no quadro 1, com base no seu grupo de simetria [4].

Quadro 1 – Quadro das classes de invariância

Classe de invariância ¹⁾	Superfície (exemplos)	Graus de invariância ²⁾	
Complexa		Nenhum (nem translação nem rotação)	0
Prismática		1 translação ao longo de uma linha de um plano	1
De revolução		1 rotação em torno de uma linha recta	1
Helicoidal		1 translação e 1 rotação combinadas em torno de uma linha recta	1
Cilíndrica		1 translação ao longo e 1 rotação em torno de uma linha recta	2
Plana		1 rotação perpendicular ao plano e 2 translações ao longo de duas linhas do plano	3
Esférica		3 rotações em torno de um ponto	3

1) Uma **classe de invariância** é um conjunto de elementos ideais definido pelo mesmo grau de invariância.
2) Um **grau de invariância** de um elemento ideal é(são) o(s) deslocamento(s) do elemento ideal para o(s) qual(ais) este permanece idêntico. Corresponde ao grau de liberdade (movimento de corpo rígido) utilizado em cinemática.

Nota: Neste contexto, todas as superfícies cilíndricas de directriz não circunferencial são classificadas como prismáticas.

A coluna 3, do quadro 1, fornece o conjunto de movimentos de corpo rígido sob o qual o elemento geométrico, indicado na coluna 2, permanece invariante no espaço. Assim, por exemplo:

- Um prisma com secção elíptica fica invariante no espaço por via de uma translação ao longo de uma linha recta; pertence à classe de invariância prismática.
- Um cone permanece invariante no espaço após uma rotação em torno do seu eixo (ver figura 3); pertence à classe de invariância de revolução.
- Um cilindro fica invariante no espaço, quer por translação ao longo do seu eixo, quer por rotação em torno deste; pertence à classe de invariância cilíndrica.

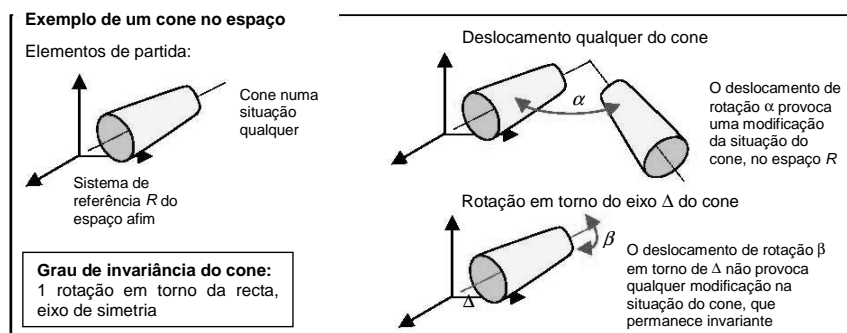


Figura 3 – Exemplo de um cone no espaço – classe de invariância de revolução

Por sua vez, a situação espacial (orientação e/ou posição) de cada elemento ideal pode ser definida a partir de um ou mais **elementos de situação**, que são elementos simples do tipo ponto, linha recta, plano ou hélice. Cada conjunto de elementos de situação pertence à mesma classe de invariância do elemento ideal do qual é derivado. No quadro 2, apresentam-se exemplos de elementos de situação.

Quadro 2 – Exemplos de elementos de situação de elementos ideais [4]

Classe de invariância	Tipo	Elementos de situação – Exemplos	
Complexa	Curva elíptica Parabolóide hiperbólico		Plano da elipse, planos de simetria Planos de simetria, ponto de tangência
	Superfície de Bezier baseada numa nuvem não estruturada de pontos no espaço ...		Plano, linha recta, ponto ...
Prismática	Prisma com uma base elíptica ...		Planos de simetria, eixo ...

De revolução	Círculo Cone Toro ...		O plano contendo o círculo, o centro do círculo O eixo de simetria, o vértice O plano contendo o toro, o centro do toro ...

Helicoidal	Linha helicoidal Superfície helicoidal com uma base de evolvente de círculo ...		Hélice Hélice ...

