

AJUSTAGEM DE UM TORNO MODULAR DE ULTRAPRECISÃO DE PEQUENO PORTE

Prof. Dr. Eng. Fernando Antônio Forcellini

Prof Dr-Ing. Walter Lindolfo Weingaertner

M. Eng. Milton Pereira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, LMP/
Nedip. Florianópolis, SC, Brasil. www.lmp.ufsc.br www.nedip.ufsc.br

Prof. Dr-Ing. Habil. Günter Höhne

Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, Institut für
Maschinenelemente und Konstruktion, Ilmenau, Alemanha. www.tu-ilmenau.de

Resumo:

Este artigo descreve a fase de projeto preliminar de um torno de ultraprecisão de pequenas dimensões. Através da aplicação de conceitos e metodologia de ajustagem, algumas ações serão tomadas para permitir que o torno explore ao máximo a qualidade dos componentes empregados. O processo de ajustagem envolve uma fase de análise do sistema, seguida pelo modelamento das estratégias de ajustagem a ser empregada, terminando na possível simulação da ajustagem dos sistemas da máquina. As estratégias de ajustagem permitirão que o torno seja montado com a melhor característica geométrica possível. Um exemplo de modelamento para a ajustagem de um cabeçote é apresentado. A solução das equações geradas permitem que seja determinada a posição ideal do cabeçote com relação ao resto da máquina.

Palavras-chave: Usinagem de ultraprecisão, Projeto de máquina-ferramenta, Ajustagem.

1. INTRODUÇÃO

Dentro do escopo de um projeto cooperativo entre a Universidade Federal de Santa Catarina, representada pelos grupos de pesquisa LMP (Laboratórios de Mecânica de Precisão) e NeDIP (Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos), e a Universidade Técnica de Ilmenau (TUI), na Alemanha, através do IMK (Institut für Maschinenelemente und Konstruktion), foi realizado um estudo de caso empregando a teoria de ajustagem de mecanismos de precisão no projeto de máquinas-ferramenta de ultraprecisão.

Com este estudo, pretende-se desenvolver no futuro uma metodologia específica para a aplicação de ajustagem do projeto de máquinas, dentro das etapas de projeto conceitual e projeto preliminar.

O processo de ajustagem no projeto preliminar inicia com uma avaliação do sistema como um todo, objetivando a identificação de pontos críticos do projeto, nos quais há ou haverá a necessidade de uma intervenção para a realização de ajustagem. Identificados os pontos potenciais de ajustagem, parte-se para o modelamento das ações de ajustagem

aplicadas a cada um dos subsistemas. Do modelamento, vem a parte de simulação, que visa a comprovação e avaliação da eficiência da ajustagem na correção de desvios relacionados ao subsistema em questão e ao sistema como um todo.

2. PROJETO MODULAR

O contexto de projeto modular aplicado neste trabalho diz respeito à utilização de diversos componentes distintos para a formação da máquina-ferramenta. Através do emprego de combinações entre estes componentes, surgirão diversas concepções de máquina-ferramenta cujas características operacionais serão melhores para determinados grupos de peças a serem fabricadas. Sendo assim, se forem empregados os componentes adequados, pode ser configurada uma máquina de ultraprecisão ou uma máquina de alta exatidão, dependendo da necessidade de qualidade final exigida para a peça usinada.

Na figura 1 são apresentados alguns desses componentes básicos para a montagem das concepções de máquinas-ferramenta disponíveis no Laboratório de Mecânica de Precisão.

