

DETERMINAÇÃO AUTOMATIZADA DO TREM DE ENGRENAGENS PARA FABRICAÇÃO DE PEÇAS HELICOIDAIS COM CÁLCULO DO ERRO DE INCLINAÇÃO DA HÉLICE A SER PRODUZIDA

Tiago Leite Rolim, tlr@ufpe.br¹

José Roberto da Costa Campos, jr Campos@upe.poli.br²

Diego Bruno Fernandes de Lima, diego_bruno@hotmail.com³

¹Universidade Federal de Pernambuco

²Universidade de Pernambuco – Escola Politécnica

³Universidade de Pernambuco – Escola Politécnica

Resumo: *Uma demanda de trabalhos nas pequenas e médias empresas, que trabalham com usinagem convencional, está ligada ao fresamento com máquinas de fresar universais para fabricação de peças helicoidais tanto na produção de pequenos lotes ou, atendendo setores da manutenção no caso de reposição. Estas peças podem ser engrenagens cilíndricas de dentes inclinados (usadas em aplicações de média e baixa exatidão), fusos de acionamento, rasgos helicoidais em rolos revestidos de borracha, entre outras. De modo geral a qualidade das peças helicoidais é afetada devido às aproximações feitas nos cálculos dos trens de engrenagens responsáveis pela rotação da peça para obtenção da hélice desejada. No caso da fabricação de engrenagens helicoidais que trabalharão em pares, as aproximações individuais aplicadas em cada engrenagem, implicam no surgimento de diferenças entre os valores dos ângulos das hélices de projeto e daquela fabricada, comprometendo o bom funcionamento de rodas dentadas conseqüentemente reduzindo o tempo de vida útil das mesmas. Neste trabalho é apresentada uma sistemática capaz de calcular o trem de engrenagens necessário para fabricação de peças com helicoidais indicando o erro final de fabricação do ângulo da hélice construída, assim como também um procedimento de cálculo que garante o mesmo erro de inclinação do ângulo de hélice deixado na fabricação de duas rodas dentadas que trabalharão engrazadas. Toda a sistemática foi transformada em um aplicativo computacional, de fácil e rápida execução, tendo como dados de entrada as características da fresadora a ser utilizada e os parâmetros das peças a serem fabricadas.*

Palavras-chave: helicoidal, fresamento, transmissão, trem de engrenagens

1. INTRODUÇÃO

Peças com forma helicoidal como engrenagens cilíndricas de dentes inclinados (usadas em aplicações de média e baixa exatidão), fusos de acionamento, rasgos helicoidais em rolos revestidos de borracha, entre outras, são comuns nas aplicações mecânicas. A forma helicoidal é uma característica definida pela varredura de uma seção transversal ao longo de uma trajetória em forma de hélice formando um determinado ângulo com o eixo da peça cilíndrica. Dois dados importantes do objeto na forma helicoidal são a trajetória e seção transversal da forma desejada. A trajetória em si pode ser definida por duas entidades: um perfil, que define, uma superfície de revolução e o chamado passo da hélice, Freire (1982).

Na fabricação das engrenagens cilíndricas helicoidais ou, outra peça em hélice, utilizando-se uma fresadora universal, a ferramenta multicortante tem movimento de giro fornecido pelo eixo de rotação da fresadora, enquanto a peça necessita de dois movimentos que acontecem concomitantemente: um linear de avanço e ao mesmo tempo o movimento de rotação da peça de modo que seja produzida a hélice desejada. Cabeçote móvel e um aparelho divisor com placa universal ou de arrasto, ambos fixados sobre a mesa da fresadora, são utilizados para fixação da peça. O aparelho divisor no caso da fresagem helicoidal tem ainda a função de elemento de redução através do sistema sem-fim coroa. Este movimento de rotação vem do fuso, que faz o movimento de avanço da mesa, chegando ao aparelho divisor através de um trem de engrenagens devidamente calculado em função das características da peça a ser fabricada, da relação de transmissão do aparelho divisor e mais o passo do fuso que movimenta a mesa. A grade ou viola serve para