Cilíndrica	Linha recta Cilindro		Linha recta ¹⁾ O eixo simetria ¹⁾

Plana	Plano		O plano
Esférica	Ponto Esfera		O ponto ¹⁾ O centro ¹⁾

1) Não pode ser escolhido qualquer outro elemento de situação alternativo, pois tal resultaria numa classe de invariância diferente para o elemento considerado.

Legenda: • - ponto; / - linha recta; // - plano

De acordo com o quadro 2, apenas nos casos de elementos das classes cilíndrica e esférica, a definição dos elementos de situação é única. Nos restantes casos, em termos matemáticos, são possíveis várias escolhas alternativas, devendo ser seleccionada uma delas, de acordo com as necessidades funcionais de cada caso. A figura 4 ilustra o caso de um cone situado de um modo completo no espaço, a partir de dois elementos de situação, uma recta (o eixo do cone) e um ponto (o seu vértice, neste exemplo), com a situação definida através das respectivas características de situação (distâncias e ângulos), ver secção 3.2.

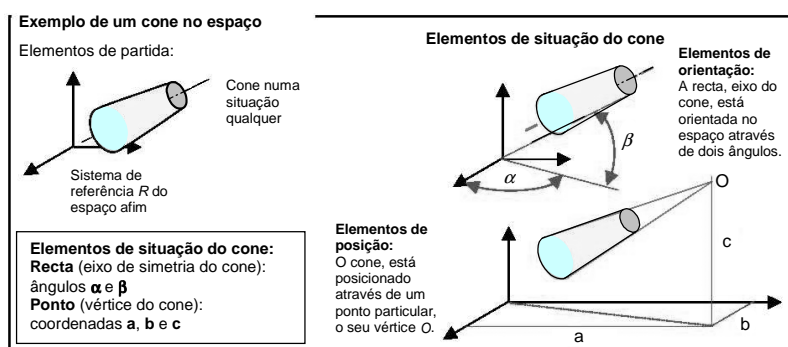


Figura 4 – Exemplo de um cone no espaço – elementos de situação

2.3 Elementos compostos

Um **elemento composto** é uma colecção de elementos considerados em conjunto, em concordância com a função da peça (ver figura 5). **Todos os elementos compostos ideais caem dentro de uma das sete classes de invariância**, indicadas no quadro 1, de acordo com o esquema do quadro 3.

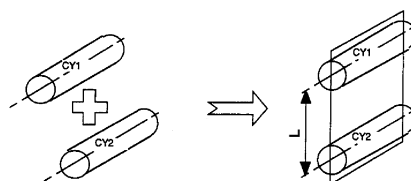


Figura 5 – Exemplo de um elemento composto

Uma colecção de elementos pode dar origem a um **elemento composto** com um tipo e um grau de invariância diferentes dos relativos aos seus elementos simples componentes. Um **elemento simples** é um elemento contínuo para o qual não existe qualquer subconjunto da mesma natureza (ponto, linha ou superfície) com grau de invariância maior do que o grau de invariância do elemento considerado.

Na figura 5, dois cilindros paralelos são considerados em conjunto [por exemplo, para construir uma referência especificada comum ("common datum"), a utilizar no toleranciamento geométrico]. Cada um dos cilindros é um elemento simples, mas a sua colecção já não o é. O elemento composto pela colecção dos dois cilindros apenas permanece invariante no espaço por translação ao longo de uma linha recta, pertencendo à classe de invariância prismática (ver quadro 3).

No quadro 3, apresenta-se uma **classificação dos vários elementos compostos**, que podem ser constituídos a partir da **colecção de pares de elementos simples** pertencentes a diferentes classes de invariância, [10, 11, 12]. Os elementos da classe de invariância “helicoidal” não foram considerados. Esta classificação é elaborada com base nas situações relativas do(s) elemento(s) de situação dos elementos componentes.

Quadro 3 – Colecções de pares de elementos – sua classificação em classes de invariância [12]

Reclassificação COLECÇÃO de elementos	Complexa 	Prismática 	De revolução 	Cilíndrica 	Plana 	Esférica
Complexa 						
Prismática 						
De revolução 						
Cilíndrica 						
Plana 						
Esférica 						

Legenda: P: Plano; D: Linha recta; O: Ponto (elementos de situação);
símbolos //, ⊥, ⊙: paralelos, perpendiculares e coaxiais.

