



## **MODELAGEM GEOMÉTRICA E FUNCIONAL DE GARRAS DE ROBÔ PARA AUXILIAR A DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE PEÇAS EM SISTEMAS PRODUTIVOS**

**Ernesto Massaroppi Jr.**

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Trabalhador São-carlense n. 400, Centro, 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, massarop@sc.usp.br.

**Paulo Cesar Masiero**

Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Departamento de Ciências de Computação e Estatística, Av. Trabalhador São-carlense n. 400, Centro, 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, masiero@icmc.sc.usp.br.

***Resumo.** Este trabalho apresenta um breve histórico dos Sistemas Flexíveis de Fabricação e discute um dos principais problemas encontrados nas suas implementações: verificar a possibilidade do fluxo de peças pelo sistema. Ainda hoje a verificação é realizada durante as paradas do sistema. Um método que, baseado na descrição geométrica das garras de robôs, determina as diversas possibilidades de fixação da peça é apresentado. Em um passo seguinte, definiu-se um índice que qualifica as possíveis fixações, levando-se em conta o acréscimo da carga de fixação para suportar as forças devidas à aceleração durante o processo de manipulação da peça. Assim, pode-se determinar automaticamente as fixações mais viáveis por meio de sistemas computacionais e utilizar essa informação diretamente para simular o fluxo da peça no Sistema Flexível de Fabricação.*

***Palavras-chave:** garra de robô, fluxo de peça, modelo funcional.*

### **1. INTRODUÇÃO**

As exigências do mercado consumidor da indústria metalmeccânica dos anos 80, caracterizadas principalmente pelo aumento da complexidade dos produtos, pelo aumento da diversificação de seus tipos, bem como pela diminuição de sua vida útil, associada à necessidade da diminuição do tempo entre o pedido e a entrega, levaram à instalação de sistemas produtivos capazes de manufaturar lotes cada vez menores, com alta produtividade, qualidade e principalmente flexibilidade. A fim de se poder fabricar um maior espectro de peças, sem a necessidade de reconfiguração do sistema produtivo, as indústrias viram-se obrigadas a uma automação flexível de sua produção. Desde então, os chamados Sistemas Flexíveis de Fabricação (SFF) têm aumentado em importância e número de instalações (Weck et al, 1987).

Nos anos seguintes, o desenvolvimento dos SFF foi caracterizado pelo acréscimo de unidades produtivas a eles agregados. Entretanto, a realização do fluxo de material através dos SFF permaneceu desde o início, como sendo um problema mecânico, que abrange principalmente a configuração das interfaces mecânicas. O encadeamento de diferentes unidades produtivas, com o auxílio de equipamentos para manipulação, transporte, teste e/ou armazenamento, gerou requisitos, até mesmo normas, para a configuração das interfaces mecânicas, tanto do lado das máquinas quanto do lado dos meios produtivos (garras de robôs, dispositivos de fixação e sistemas de apoio

de peças, entre outros). Apesar das deficiências de padronização, a interligação de cada um dos componentes dos SFF tornou-se possível graças a trabalhos abrangentes de adaptação dessas interfaces (Weck et al, 1990).

Ao contrário dos componentes dos SFF e dos meios produtivos por eles utilizados, as peças a serem produzidas não podem ser padronizadas. Além disso, deve-se considerar a variação de sua forma durante o processo produtivo. Como consequência, a verificação da possibilidade de realização do fluxo da peça continua sendo um grande problema (Gertosio et al, 2000, Kogan et al, 1997). Devido a essa dificuldade, as interfaces mecânicas entre os componentes do SFF, ou de seus meios produtivos, e a peça normalmente só podem ser verificadas durante os intervalos de funcionamento dos SFF. Muitas vezes a paralisação se faz necessária somente por causa desta verificação.

Os anos 90 caracterizaram-se pela globalização do comércio, e os mercados que antes eram locais ou regionais, tornaram-se mercados mundiais. Com isso aumentou a quantidade de clientes, mas também a quantidade de fornecedores. A concorrência ficou ainda mais acirrada, exigindo que as reações da indústria metalmeccânica às mudanças do mercado fossem cada vez mais rápidas.

Os softwares comerciais hoje existentes simulam cada vez com melhor qualidade o funcionamento de diversos componentes dos SFF, gerando até mesmo os comandos necessários (programas comando numérico para máquinas, robôs, etc.) para controle desses componentes. Os softwares utilizados são subdivididos de acordo com o tipo de componente simulado, apesar de em muitos casos considerarem de forma simplificada os demais componentes (por exemplo, a necessidade de espaço). Assim, pode-se evitar a colisão entre dois componentes do SFF e/ou seus meios produtivos, atuando diretamente sobre a peça, no instante em que esta é transferida entre eles.