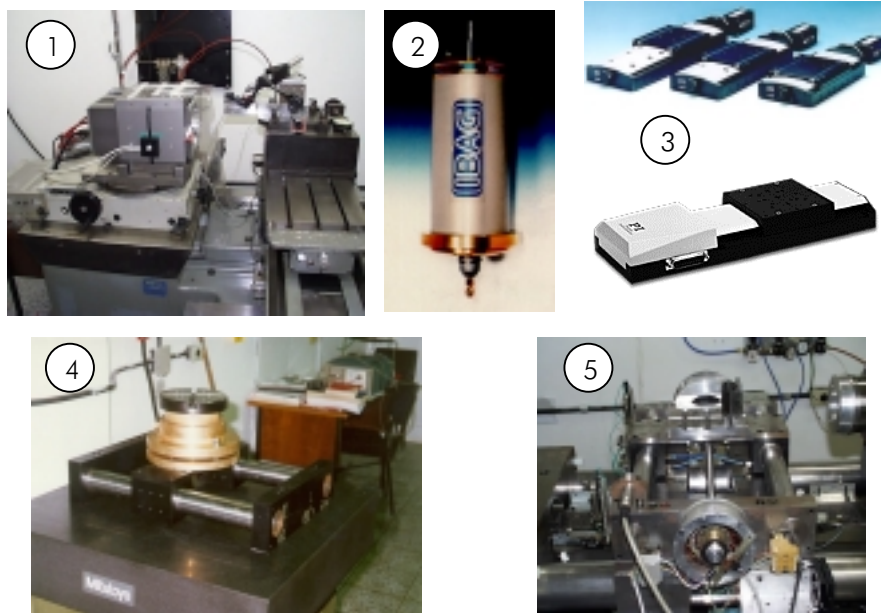


Figura 1 – Alguns componentes a serem utilizados na composição de máquinas-ferramenta. (1) – Cabeçote aerostático acionado e controlado; (2) Cabeçote magnético de alta frequência; (3) Guias lineares com acionamento e controle próprios; (4) Mancal Aerostático rotativo acionado e controlado; e (5) Guia linear aerostática de alta exatidão com acionamento.

Na figura 1 são apresentados alguns dos componentes possíveis de serem empregados na montagem das concepções da máquina. Outros componentes podem ser agregados ao projeto, dependendo da necessidade.

Como exemplo, podem ser destacadas duas concepções básicas de máquina-ferramenta de ultraprecisão a partir destes componentes básicos mostrados na figura 1:

1 – Torno R- θ para usinagem de superfícies esféricas: Através do emprego do cabeçote aerostático (fig. 1-1) combinado ao mancal aerostático rotativo (fig. 1-4), é possível gerar uma configuração básica de máquina de ultraprecisão cujas características geométricas são ideais para a produção de superfícies esféricas;

2 – Torno convencional com mesa XY para usinagem de superfícies de forma livre: Através do emprego do cabeçote aerostático e as guias lineares (fig. 1-3) forma-se a base para um torno de ultraprecisão convencional, com cabeçote e mesa XY.

A possibilidade de intercambiamento entre os componentes gerando concepções favoráveis a determinados grupos de peças a serem usinadas permite uma flexibilidade muito grande de fabricação, aliada à possibilidade de se extrair as melhores características geométricas da máquina para cada tipo de peça que se pretende fabricar.

A grande barreira a ser vencida neste processo diz respeito às interfaces entre os diversos componentes. Pretende-se realizar diversas montagens distintas com os mesmos componentes, deve-se ficar atento com relação às condições ideais de montagem entre estes componentes. A saída para isso está no estudo da ajustagem nas montagens.

3. O QUE È AJUSTAGEM?

Muitos projetos relacionados a instrumentos de precisão e outras áreas especiais podem ter um resultado insatisfatório se o projetista não possui o conhecimento adequado dos princípios básicos da ajustagem. As dimensões de peças manufaturadas sempre serão diferentes das dimensões especificadas no projeto detalhado, em qualquer estrutura. Além disso, essa diferença nem sempre é pequena.

Os erros das dimensões de cada componente de um sistema contribuem para o erro global nesse sistema. Esses erros não podem ser desconsiderados, mas podem ser mantidos dentro de limites toleráveis. Por outro lado, eles podem ser anulados de modo a não interferirem na função do sistema, tornando-se imperceptíveis.

Para reduzir o erro final na função de um sistema a um valor aceitável, normalmente são necessárias técnicas de fabricação dos componentes caras e refinadas.

Como a produtividade e o custo de produção limitam o grau de exatidão obtível na fabricação dos componentes, outros meios devem ser encontrados para que se atinja um erro final aceitável. A ajustagem oferece esta alternativa, já que permite que imprecisões de fabricação sejam toleradas no cumprimento da função final do sistema.

Geralmente, somente alguns componentes funcionais de um sistema necessitam de um reposicionamento. Em muitos casos, para o cumprimento da função final do sistema, não é necessário que todos os componentes sejam posicionados de acordo com o projeto teórico. Quase sempre é suficiente que os componentes possuam uma posição relativa bem definida entre si, mesmo que não estejam nas posições previstas pelo projeto.