Qualquer **elemento composto** resultante da colecção de n elementos geométricos pode ser classificado numa das sete classes de invariância, através da **aplicação recursiva** das classificações de pares de elementos.

Como cada conjunto de elementos de situação pertence à mesma classe de invariância do elemento do qual é derivado, a **situação relativa (orientação e/ou posição)** de elementos ou colecções de elementos é a mesma do(s) seu(s) elemento(s) de situação.

Assim, em praticamente todos os casos, a situação relativa de dois quaisquer conjuntos arbitrários de objectos geométricos pode ser definida através da consideração de, apenas, duas colecções de pontos, linhas rectas e planos. Este facto justifica a utilização dos elementos de situação das superfícies associadas no estabelecimento de referências especificadas (“datums”) [7]. Em teoria, podiam considerar-se todos os casos incluindo as hélices, no entanto, elas são pouco utilizadas, na prática, para fins de referência, sendo substituídas pelo seu eixo central.

As especificações técnicas da série ISO/TS 22432, actualmente ainda em fase de projecto [13, 14, 15, 16], definem, de um modo mais completo, a terminologia normalizada para os diferentes elementos geométricos, principalmente nos domínios da especificação e da verificação, e para a comunicação das relações entre estes domínios.

3 Características geométricas

Uma **característica geométrica** é uma propriedade geométrica simples (parâmetro geométrico) de um ou mais elementos, que pode ser expressa em unidades de comprimento ou de ângulo. O diâmetro de um cilindro, a distância entre um plano e o centro de uma esfera, ou o ângulo entre o eixo de um cilindro e um plano são exemplos de características.

As características geométricas podem ser **intrínsecas** (definidas nos elementos ideais) ou **de situação** (definidas entre dois elementos). Assim, por exemplo, no modelo geométrico nominal, representado na figura 2, os diâmetros dos cilindros são características intrínsecas e a orientação e a posição dos elementos são definidas por características de situação.

3.1 Características intrínsecas de elementos ideais

As **características intrínsecas** são parâmetros da equação paramétrica de um elemento ideal, sendo específicas para o tipo do elemento. No quadro 4, são dados exemplos de características intrínsecas.

Quadro 4 – Exemplos de características intrínsecas de elementos ideais

Classe de invariância	Tipo	Exemplos de características intrínsecas
Complexa	Curva elíptica Superfície polar ...	Comprimentos dos eixos maior e menor Posição relativa dos pólos ...
Prismática	Prisma com uma base elíptica Prisma com uma base de evolvente de círculo ...	Comprimentos dos eixos maior e menor Ângulo de pressão, raio de base ...
De revolução	Círculo Cone Toro ...	Diâmetro Ângulo no vértice Diâmetros da geratriz e da directriz ...
Helicoidal	Linha helicoidal Superfície helicoidal com uma base de evolvente de círculo ...	Passo da hélice e raio Ângulo da hélice, ângulo de pressão, raio de base ...
Cilíndrica	Linha recta Cilindro	Nenhuma Diâmetro
Plana	Plano	Nenhuma
Esférica	Ponto Esfera	Nenhuma Diâmetro

As características intrínsecas de um elemento de superfície correspondem às características geométricas que permanecem invariantes, quando o elemento geométrico é submetido a qualquer movimento de corpo rígido.

3.2 Características de situação entre elementos de situação

A(s) característica(s) de situação entre elementos de situação define(m) a **posição** ou a **orientação** relativa entre dois desses elementos. **Estas características são distâncias ou ângulos**. As características de situação podem ser separadas em **características de posição** e **características de orientação**, ver quadro 5.

Quadro 5 – Características de situação

Posição	Orientação
Distância ponto – ponto	Ângulo linha recta – linha recta
Distância ponto – linha recta	Ângulo linha recta – plano
Distância ponto – plano	Ângulo plano – plano
Distância linha recta – linha recta	
Distância linha recta – plano	
Distância plano – plano	

Alguns exemplos de características de situação entre elementos de situação:

- A posição relativa entre uma esfera e um plano é dada pela **distância ponto – plano** entre o elemento de situação da esfera (centro da esfera) e o elemento de situação do plano (o próprio plano).
- A orientação relativa entre um cilindro e um plano é dada pelo **ângulo linha recta – plano** entre o elemento de situação do cilindro (o eixo do cilindro) e o elemento de situação do plano (o próprio plano).