Não são conhecidas soluções que considerem todas as interfaces mecânicas com a peça a ser produzida, durante a realização de seu fluxo pelo sistema produtivo, principalmente naqueles interligados de forma complexa. Portanto, para se poder utilizar completamente a flexibilidade de sistemas produtivos complexamente interligados, devem ser desenvolvidos métodos que, após a análise da seqüência de fabricação de uma peça, sejam capazes de apontar alternativas viáveis para sua fabricação, sem que para isso seja necessária a paralisação do sistema produtivo.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho é apresentar um método capaz de simular o emprego de garras de robôs, levando em conta não só a geometria, mas também a funcionalidade das mesmas. Assim é possível obter-se as diversas alternativas de fixação da peça na garra do robô, ordenadas por um critério de qualidade. Com isto, pode-se determinar a posição relativa entre a peça e o robô e, conseqüentemente, a localização espacial do ponto em que a peça deve ser apanhada e solta pelo robô, durante a alimentação e descarga da máquina ou do palete de transporte.

## **3. GARRAS**

Os robôs podem possuir dispositivos para usinar, medir ou segurar na função de atuadores finais. Quando o dispositivo é utilizado para segurar o objeto manipulado, recebe o nome de garra. Elas são subconjuntos completos, que constituem o elemento de ação entre o robô, o objeto movimentado e o processo produtivo (Severin, 1987), ou seja, a interface mecânica entre o robô e a peça. As garras têm como principal tarefa produzir, manter e desfazer a ligação entre o objeto e o robô. Para execução destas tarefas, as garras exercem ou recebem esforços (forças e momentos) (VDI2740, 1991).

Para transmissão de esforços entre a garra e o objeto pode-se utilizar vários princípios físicos e técnicos. Os princípios de fixação mais importantes são: por magnetismo, por engate entre as superfícies, por sucção, hidráulica ou pneumática e mecânica. Na literatura encontram-se vários exemplos de construções de garras que atuam segundo os diversos princípios (Pham und Heginbotham, 1986; Weck und Rosenbauer, 1988; Stave, 1988 e Rosenbauer, 1988). Siemens

(1983) e Severin (1987) comentam a preponderância das garras mecânicas, que perfazem cerca de três quartos da totalidade das garras.

Independentemente do princípio utilizado, a construção das garras divide-se em cinco subsistemas: de atuação, cinemático, de suporte, de processamento de informações e de acionamento (VDI2740, 1991).

O sistema de atuação abrange o local geométrico da garra que contacta o objeto e conseqüentemente transmite esforços entre suas superfícies (Spur und Severin, 1982). As superfícies localizadas na garra e na peça são respectivamente denominadas superfície de fixação ou superfície ativa e superfície fixada ou superfície passiva (Cardaun, 1981). O princípio de atuação para transmissão de esforços pode ocorrer pela forma, pelo emprego de esforços ou combinações deles. Quando o princípio é pela forma ocorre a transmissão de força normal entre as superfícies ativas e passivas. Quando se utiliza o princípio do emprego de esforços tem-se não só força normal, como também força de atrito entre as superfícies (Severin, 1987).

O sistema cinemático garante a transmissão de movimento e energia entre o sistema de acionamento e o de atuação da garra. Dependendo da configuração do sistema cinemático pode-se efetuar a transmissão do movimento e dos esforços segundo diferentes relações. A diretriz VDI2740 (1991) sugere um conjunto de soluções para o sistema cinemático a fim de auxiliar o projetista na construção de uma garra.

O sistema de suporte é a base da garra e constitui a interface com o membro final do robô. Por intermédio desse sistema são transmitidos esforços, energia e informação entre a garra e o robô. Apesar da normalização do flange para configuração dessa interface (DIN24601, 1986 e ISO9409, 1988), constatou-se que de vinte e cinco robôs industriais disponíveis no mercado alemão, apenas quatro possuíam flanges segundo a norma (Buschulte, 1990). Caso haja diversos objetos a serem manipulados ou funções a serem executadas, deve-se prever um sistema de troca de garras que impõe novas exigências ao sistema de suporte. Dependendo da freqüência e da necessidade de automação, os sistemas de troca de garras são construídos em diferentes formas. A troca pode ocorrer com a utilização de ferramentas, manualmente ou totalmente automática. Quando se realiza uma troca automática da garra, deve-se também prever a separação momentânea e a reconexão automática da transmissão de energia e informações. A troca automática de garras não é prevista nas normas acima citadas (Stave, 1988), mas desde o início dos anos 80 vários fornecedores já fabricam regularmente garras com sistema automático de troca (Stolz und Boley, 1988).