Uma definição mais genérica de ajustagem pode ser dada por:

“A ajustagem consiste na alteração de um componente funcional de modo que este adquira a característica requerida para garantir o cumprimento da função desejada de toda a estrutura ou processo técnicos.”

4. PROJETO CONCEITUAL DE UMA CONCEPÇÃO DE TORNO DE ULTRAPRECISÃO DE PEQUENO PORTE

O primeiro passo no processo de projeto consiste na definição das necessidades a serem atendidas pelo sistema projetado.

Devido à necessidade de produção de espelhos planos para aplicação em sistemas de medição com Laser, identificada junto ao Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, pretende-se desenvolver uma primeira concepção de máquina-ferramenta de ultraprecisão que atenda a fabricação destes espelhos.

As principais características geométricas exigidas para esta máquina podem ser resumidas conforme mostra a figura 2.

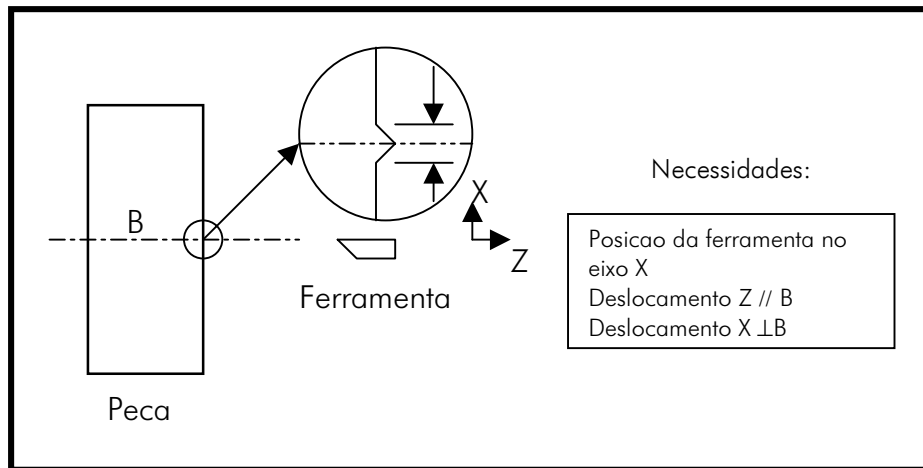


Figura 2 – Exigências geométricas para a usinagem de espelhos planos.

Basicamente, o que se procura na produção destes espelhos é que os movimentos nos dois eixos da máquina tenham elevada exatidão geométrica no seu deslocamento, o que é função direta da qualidade das guias empregadas, e elevada qualidade na montagem, resultando daí a posição relativa entre os componentes, o que deve ser garantido através da ajustagem.

Além disso, um ponto de elevada importância na confecção de espelhos planos, cuja superfície reflexiva envolve o centro de rotação da peça durante a usinagem, é a necessidade de que a ferramenta esteja na mesma altura deste centro de rotação da peça, para que não se forme um pequeno cone indesejável no centro da peça. A tolerância na formação deste cone é de $1 \mu\text{m}$, o que é bastante difícil de ser alcançado, exigindo uma estratégia e dispositivo de ajustagem bastante apurados.

Com base nessas informações, é possível escolher, entre os componentes disponíveis para a montagem da máquina, a concepção de cabeçote mais mesa XY para a produção destes espelhos. A estrutura de funções para esta máquina é mostrada na figura 3.