Uma característica de situação entre dois elementos transforma-se numa característica intrínseca do elemento composto (ex.: a distância L indicada na figura 5).

Na definição da parametrização da situação relativa entre dois elementos geométricos (ideais) E_{i_1} e E_{i_2} considerados em conjunto, o número de **características de situação** (NCS) – parâmetros independentes também conhecidos como graus de liberdade relativos a restringir – necessárias para esse efeito pode ser determinado através da expressão:

$$\text{NCS} = 6 - [\text{NID}(E_{i_1}) + \text{NID}(E_{i_2}) - \text{NID}(E_{i_1}, E_{i_2})] \quad (3.1)$$

em que $\text{NID}(E_i)$ e $\text{NID}(E_i, E_j)$ são, respectivamente, o número de graus de invariância (graus de liberdade) do elemento E_i e do par de elementos (E_i, E_j) , indicados, na quarta coluna do quadro 1, para cada classe de invariância.

Este cálculo não dita quais devem ser as características de situação – apenas determina quantas são possíveis. Tal deve-se, obviamente, ao facto de **a parametrização não necessitar de ser única – o mesmo conjunto pode ser parametrizado de várias formas, todas elas válidas**. A fórmula indicada é útil, muitas vezes, na verificação, *a posteriori*, da parametrização da situação relativa.

Uma vez que, a partir das suas classes de invariância, os elementos de situação dos elementos E_{i_1} e E_{i_2} são já conhecidos, pode dispor-se de uma lista de parametrizações possíveis, pré-seleccionadas, das suas situações relativas (ver quadro 6).

Quadro 6 – Graus de liberdade a restringir entre duas classes de invariância [12]

Graus de liberdade a restringir T: translação R: rotação	Complexa 	Prismática 	De revolução 	Cilíndrica 	Plana 	Esférica
Complexa 	3T 3R	2T 3R	3T 2R	2T 2R	1T 2R	3T 0R
Prismática 	2T 3R	D1 // D2 2T 3R 1T 3R	2T 2R	D1 // D2 2T 2R 1T 2R	D1 // P2 1T 2R 0T 2R	2T 0R
De revolução 	3T 2R	2T 2R	D1 ⊙ D2 3T 2R D1 // D2 2T 2R D1 ≠ D2 2R	D1 ⊙ D2 2T 2R D1 // D2 1T 2R D1 ≠ D2 2R	D1 ⊥ P2 1T 2R 1T 1R	D1 ⊙ O2 3T 0R 2T 0R
Cilíndrica 	2T 2R	D1 // D2 2T 2R 1T 2R	D1 ⊙ D2 2T 2R D1 // D2 1T 2R D1 ≠ D2 2R	D1 ⊙ D2 2T 2R D1 // D2 1T 2R D1 ≠ D2 2R	D1 // P2 1T 1R D1 ⊥ P2 0T 2R 0T 1R	D1 ⊙ O2 2T 0R 1T 0R
Plana 	1T 2R	P1 // D2 1T 2R 0T 2R	P1 ⊥ D2 1T 2R 1T 1R	P1 // D2 1T 1R 0T 2R P1 ⊥ D2 0T 2R 0T 1R	P1 // P2 1T 2R 0T 1R	1T 0R
Esférica 	3T 0R	2T 0R	O1 ⊙ D2 3T 0R 2T 0R	O1 ⊙ D2 2T 0R 1T 0R	1T 0R	O1 ⊙ O2 3T 0R 1T 0R

Legenda: P: Plano; D: Linha recta; O: Ponto T: Translação; R: rotação
símbolos //, ⊥, ⊙: paralelos, perpendiculares e coaxiais.

O quadro 6 permite caracterizar os graus de liberdade a restringir (**características de situação**) entre dois elementos de diferentes classes de invariância [12]. Cada característica indicada (T e R) é uma medida de comprimento ou uma medida angular. O número de graus de liberdade a restringir é quantitativo. As direcções dos graus de liberdade devem ser expressas num referencial criteriosamente estabelecido a partir das direcções principais dos elementos pertencentes às duas classes de invariância consideradas.