O sistema de processamento de informações recebe informações de sensores, as amplifica em um sistema eletrônico e as encaminha ao próximo sistema de processamento, de acordo com uma interface apropriada. O sistema de processamento de informações também representa a interface com o comando do robô (Severin, 1987).

O sistema de acionamento fornece a energia necessária para a abertura e o fechamento do sistema de atuação, bem como a força de fixação para a manipulação de um objeto. A energia do sistema de acionamento é fornecida na forma elétrica, pneumática ou hidráulica e transformada em energia mecânica dentro do sistema de acionamento.

### **3.1. Modelo Geométrico**

Em função, principalmente da forma da peça a ser manipulada, as garras podem assumir diferentes formas geométricas. As garras mais comuns, que inclusive encontram-se disponíveis comercialmente, são compostas de um corpo e de pinças, geralmente em número de duas ou três, que movimentam-se em direção ao centro da garra dentro de um limite de curso preestabelecido.

O modelo geométrico de uma garra depende do tipo de garra utilizado. No escopo deste trabalho é apresentado apenas o tratamento de garras de duas pinças, utilizadas para a manipulação de peças com simetria rotacional, tipicamente obtidas em processo de torneamento. As pinças possuem duas superfícies planas, defasadas de um dado ângulo, formando um assento prismático para a fixação da peça (Fig. (1))

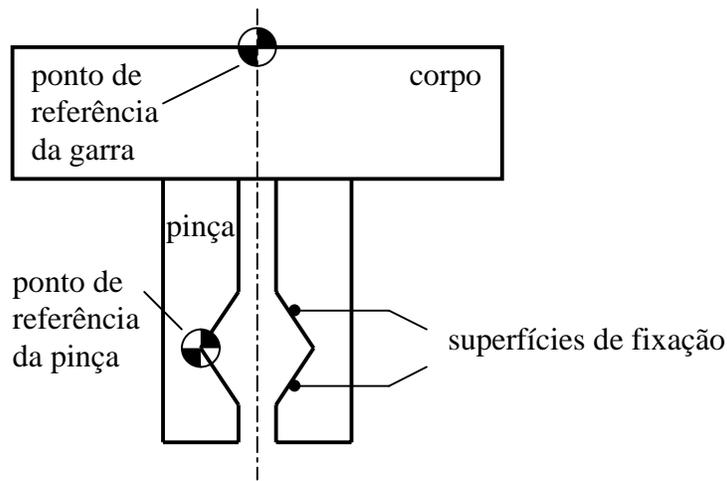


Figura 1 – Representação esquemática de uma garra de duas pinças

O modelo geométrico da fixação de uma peça por meio de uma garra mecânica consiste basicamente dos dados geométricos. Todas as dimensões e distâncias de interesse devem ser conhecidas antes de verificar-se a possibilidade de fixação de uma determinada peça. Eles são mostrados na Fig. (2). Em geral, as garras de duas pinças são construídas com corpos em forma prismática e mais raramente em forma cilíndrica. Os dados geométricos do corpo da garra em forma prismática são a sua altura ( $h_{cp}$ ), o seu comprimento ( $l_{cp}$ ), a sua largura ( $w_{cp}$ ) e o curso total das pinças ( $s_{cp}$ ). Os dados geométricos da pinça consistem das coordenadas do seu ponto de referência em relação ao corpo da garra, uma na direção da altura ( $h_{pc}$ ) e outra na direção do comprimento, quando a pinça encontra-se na posição fechada ( $l_{pc}$ ), da largura da pinça ( $w_{pc}$ ), do ângulo entre as superfícies do prisma de fixação ( $\alpha_{pc}$ ) e da sua profundidade ( $d_{pc}$ ).