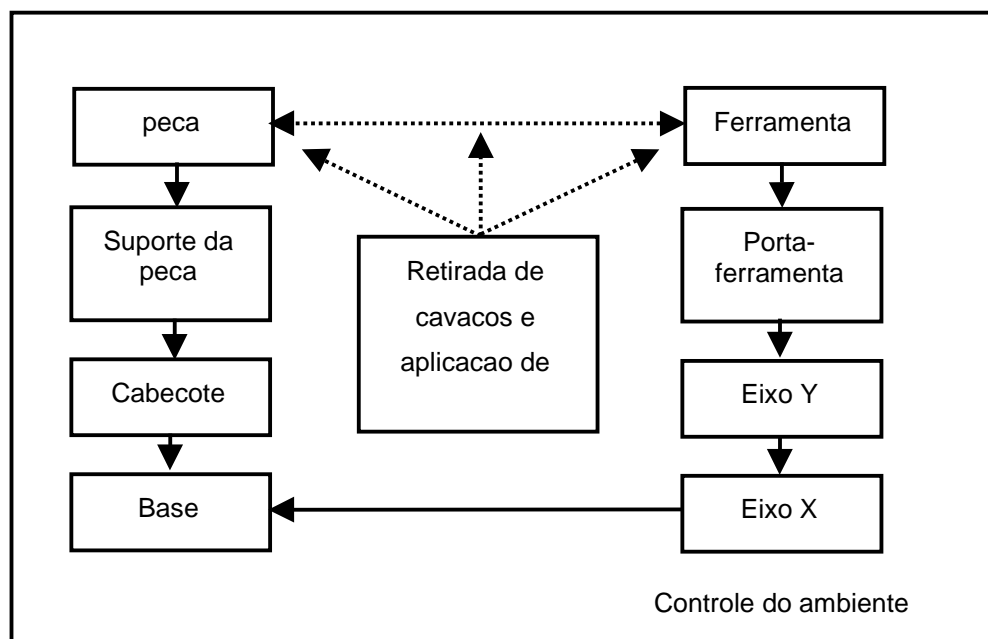


Figura 3 – Estrutura de funções do torno

Nesta estrutura estão representados os principais componentes e acessórios necessários ao perfeito funcionamento do torno na usinagem dos espelhos. Destaque para os sistemas de retirada de cavacos, aplicação de fluido de corte e controle do ambiente, que são fundamentais para a qualidade da usinagem.

5. ANÁLISE DOS ERROS E FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE FINAL DA PEÇA USINADA

A qualidade final da peça usinada depende da composição de uma cadeia de erros proveniente de cada um dos componentes do torno.

A figura 4 mostra quais são os erros e pontos importantes a serem observados para a garantia da qualidade final da peça usinada. Com a ajustagem deverá ser possível garantir a qualidade da função final do sistema. As letras correspondem à figura 5.