A título de exemplo, analisem-se os três elementos compostos distintos, apresentados na figura 6, constituídos a partir de pares de elementos simples da classe cilíndrica. De acordo com o quadro 3, cada um dos **elementos compostos** considerados pertence a uma classe de invariância diferente (complexa, prismática ou cilíndrica). Por outro lado, com base na expressão (3.1), é possível determinar o número de características de situação (NCS) necessárias para a definição da situação relativa entre os elementos simples (ver também o quadro 6).

Classe de invariância complexa NCS = 6 - (2+2-0) = 2 1 comprimento e 1 ângulo	Classe de invariância prismática NCS = 6 - (2+2-1) = 3 1 comprimento e 2 ângulos	Classe de invariância cilíndrica NCS = 6 - (2+2-2) = 4 2 comprimentos e 2 ângulos
a) Dois elementos cilíndricos com os eixos enviesados	b) Dois elementos cilíndricos com os eixos paralelos	c) Dois elementos cilíndricos com os eixos coaxiais

Figura 6 – Exemplos de classificação de pares de elementos cilíndricos e determinação do respectivo número de características de situação

No caso dos dois elementos cilíndricos com os eixos enviesados (situação relativa mais geral), a sua situação relativa pode ser parametrizada através de dois parâmetros (características de situação): a distância entre os eixos enviesados (comprimento da perpendicular comum) e o ângulo entre os dois eixos (ângulo entre as projecções ortogonais dos eixos, num plano normal à sua perpendicular comum), ver figura 6 a).

No caso dos elementos cilíndricos com os eixos paralelos mas distintos, a sua situação relativa pode ser parametrizada através de 3 parâmetros (características de situação): a distância entre os eixos paralelos e dois ângulos nulos (0°) [entre os dois eixos, no plano por eles definido, e entre as suas projecções ortogonais, num plano perpendicular àquele (dois parâmetros implícitos)], ver figura 6 b).

No caso dos elementos cilíndricos com os eixos coaxiais (coincidentes), a sua situação relativa pode ser parametrizada através de 4 parâmetros (características de situação): as distâncias nulas (0 mm) e os ângulos nulos (0°) entre os dois eixos, segundo dois planos perpendiculares entre si, cuja recta de intersecção é coincidente com os eixos coaxiais (quatro parâmetros implícitos), ver figura 6 c).

Geralmente, os parâmetros nominalmente nulos (implícitos) são considerados nas propriedades da geometria dos elementos. Na parametrização de modelos geométricos em CAD, os parâmetros implícitos podem ser introduzidos como **restrições geométricas** (ex.: paralelismo e coaxialidade).

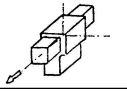
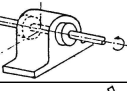
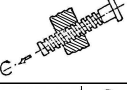
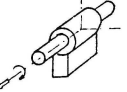
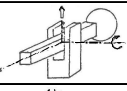
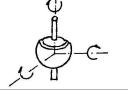
A especificação técnica ISO/TS (ISO/TC 213 N 754), actualmente ainda em fase de projecto [17], define, de um modo mais completo, a terminologia normalizada e classes para as características geométricas das especificações.

4 Considerações finais

Os elementos geométricos de superfície e a sua classificação com base na definição de grupo de simetria desempenham um papel assinalável na nova linguagem ISO de Especificação geométrica de produtos (GPS).

Esta classificação é idêntica à das ligações cinemáticas entre pares de elementos, com contacto superficial (“lower order kinematic pairs”), apresentada no quadro 7, o que sugere o seu possível interesse para uma caracterização da funcionalidade e fabricação dos elementos geométricos. Uma vez que as superfícies de contacto destas ligações devem permanecer invariantes no espaço, quando sujeitas a movimento relativo, podem ser englobadas nas seis últimas classes do quadro 1. Adicionalmente, como estas ligações são muito usadas, na prática, em diferentes mecanismos, nomeadamente em máquinas-ferramenta, muitos processos de fabricação de elementos de superfície inserem-se numa cadeia deste tipo de ligações cinemáticas. Estes aspectos sugerem que os elementos de superfície podem ser adequadamente agrupados para fins de toleranciamento, de acordo com aquela classificação [9].