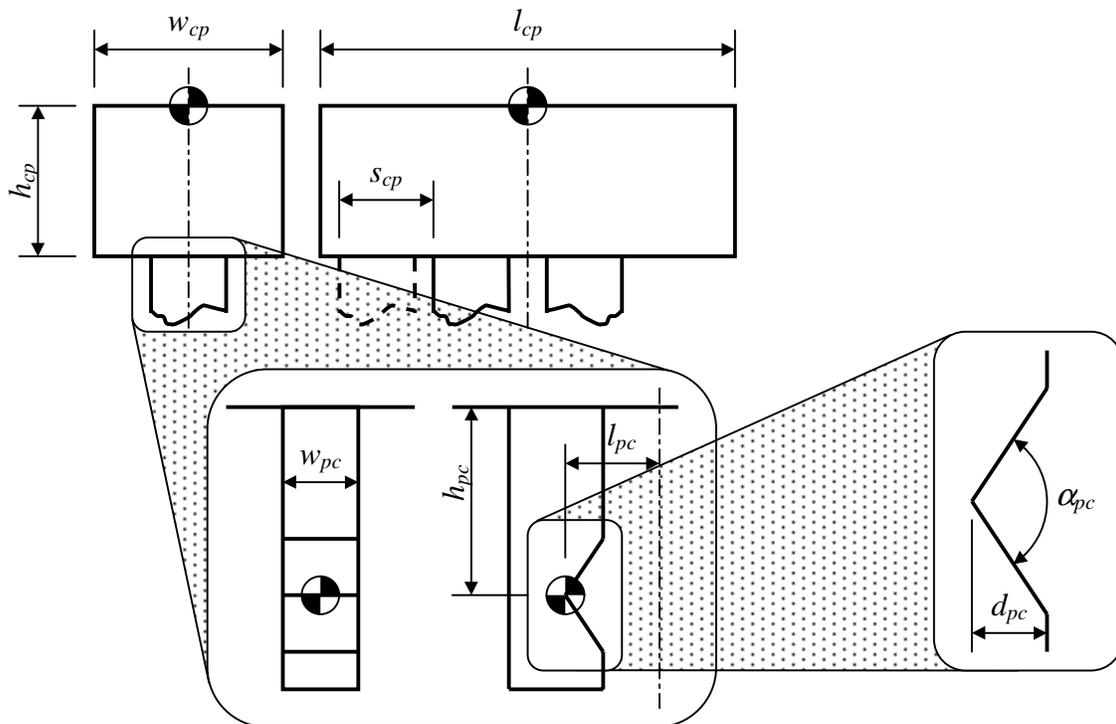


Figura 2 – Modelo geométrico da garra de duas pinças

A utilização do modelo geométrico dá-se ao confrontar cada uma das superfícies cilíndricas da peça com as superfícies do prisma de fixação da pinça. Na direção radial da peça deve-se abrir as

pinças até que o losango determinado pelo prolongamento das linhas referentes às superfícies de fixação tangenciem o círculo que representa a superfície cilíndrica da peça a ser fixada. Mostra-se que o diâmetro da peça ( $D$ ) deve estar entre os limites dados pelas Eqs. (1) e (2), para que a fixação seja possível.

$$D \geq 2 \cdot l_{pc} \cdot \text{sen}(\alpha_{pc}/2) \quad (1)$$

$$D \leq \min[2 \cdot (l_{pc} + s_{cp}) \cdot \text{sen}(\alpha_{pc}/2); 2 \cdot d_{pc} \cdot \tan(\alpha_{pc}/2) / \cos(\alpha_{pc}/2)] \quad (2)$$

Na direção axial a posição da peça em relação à garra é determinada pela precisão do robô ao conduzir a garra até o ponto em que se encontra a peça e garantida pela força de atrito entre as superfícies de fixação e fixada. A superfície da peça em toda a região de contato com a pinça deve ser cilíndrica, caso contrário o comprimento de contato será menor que a largura da pinça. Ao comparar-se a geometria da garra e da peça obtêm-se posições relativas entre elas que descrevem fixações válidas. Determina-se o comprimento de contato, a faixa de posicionamento axial da peça que caracteriza a mesma fixação e a distância, na direção axial da peça, entre o ponto de referência da pinça e o centro de gravidade da peça.

Em contrapartida, diversos fatores podem determinar que a fixação é inválida. Entre eles destaca-se: possibilidade de interferência entre a peça e a pinça; interferência entre a peça e o corpo da garra; região da peça a ser manipulada de forma cônica ou outra qualquer diferente da forma cilíndrica; etc.

### 3.2. Modelo Funcional

O modelo funcional descreve a interação de esforços entre a pinça e a peça. A Fig. (3a) mostra uma seção transversal da peça, perpendicular ao eixo de simetria, no centro da região de fixação por meio de uma garra, onde pode ser vista a rigidez radial da peça ( $k_{rp}$ ), desde seu centro até o ponto de contato com a pinça, e a rigidez de contato ( $k_c$ ), apenas em direção a um dos pontos de contato. Na figura não estão apresentadas, mas devido à simetria pode-se afirmar que tanto a rigidez da peça como a de contato são iguais entre si em cada uma das quatro direções até os respectivos pontos de contato. Na figura está também representado o sistema de coordenadas de referência  $O'$ . A Fig. (3b) mostra um corte no plano x-y do sistema de coordenadas de referência, na posição  $r_o'$  em relação ao sistema global de coordenada  $O$ . Na figura está presente também o centro de gravidade  $C$  da peça, posicionado em  $\rho_c$  em relação ao sistema de coordenadas de referência.