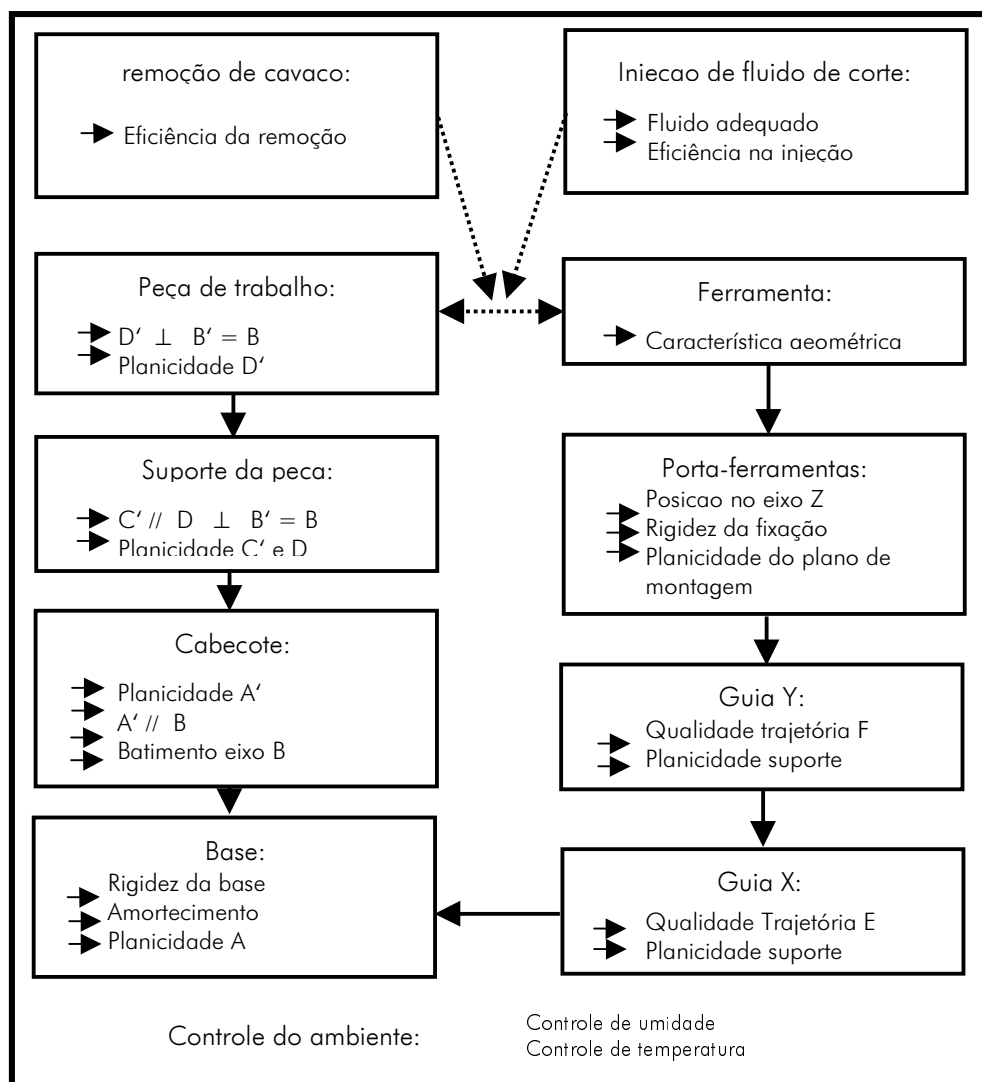


Figura 4 – Relação dos erros que influem na qualidade final da peça usinada.

Com base nos dados apresentados na figura 4, foram identificadas as referências de ajustagem, mostradas na figura 5.

Estas referências de ajustagem levam à identificação dos graus de liberdade que devem ser ajustados em cada componente da cadeia, como mostra a figura 6.

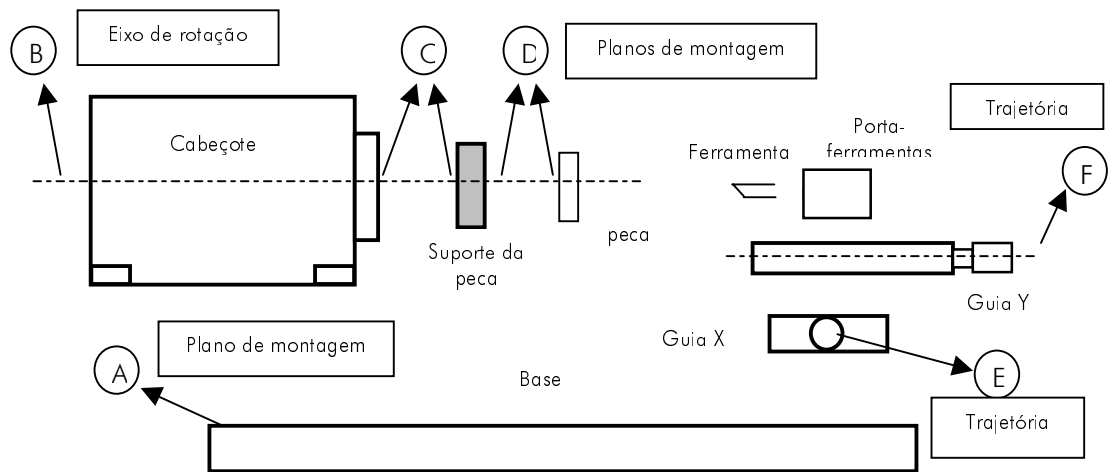


Figura 5 – Referências de ajustagem.

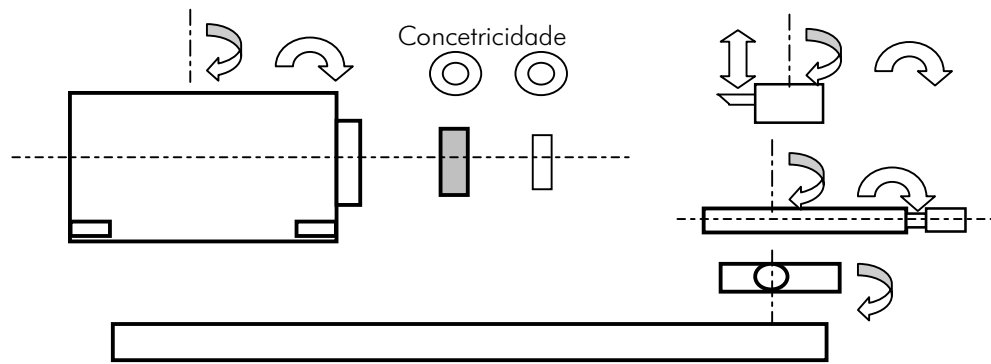


Figura 6 – Necessidade de ajustagem em cada componente do torno.