fixação das engrenagens. Nas pequenas e médias empresas do ramo o cálculo do trem de engrenagens acima citado é feito com uso de tabelas e calculadoras eletrônicas, onde as aproximações individuais aplicadas em cada trem de engrenagens implicam no surgimento de diferenças entre os valores dos ângulos das hélices de projeto e do fabricado, comprometendo o bom funcionamento de rodas dentadas conseqüentemente reduzindo o tempo de vida útil das mesmas. Neste trabalho é apresentada uma sistemática capaz de calcular o trem de engrenagens necessário para fabricação de peças com helicoidais, em fresadora do tipo universal, indicando o erro final de fabricação do ângulo da hélice construída, assim como também um procedimento de cálculo que garante o mesmo erro de inclinação do ângulo de hélice deixado na fabricação de duas rodas dentadas que trabalharão engrazadas. Toda a sistemática foi transformada em um aplicativo computacional, de fácil e rápida execução, tendo como dados de entrada as características da fresadora a ser utilizada e os parâmetros das peças a serem fabricadas.

2. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS CARACTERÍSTICOS DE UMA PEÇA HELICOIDAL

De um modo geral os elementos geométricos de uma peça helicoidal são o passo da hélice (P_h), o diâmetro do cilindro (d) onde a hélice se desenvolve e o ângulo que a hélice faz com o eixo da peça, que é chamado de ângulo de inclinação da hélice, (β), cujo complementar é dito ângulo de inclinação da hélice com a circunferência da base, White, (1990). Fazendo-se o desenvolvimento da circunferência com diâmetro da base a hélice também desenvolvida formará um triângulo do qual poderá ser obtido o valor do passo da hélice como mostrado na Eq. (1). Na Fig. 1, está apresentada a configuração dos elementos geométricos característicos de uma peça helicoidal. No caso da fabricação de engrenagens todos os cálculos devem ser realizados tomando d como o diâmetro primitivo.

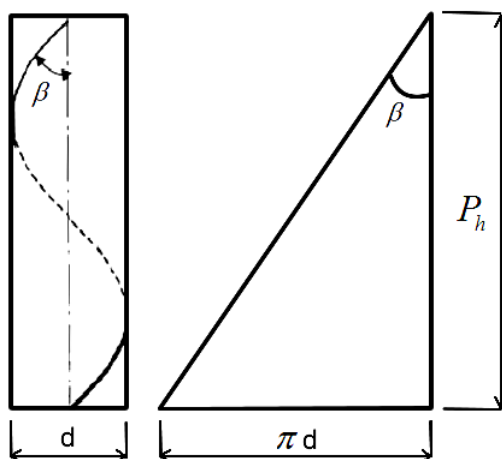


Figura 1. Elementos geométricos de uma peça helicoidal

$$P_h = \frac{\pi d}{\operatorname{tg}(\beta)} \quad (1)$$

Sendo:

P_h – passo da hélice, mm

d – diâmetro, mm

β - ângulo de inclinação da hélice, graus.

3. FRESAGEM HELICOIDAL

No caso da fabricação dos rasgos ou dentes de uma engrenagem helicoidal os elementos geométricos específicos estão apresentados na Fig. 2, com nomenclatura designada na seqüência.

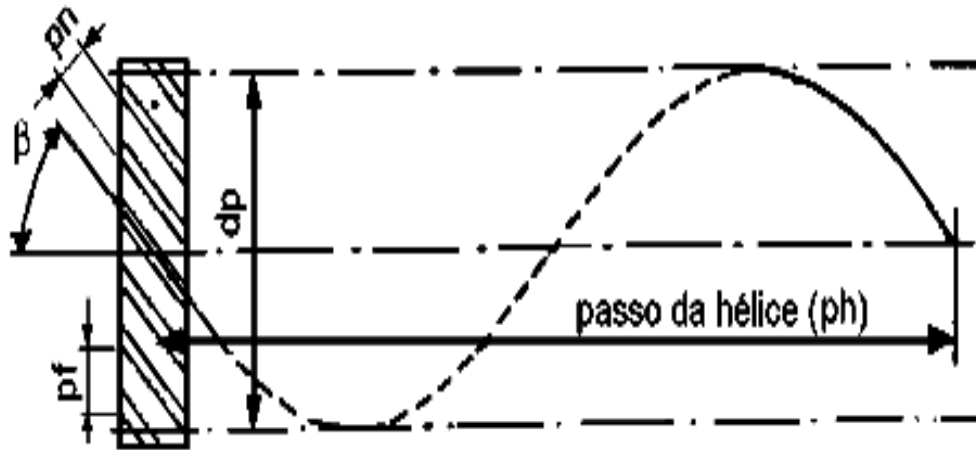


Figura 2. Elementos geométricos de uma engrenagem helicoidal

Onde:

- pn - passo normal, mm;
- pf- passo frontal ou passo circunferencial (medido na circunferência da base), mm;
- dp - diâmetro primitivo, mm
- ph - passo da hélice, mm
- β - ângulo de inclinação da hélice com eixo da peça, graus.

Para abertura dos rasgos helicoidais na fresadora universal, é preciso que a mesa gire no valor de um ângulo correspondente ao ângulo de inclinação da hélice com eixo da peça. A combinação de movimentos de rotação e de avanço da peça promove a ação da ferramenta cortando o material produzindo a hélice desejada. Para tanto, é necessário o cálculo de um trem de engrenagens, o qual recebe movimento de rotação do fuso da fresadora, fazendo acionamento do cabeçote divisor, onde está fixada a peça a ser usinada. A Fig. 3, mostra uma configuração necessária com montagem da peça e trem de engrenagem para transmissão de movimento conforme descrito, Faires, (1990), Weck and Bibring, (1998).

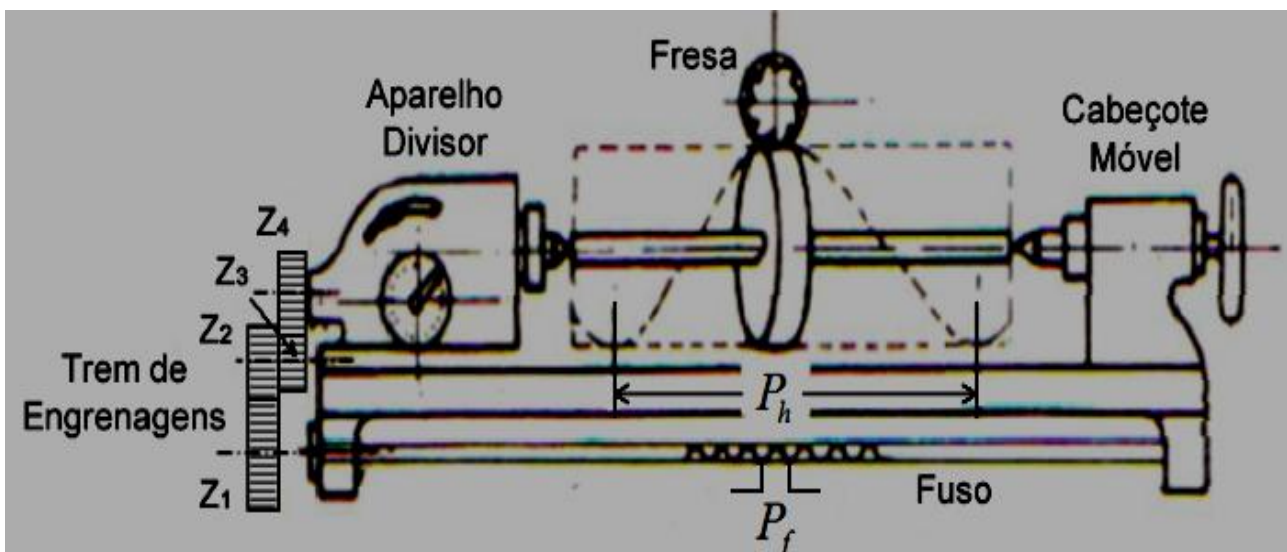


Figura 3. Configuração da Montagem para Abertura de Rasgos Helicoidais em uma Fresadora Universal

3.1 Procedimento de Cálculo do Trem de Engrenagens para Fabricação de Peças Helicoidais que Trabalharão aos Pares (Peça 1 e Peça 2)

3.1.1 Cálculo do Trem de Engrenagens para Fabricação da Peça 1

O trem de engrenagens necessário para fabricação dos rasgos helicoidais é calculado a partir da relação de transmissão obtida entre o passo da hélice (P_h) a ser confeccionada e o passo do fuso da fresadora (P_f), levando-se também em consideração a relação de transmissão do aparelho divisor utilizado. A Eq. (2) expressa a relação entre as variáveis citadas.

$$i = \frac{P_h}{P_f} \cdot \frac{e}{G} \quad (2)$$

Sendo:

e – número de entradas no parafuso sem-fim do aparelho divisor;
 G – número de dentes da coroa no aparelho divisor.