Quando o robô manipula a peça segundo uma dada trajetória, a pinça exerce esforços sobre a peça para que ela sofra as acelerações correspondentes. A relação entre os esforços e as mudanças de posição e orientação da peças é regida pela equação de movimento de Newton (Hibbeler, 1999). Esta equação pode ser decomposta nas parcelas relativas à força (Eq. (3)) e relativa ao momento (Eq. (4)) aplicados sobre a peça.

$$\vec{F} = m \cdot \ddot{\vec{r}}_o' \quad (3)$$

$$\vec{M}' = \vec{\rho}_c \wedge m \cdot \ddot{\vec{r}}_o' + \vec{H}' \quad (4)$$

Nas expressões acima,  $F$  é a força e  $M'$  o momento aplicado sobre a peça referido ao sistema de coordenada de referência  $O'$ . A massa da peça é representada por  $m$ .  $H'$  é a parcela do momento relativa às acelerações angulares e aos momentos giroscópicos.

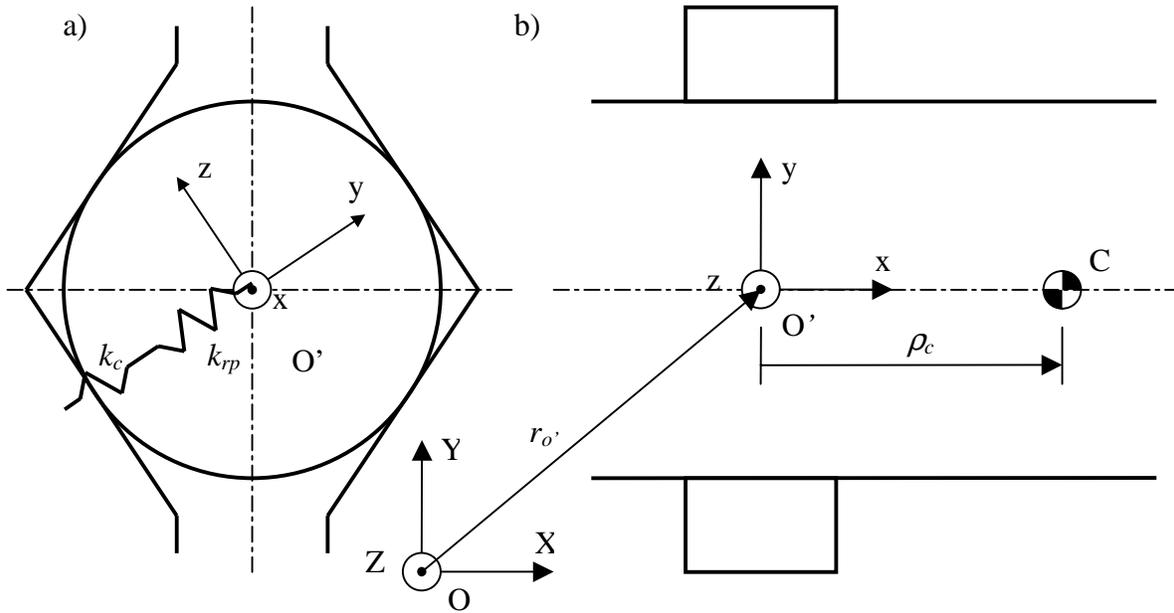


Figura 3 – Fixação da peça na garra

Como a peça possui um eixo de simetria, na realidade dois, e como um dos eixos do sistema de coordenadas de referência  $O'$ , no caso o eixo  $x$ , passa pelo centro de gravidade da peça, todos os produtos de inércia da peça em relação a este sistema são nulos. No sistema de coordenadas adotado, os momentos de inércia em relação ao eixo  $y$  e em relação ao eixo  $z$  assumem o mesmo valor. Também o centro de gravidade da peça está localizado sobre o eixo  $x$ , e portanto o vetor posição  $\vec{\rho}_c$  é reduzido à sua componente  $\rho_x \cdot \hat{i}$ . Consequentemente, as componentes da Eq. (4) ficam reduzidas a:

$$M_x = [I_x \cdot \dot{\omega}_x] \cdot \hat{i} \quad (5)$$

$$M_y = [I_y \cdot \dot{\omega}_y + \omega_x \cdot \omega_z \cdot (I_x - I_z) - \rho_x \cdot m \cdot \ddot{r}_{oz}] \cdot \hat{j} \quad (6)$$

$$M_z = [I_z \cdot \dot{\omega}_z + \omega_x \cdot \omega_y \cdot (I_y - I_x) + \rho_x \cdot m \cdot \ddot{r}_{oy}] \cdot \hat{k} \quad (7)$$

Nestas equações,  $I$  representa o momento de inércia em relação aos sistemas de coordenadas de referência e  $\omega$  a velocidade angular. Os índices indicam em relação a qual eixo as grandezas acima são referidas.