Se forem feitas as ajustagens nestas direções indicadas, serão satisfeitas as necessidades descritas na figura 2.

Com base nessas referências, deve-se atentar para o tipo de fixação que cada componente possui e de que forma é possível ajustar a posição deste componente a partir dos seus pontos de suporte. Se uma guia possui 6 parafusos de fixação, a influência do aperto de cada um desses parafusos é muito grande na posição da guia. Sendo assim, deve-se transformar essa fixação em 6 pontos numa fixação mais favorável ao processo de ajustagem. Se houvesse a necessidade de uma única montagem do componente, um trabalho complexo de ajustagem nos 6 parafusos seria justificado.

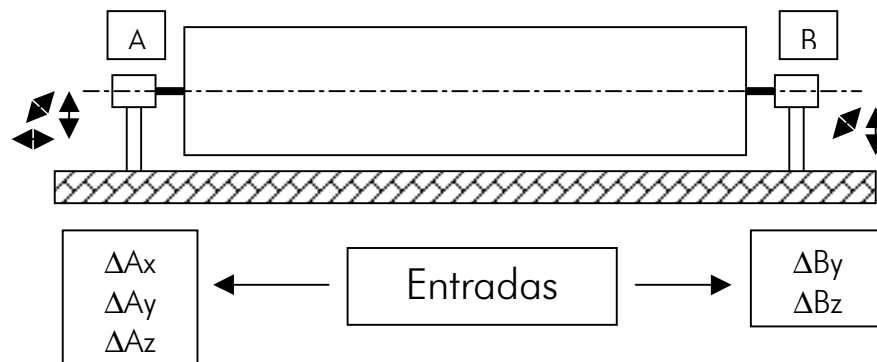


Figura 7 – Ajustagem de um eixo suportado por 2 pontos.

Como pretende-se fazer diversas montagens dos componentes formando concepções diferentes de máquinas, é realmente necessária uma nova solução para esta fixação.

Através do emprego de um software desenvolvido na TUI (Universidade Técnica de Ilmenau), é possível modelar e avaliar a influência de cada tipo de fixação proposta para um componente, em termos do erro final resultante desta fixação.

Com isso, pode-se propor diversos princípios de solução para a fixação dos vários componentes e decidir sobre qual é o melhor para cada concepção de montagem.

Um exemplo de modelamento é o suporte de um eixo em dois pontos, conforme figura 7.

Com as entradas do sistema dadas pelo ajuste nos pontos de fixação, tem-se na figura 8 as saídas e relações entre entradas e saídas.

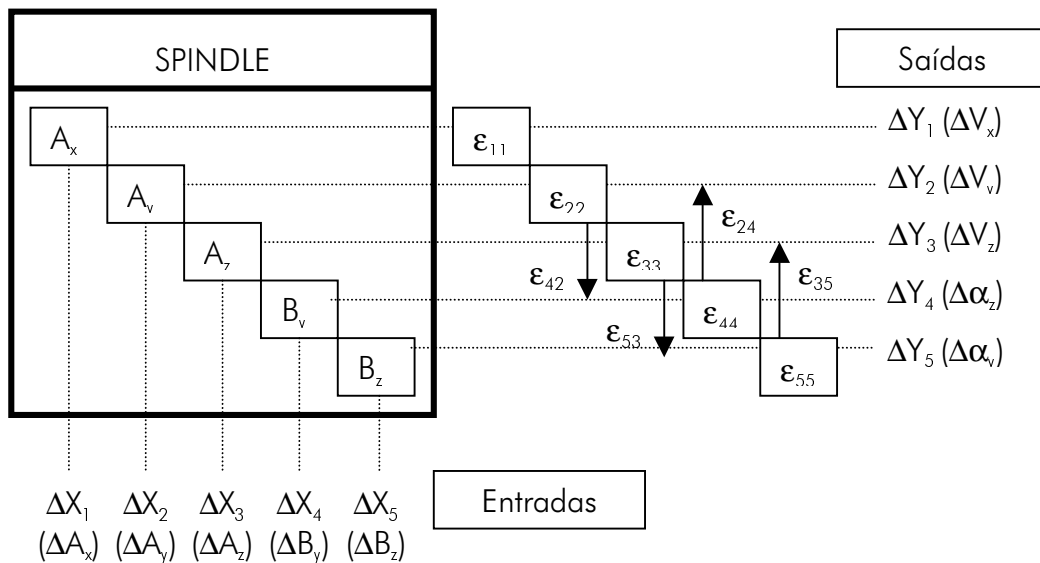


Figura 8 – Relação entre entradas e saídas no sistema.