O passo da hélice, P_h , indicado na Eq. (2) é calculado através da Eq. (1) sendo que o diâmetro a ser usado é o diâmetro primitivo da engrenagem que será fabricada. Assim a relação de transmissão i_1 passa a forma mostrada na Eq. (3).

$$i = \frac{1}{P_F} \cdot \frac{\pi d_p}{\text{tg}(\beta)} \cdot \frac{e}{G} \quad (3)$$

Sendo:

d_p – diâmetro primitivo da engrenagem, mm

As engrenagens que comporão o trem a ser montado entre o fuso e aparelho divisor deverão atender a relação de transmissão i_1 . Estas engrenagens serão escolhidas, entre aquelas que formam o estoque disponível para montagem do referido trem. Sendo inteiro o número de dentes de cada engrenagem e , a relação de transmissão calculada um número irracional, o resultado da multiplicação entre estas duas variáveis será um número irracional, o qual deverá ser aproximado para um valor inteiro ficando assim então designada as engrenagens para a montagem.

3.1.1.2 Cálculo do Erro no Ângulo de Inclinação da Hélice a ser Fabricada na Peça 1

De posse da relação de transmissão escolhida para o trem de engrenagens usado na fabricação da peça 1, aplica-se a equação 3 e assim é calculado um novo ângulo de hélice. A diferença, em módulo, entre este ângulo calculado e o ângulo de hélice especificado no projeto é o erro que terá a hélice real fabricada. Quando o erro está acima daquele especificado para o caso, nova engrenagem é escolhida no estoque disponível e o processo é reiniciado até que seja calculado um trem de engrenagens que atenda o erro indicado no projeto da hélice.

3.1.2 Cálculo do Trem de Engrenagem para fabricação da Peça 2

O procedimento de cálculo do trem de engrenagens para fabricação da peça 2, com garantia de que o erro final de fabricação no ângulo da hélice tenha o mesmo valor da peça 1, está apresentado na Eq. (4). Consiste basicamente em

dividir algebricamente as relações i_1 e i_2 . Deste modo fica garantido que o erro no ângulo da hélice da peça 2 terá o mesmo valor daquele que ficou na peça 1.

$$i_2 = i_1 \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \quad (4)$$

Onde:

i_1 – relação de transmissão das engrenagens para fabricação da peça 1

i_2 – relação de transmissão das engrenagens para fabricação da peça 2

Z_1 – número de dentes especificados para peça 1

Z_2 – número de dentes especificados para peça 2

4. Funcionamento do Aplicativo para uso automatizado da Sistemática Desenvolvida

Para uso da sistemática desenvolvida é necessário o fornecimento dos dados relativos às características da peça a ser fabricada, da máquina ferramenta que será utilizada e do estoque de engrenagens disponíveis para montagem dos trens de engrenagens necessários para fabricação das hélices.

O aplicativo funciona de modo simples a partir das indicações feitas pelo usuário através do fornecimento de dados nas telas que o formam.

4.1 Tela Inicial

Na tela inicial mostrada na Fig. 4, o usuário tem as seguintes opções para procedimento: cálculo do trem de engrenagens para fabricação de um par de peças helicoidais; cálculo do trem de engrenagens para fabricação de uma peça helicoidal; alteração do estoque de engrenagens disponíveis para montagem e também a possibilidade de cadastrar as características das máquinas ferramentas.