Para que a pinça provoque uma aceleração linear da peça, ela deve aplicar sobre a peça uma força na mesma direção, de acordo com a Eq. (3). A componente da força no plano  $y$ - $z$  ( $F_{y-z}$ ) é aplicada na peça por variações da força normal nas superfícies de contato entre pinça e peça. A componente da força na direção  $x$  é aplicada pela força de atrito entre as superfícies de contato e não provoca variação das forças normais de contato. Mostra-se que a variação da força de contato na direção de um dos pares de contato é máxima quando a aceleração ocorre na direção perpendicular ao outro par de contato. Ou seja, se na Fig. (3a), a aceleração ocorrer na direção  $z$ , perpendicular à direção  $y$  onde existe um par de contato, a força sobre o outro par de contato será máxima. A variação total da força nessa direção de contato  $F_c$  é dada por:

$$F_c = F_z / \cos(\alpha_{pc}) \quad (8)$$

Quando o ângulo entre as faces do prisma é 90°, a variação de força é máxima quando a aceleração ocorre na direção dada pelo respectivo par de contato. A variação da força normal em um dos contatos em uma dada direção é metade da força total, ou seja parte acresce a força de contato em um lado e parte a decresce no outro lado.

Define-se densidade linear de carga  $q$  como sendo a relação entre a carga  $Q$  aplicada em um intervalo pequeno de contato e o comprimento desse intervalo  $L$ .

$$q = \lim_{L \rightarrow 0} Q/L \quad (9)$$

Caso a aceleração linear seja na direção vertical para cima e a garra se encontre em uma orientação tal que essa seja a direção crítica, a variação da densidade linear de carga sobre o contato, com comprimento efetivo  $l_c$  proveniente das relações acima e da parcela relativa ao peso da peça, resulta em:

$$\Delta q_F = m \cdot (\ddot{r}'_{o', y-z} + g) / [2 \cdot l_c \cdot \cos(\alpha_{pc})] \quad (10)$$

A variação da densidade de carga assume o valor máximo quando a aceleração no plano y-z ( $\ddot{r}'_{o', y-z}$ ) correspondente à capacidade de aceleração do robô.

Para que a pinça provoque acelerações angulares da peça, ela deve aplicar sobre a peça momentos, de acordo com as Eqs. (5), (6) e (7). A componente do momento em torno de um eixo particular no plano y-z ( $M_{y-z}$ ) é aplicada na peça por variações da força normal nas superfícies de contato entre pinça e peça. A componente do momento em torno do eixo x é aplicada pela força de atrito entre as superfícies de contato e não provoca variação da força normal de contato. O raciocínio utilizado para as acelerações lineares no plano y-z pode ser seguido para as acelerações angulares. O momento a ser aplicado por um par de superfícies de contato é máximo quando a aceleração angular ocorre em uma direção perpendicular ao outro par de contato.

Como a rigidez radial da peça é significativamente maior que a rigidez do contato, a peça praticamente não se deforma. Ela sofre um movimento de corpo rígido de rotação em torno do centro de contato ( $x = 0$  na Fig. (3b)). A deformação sofrida pelo sistema sob a ação do momento  $M_{y-z}$  está concentrada na região do contato, dada pela aproximação entre peça e pinça, segundo a teoria de Hertz. Hertz não quantifica a aproximação  $u$  entre um cilindro de comprimento  $l_c$  e um plano, mas Kunert apresenta a seguinte relação (Niemann, 1981):

$$u = 0,398 \times 10^{-4} \cdot Q^{0,925} / l_c^{0,85} \quad (11)$$

Admitindo-se que a força de fixação em cada um dos contatos, aplicada pela pinça seja  $Q_0$  e que a aproximação correspondente seja  $u_0$ , pode-se linearizar a Eq. (11) em torno desse ponto, tendo-se o valor da carga  $Q$  dada por:

$$Q = Q_0 + (u - u_0) \cdot dQ/du \quad (12)$$

A variação da aproximação  $u$  ao longo do contato é então dada por:

$$u(x) = u_0 + x \cdot du/dx \quad (13)$$

A partir da aproximação  $u$  ao longo do contato, dado pela Eq. (13), calcula-se a densidade de carga  $q$  correspondente. Mostra-se então, que a variação máxima da densidade de carga observada na extremidade do contato entre pinça e peça, para equilibrar o momento aplicado, é dada por:

$$\Delta q_M = q_{max} - q_0 = 3 \cdot M_{y-z} / [l_c^2 \cdot \cos(\alpha_{pc})] \quad (14)$$