Desta relação, resultam as equações mostradas na figura 9. A solução destas equações mostra o quanto cada valor de entrada influencia nos valores de saída do sistema.

$$\begin{bmatrix} \Delta V_x \\ \Delta V_y \\ \Delta V_z \\ \Delta \alpha_z \\ \Delta \alpha_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{22} & 0 & \epsilon_{24} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{33} & 0 & \epsilon_{35} \\ 0 & \epsilon_{42} & 0 & \epsilon_{44} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{53} & 0 & \epsilon_{55} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta X_1 \\ \Delta X_2 \\ \Delta X_3 \\ \Delta X_4 \\ \Delta X_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Y_1 = \epsilon_{11} \cdot \Delta X_1 \\ \Delta Y_2 = \epsilon_{22} \cdot \Delta X_2 + \epsilon_{24} \cdot \Delta X_4 \\ \Delta Y_3 = \epsilon_{33} \cdot \Delta X_3 + \epsilon_{35} \cdot \Delta X_5 \\ \Delta Y_4 = \epsilon_{44} \cdot \Delta X_4 + \epsilon_{42} \cdot \Delta X_2 \\ \Delta Y_5 = \epsilon_{55} \cdot \Delta X_5 + \epsilon_{53} \cdot \Delta X_3 \end{bmatrix}$$

Figura 9 – Sistema de equações que descreve a ajustagem do eixo.

O próximo passo do processo consiste na simulação destas equações para determinar qual é a melhor condição de ajustagem, ou qual a condição de ajustagem é exigida para o sistema para que sua função seja cumprida de maneira otimizada.

O modelamento foi realizado somente para o cabeçote. O processo deve ser repetido para cada componente cuja montagem seja importante na composição do erro final dos movimentos do sistema.

Uma outra vantagem consiste na possibilidade de avaliação da influência dos erros de fabricação dos componentes, como o erro de linearidade do movimento de uma guia.

6. CONCLUSÕES

A metodologia empregada para efetuar todo o processo de ajustagem do torno permitiu que se tivesse uma idéia global sobre os problemas referentes à condição geométrica global da máquina.

A utilização de dispositivos de ajustagem adequados permitirá que se obtenha as melhores características geométricas da máquina, levando em consideração que o limite obtenível depende da qualidade inicial dos componentes empregados.

O próximo passo neste desenvolvimento consiste na elaboração de uma metodologia global envolvendo os diversos princípios de solução para ajustagem de sistemas de máquinas-ferramentas de precisão e ultraprecisão. Com esta metodologia será possível aplicar os conceitos de ajustagem ainda nas fases iniciais de projeto, otimizando a posterior montagem dos sistemas.

7. REFERÊNCIAS

- Adjustment of Precision Mechanisms, F. Hansen, London Iliffe Books Ltd, 1970;
- Beratungssystem für die Justierung, J.L.C. Gouvea, Proceedings of the 44. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, pp.340-345, Ilmenau-DE, 1999;
- Fine Mechanism and Precision Instruments, Trylinski, W. Pergamon Press Oxford, 1971;
- Justierung in der Feinwercktechnik, M. Schilling R. Nönnig, Proceedings of the 38. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, pp.33-44, Ilmenau-DE, 1993;
- Justieruntersuchungen am Justierleitsland, G. Höhne, R. Nönnig, D. Heß, R. Hoffmann, Proceedings of the 44. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, pp.333-339, Ilmenau-DE, 1999;
- Justieruntersuchungen zum Ausrichten von optischen und mechanischen Aachsen, Höhne, R. Nönnig, D. Heß, R. Hoffmann, Proceedings of the 44. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, pp.346-352, Ilmenau-DE, 1999;
- Konstruktionselemente der Feinmechanik, Krause, W. Verlag Technik Berlin, 1986;
- Quality Improvement of Precision Engineering Products by means of CAA System. J.M.G.C. Ferreira, S.D. Antunes, G. Höhne, R. Nönnig, J.L.C. Gouvea, Proceedings of the ICED 97, Tampere- Finlândia, pp. 309-312, 1997;