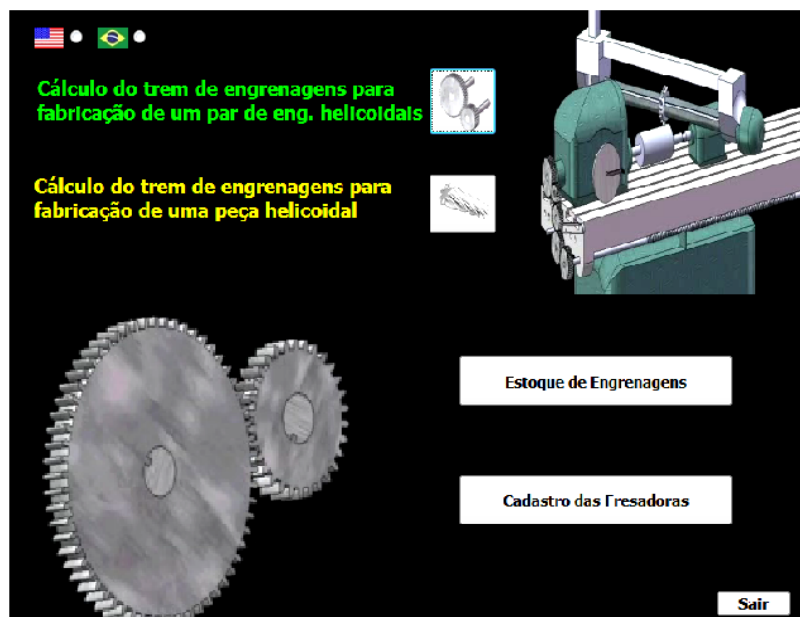


Figura 4. Tela inicial da sistemática

Sendo acionada a opção estoque de engrenagens surgirá a tela mostrada na Fig. 5, onde podem ser inseridas as engrenagens disponíveis para montagem dos trens de engrenagens.

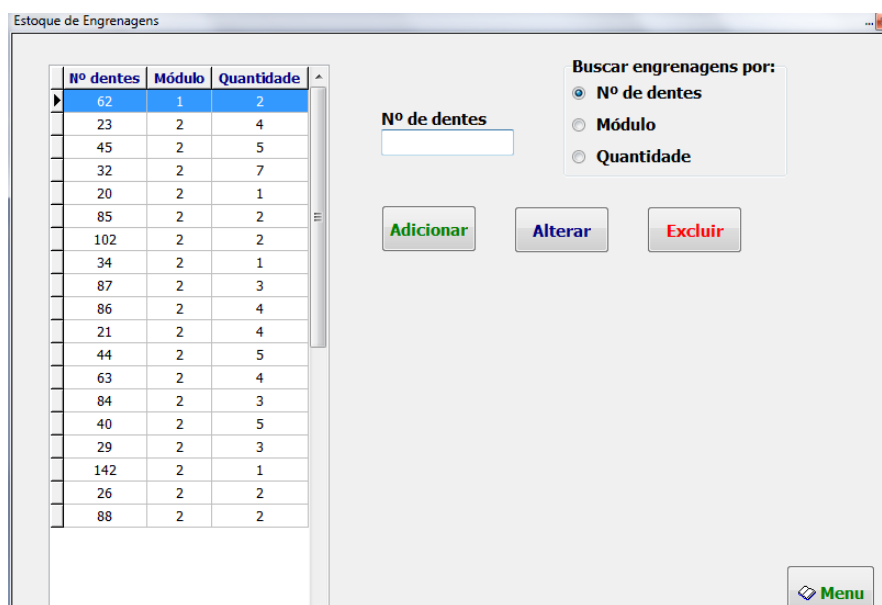


Figura 5. Tela do estoque de engrenagens

A opção cadastro das fresadoras mostrada na Fig. 6 é preenchida com as características da fresadora: passo do fuso e relação de transmissão disponível aparelho divisor que será utilizado.