A variação da densidade de carga assume o valor máximo quando o movimento ocorre segundo uma trajetória crítica. Efetuando-se uma mudança do sistema de coordenada de referência, o momento  $M_{y-z}$  da Eq. (14) assume o valor  $M_z$  da Eq. (7). O momento  $M_z$  assume o valor máximo quando os valores das velocidades angulares e acelerações presentes na expressão correspondem à capacidade máxima do robô e ocorrem no sentido em que a composição dos efeitos das parcelas da Eq. (7) se somam.

Ao submeter uma peça presa em uma pinça de uma garra a uma trajetória crítica haverá um acréscimo da densidade linear de carga entre a pinça e a peça  $\Delta q$ , dado pela composição dos efeitos da aceleração linear (Eq. (10)) e da aceleração angular (Eq. (14)).

Para cada uma das possíveis fixações da peça pela garra define-se o Índice de fixação ( $I_f$ ) para uma peça de peso unitário, dado pela razão entre o acréscimo da densidade linear de carga e o peso da peça (Eq. (15)). A fixação mais segura para a peça durante o processo de manipulação é aquela que apresentar o menor índice de fixação.

$$I_f = (\Delta q_F + \Delta q_M) / (m \cdot g) \quad (15)$$

#### 4. CONCLUSÃO

Apresentou-se um método que, baseado nos dados de uma garra de robô e da peça a ser manipulada, pode determinar as possíveis fixações e um índice que mede a qualidade de cada uma delas, baseado no acréscimo da densidade linear de carga no contato entre a pinça e a peça. Com isso pode-se determinar automaticamente as fixações mais viáveis e utilizar esta informação em sistemas computacionais. Efetuando-se uma análise semelhante para outros meios produtivos (placas de torno (Massaroppi e Masiero, 2001), paletes de transporte, etc.), que entram em contato direto com a peça a ser produzida, bem como se efetuando uma análise da transferência da peça entre os respectivos meios produtivos, pode-se determinar automaticamente, dentro de um sistema computacional, qual a possibilidade de realização do fluxo de peças, bem como com que qualidade ele pode ser realizado.

O método acima descrito foi implementado, tanto para o tipo de garra apresentado, como alguns outros, tais como garras de três pinças, garras com superfície côncava, etc.. Os resultados obtidos da modelagem geométrica coincidem com os resultados obtidos ao determinar-se fisicamente as possíveis fixações da peça pela garra modelada. Obtêm-se inclusive resultados em princípio não esperados, mas que correspondem a fixações realizáveis, embora estas sejam de baixa qualidade. Os resultados da modelagem funcional ordenam as fixações encontradas segundo o critério de qualidade proposto.

Já se implementou também a modelagem geométrica e funcional de placas de torno (Massaroppi e Masiero, 2001) e parte da modelagem de outros meios produtivos. Atualmente, desenvolve-se e implementa-se a modelagem da transferência da peça entre os meios produtivos. Os resultados até então obtidos são promissores e induzem os autores a concluir que em breve será possível propor um método para determinar automaticamente o fluxo de uma peça em Sistemas Produtivos, baseado na possibilidade de manipulação da peça.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Buschulte, J., 1990, "Wirrwarr beim Greiferwechsel: Standardschnittstelle für Roboter und Greifer", *Roboter*, No. 1, pp. 37-40, Feb.
- Cardaun, U., 1981, "Systematische Auswahl von Greiferkonzepten für die Werkstückhandhabung", Hannover. Dissertation (Doktor-Ingenieur) – Universität Hannover.