Quadro 7 – Classificação das ligações cinemáticas entre pares de elementos, com contacto superficial

Ligação	Exemplos	No. de graus de liberdade	No. de graus de liberdade restringidos
Prismática (ou de translação)		1	5
De rotação simples		1	5
Helicoidal		1	5
Cilíndrica		2	4
De apoio plano		3	3
De rótula esférica		3	3

Por outro lado, a circunstância da situação relativa entre dois quaisquer elementos geométricos ser a mesma dos elementos de situação (ponto, linha recta e/ou plano), correspondentes às suas respectivas classes de invariância, é actualmente determinante no estabelecimento de referências especificadas (“datums”), necessárias para a definição da posição e/ou da orientação de zonas de tolerância ou de condições virtuais, em termos de toleranciamento geométrico [7]. Essas referências, estabelecidas a partir de superfícies integrais nominais, compreendem um ou mais elementos de situação dos elementos associados às superfícies reais ou extraídas (ver figura 1).

Finalmente, os elementos de situação permitem também o estabelecimento de uma base racional para a parametrização da situação relativa entre elementos geométricos, por meio de características (intrínsecas e de situação) e de restrições geométricas, nomeadamente entre os elementos de referência e os elementos toleranciados.

Os conceitos e as ferramentas apresentados neste texto desempenham um papel relevante no estabelecimento das bases da nova linguagem GPS em desenvolvimento, para utilização em concepção, fabricação e verificação. Em próximo artigo, esta abordagem será complementada, nomeadamente com a introdução do conceito de “modelo para a especificação e a verificação geométricas”, que permite explicitar um conjunto de operações duais existentes nestes dois processos.

5 Referências

- [1] –ALMACINHA, J. A. – O Sistema Normativo para Uma Especificação Técnica de Produtos Adequada ao Mercado Global no Domínio da Construção Mecânica. Rev. Tecnometal. Porto: AIMMAP. 2005, 159, p. 5-13.

- [2] – ISO/TR 14638. 1995 – Geometrical Product Specification (GPS) – Masterplan. ISO.
- [3] – Business Plan of ISO/TC 213 – Dimensional and geometrical product specifications and verification. Versão 4 Draft 3. ISO, 2004-10-14, 14 p.
- [4] – ISO/TS 17450-1. 2005 – Geometrical product specifications (GPS) – General concepts – Part 1: Model for geometric specification and verification. ISO.
- [5] – ISO/TS 17450-2. 2002 – Geometrical product specifications (GPS) – General concepts – Part 2: Basic tenets, specifications, operators and uncertainties. ISO.
- [6] – ISO 1101. 2004 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out. ISO.
- [7] – ISO/DIS 5459.2. 2004 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Datums and datum-systems. ISO.
- [8] – ISO 14660-1. 1999 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical features – Part 1: General terms and definitions. ISO.
- [9] – SRINIVASAN, V. – A geometrical product specification language based on a classification of symmetry groups. *Computer-Aided Design*. Vol. 31, no. 11 (1999), p. 659-668.
- [10] – CLEMENT, A. – The resolution of positioning solids. *CIRP Annals* – 1991. Vol. 40/1, p. 511.
- [11] – CLEMENT, A.; RIVIERE, A. TEMMERMAN, M. – *Cotation Tridimensionnelle des Systèmes Mécaniques*. Ivry-sur-Seine: PYC Edition, 1994.
- [12] – SCHNEIDER, F. – Outil de lecture d'un tolérancement géométrique. *Technologies & Formations*. Paris: PYC Edition. 2002, 103, p. 29-35.
- [13] – ISO/CD 22432-1. 2004 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Features utilized in specification and verification – Part 1: General. ISO.
- [14] – ISO/CD 22432-2. 2004 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Features utilized in specification and verification – Part 2: Integral features. ISO.
- [15] – ISO/CD 22432-3. 2005 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Features utilized in specification and verification – Part 3: Derived features. ISO.
- [16] – ISO/CD 22432-4. 2005 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Features utilized in specification and verification – Part 4: Enabling features. ISO.
- [17] – ISO/CD (ISO/TC 213 N 754). 2005 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Characteristics. ISO.