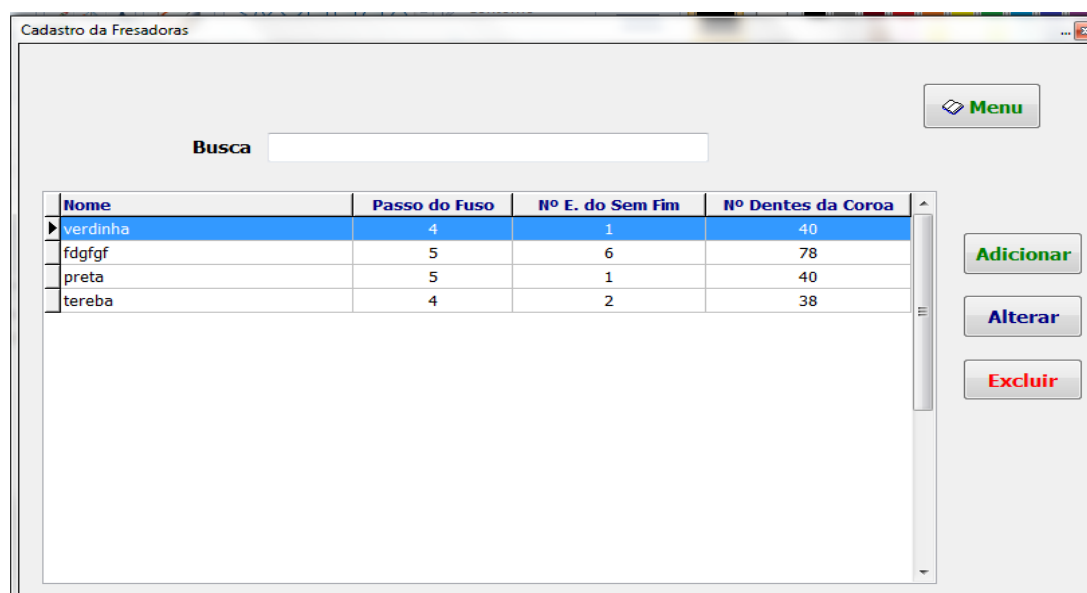


Figura 6. Características das fresadoras disponíveis

Para o efetivo cálculo do trem de engrenagens na tela inicial mostrada na Fig. 4 um toque no texto “cálculo do trem de engrenagens para fabricação de um par de engrenagens helicoidais” é então apresentada a tela mostrada Fig. 7 onde são inseridos os dados da peça a ser fabricada.

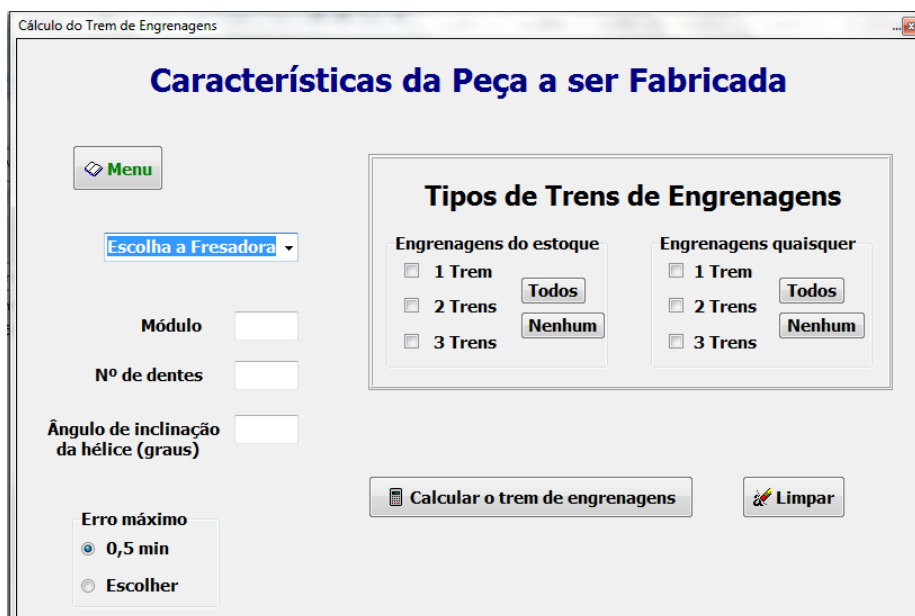


Figura 7. Entrada dos dados da peça a ser fabricada

Com a entrada dos dados referentes ao módulo, número de dente, ângulo de inclinação da hélice, erro máximo admissível e mais aos tipos de trens das engrenagens possíveis a sistemática processa e na tela seguinte, Fig. 8, é mostrada a possível montagem das engrenagens no fuso e cabeçote divisor.