- Deutsches Institut für Normung, 1986, DIN Norm 24601 “Entwurf - Mechanische Schnittstelle Form A, rund”, Beuth Verlag, Berlin, Deutschland, Dez.
- Gertosio, C., Mebarki, N. and Dussauchoy, A., 2000, “Modeling and simulation of the control framework on a flexible manufacturing system”, International Journal of Production Economics. No. 64, pp. 285-293.
- Hibbeler, R.C., 1999, “Mecânica. Vol. 2: Dinâmica”, Ed. LTC, Rio de Janeiro, Brasil.
- International Organization for Standardization, 1988, ISO 9409-1 “Manipulating industrial robots: Mechanical interfaces - Part 1: Circular (form A)”, 3 p., 15 Dec.
- Kogan, K., Khmel'nitsky, E., Shtub, A. and Maimon, O., 1997, “Optimal flow of flexible manufacturing systems: Setup localization by an iterative procedure”, International Journal of Production Economics. No. 51, pp. 37-46.
- Massaroppi Jr., E. e Masiero, P.C., 2001, “Fluxo de peças determinado pela modelagem de placas de torno. Máquinas e Metais”, A. 38, No. 429, pp. 100-111, Out.
- Niemann, G., 1981, “Maschinenelemente, Vol. 1”, Springer Verlag, Berlin, Deutschland, pp.257-269.
- Pham, D.T. und Heginbotham, W.B., 1986, “Robot Grippers”, Springer Verlag, Berlin, Deutschland.
- Rosenbauer, T., 1988, “Work piece specific interfaces determine the flexibility of FMS”, Proceedings of the Integrated European Course in Mechatronics. 10.-14. Oktober. RWTH-Aachen, Aachen, Deutschland.
- Severin, F., 1987, “Planung der Flexibilität von roboterintegrierten Bearbeitungs- und Montagezellen”, Berlin. 143 p. Dissertation (Doktor-Ingenieur) – Technische Universität Berlin.
- Siemens, K.J., 1983, “Konstruktive Lösungswege zur Erhöhung der Flexibilität von Werkzeugen für Handhabungsgeräte”, Hannover. 127 p. Dissertation (Doktor-Ingenieur) – Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Universität Hannover.
- Spur, G. und Severin, F., 1982, “Analyse und Entwicklung flexibler Greifereinrichtungen für Handhabungsgeräte”, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, Vol. 77, No. 2, pp. 75-81, Feb.
- Stave, H., 1988, “Grippers and Mechanical Interfaces for Robot Systems”, Proceedings of the Integrated European Course in Mechatronics. 10.-14. Oktober. RWTH-Aachen, Aachen, Deutschland.
- Stolz, A. und Boley, D., 1988, “Wechselspiel am Greiferflansch”, Roboter, No. 2, pp. 68-76.
- Verein Deutscher Ingenieure, 1991, VDI-Richtlinie 2740 Blatt 1 “Entwurf - Mechanische Einrichtungen in der Automatisierungstechnik: Greifer für Handhabungsgeräte und Industrieroboter”, Beuth Verlag, Düsseldorf, Deutschland, Juli. 47 p.
- Weck, M. et al, 1987, “Bausteine flexibler Fertigungssysteme. in: Produktionstechnik: Auf dem Weg zu integrierten Systemen”, Vortrag 2.1 zum Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium, Mai, VDI Verlag, Düsseldorf, Deutschland, pp. 119-164.
- Weck, M. et al, 1990, “Realisierung des Materialflusses in integrierten Systemen: das Schnittstellenproblem. in: Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik”, Vortrag 3.2 zum Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium, Mai, VDI Verlag, Düsseldorf, Deutschland, pp. 309-347.
- Weck, M. und Rosenbauer, T., 1988, “Automatisierte Werkstückversorgung in FFS: Greifer, Spannvorrichtungen und Transportkomponenten”, Industrie-Anzeiger Vol. 110, No. 7, pp. 32-36.

## 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso, incluído no seu trabalho.

# GEOMETRICAL AND FUNCTIONAL MODELING OF ROBOT GRIPPERS TO AID THE DETERMINATION OF THE PARTS FLOW IN PRODUCTION SYSTEMS

**Ernesto Massaroppi Jr.**

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Trabalhador São-carlense n. 400, Centro, 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, massarop@sc.usp.br.

**Paulo Cesar Masiero**

Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Departamento de Ciências de Computação e Estatística, Av. Trabalhador São-carlense n. 400, Centro, 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, masiero@icmc.sc.usp.br.

***Abstract.** This work presents a brief historical of Flexible Manufacturing Systems and discusses one of the major problems found in its implementations: to verify the possibility of parts flow through the system. This verification is done so far with the system still standing. A method based on the geometric description of the robot grippers, that determines several possibilities of part holding is presented. In a following step, it is defined an index that qualifies the possible holdings, taking into account the increment of the holding load to support the force owed to the acceleration during the process of part manipulation. Thus, it can be determined the viable holdings automatically by means of a computational system and to use that information directly to simulate the part flow in a Flexible Manufacturing System.*

***Keywords:** robot gripper, part flow, functional model.*