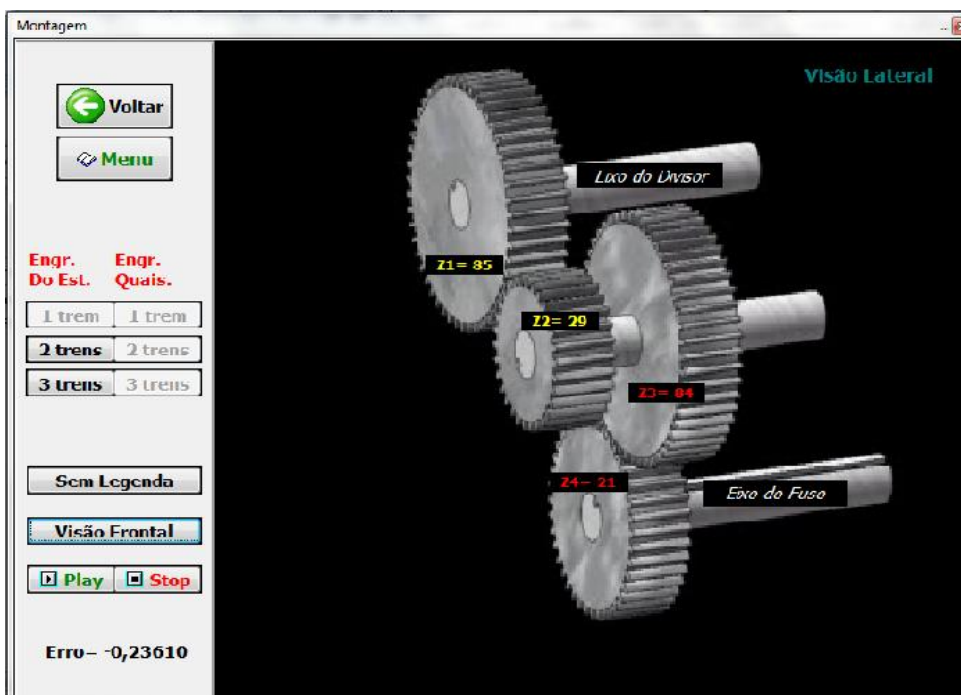


Figura 8. Esquema de montagem das engrenagens calculadas

A opção para cálculo do trem de engrenagens para fabricação da peça 2 é disponível na tela mostrada na Fig. 9 com espaços para inserção das características da peça a ser fabricada.

The screenshot shows a software window titled "Resultados" with a sub-window "Trens de Engrenagens". The main window has a "Voltar" button. The sub-window has a "Fechar" button and a title "Cálculo do trem para a fabricação da segunda engrenagem". It contains the following text and controls:

Com Engrenagens do Estoque

Com 1 Trem de engrenagens:
 erro = -0,38120 min
 Z1 = 84 Z2 = 29

Com 2 Trens de engrenagens:
 erro = -0,38120 min
 Z1 = 84 Z2 = 87 Z3 = 102 Z

Com 3 Trens de engrenagens:
 erro = -0,38120 min
 Z1 = 63 Z2 = 87 Z3 = 40 Z

Com Engrenagens Quaisquer

Digite o numero de dentes da engrenagem a ser fabricada

Modulo= 2
Ângulo= 10°

Eng. do Estoque

1 trem
 2 trens
 3 trens

Eng. Quaisquer

1 trem
 2 trens
 3 trens

Figura 9. Trem de engrenagens calculadas para fabricação de peça2.

A validação da sistemática foi comprovada pela comparação dos resultados por ela apresentados em diversos casos da fabricação de engrenagens e peças helicoidais, com os resultados obtidos em cálculos feitos manualmente aplicando-se rigor na questão dos truncamentos. Em todas as situações os resultados obtidos foram praticamente iguais com variações a partir da quarta ou quinta casas decimais, para o erro ângulo de inclinação real, em relação ao valor de projeto. Para etapas futuras na continuação do trabalho consistirão na fabricação de pares de engrenagens helicoidais, com trens calculados pela sistemática apresentada, com posterior medição do ângulo de inclinação da hélice na peça real utilizando-se ferramenta disponível em maquina de medição por coordenadas.

5. CONCLUSÕES

A sistemática proposta é de fácil aplicação, possível de ser executada em computador comum de configuração elementar. Assim, pequenas e médias oficinas poderão dispor de uma ferramenta confiável capaz de executar de modo rápido e eficiente os cálculos que muitos fresadores levam vários minutos mesmo assim, correndo o risco de perda da peça, ou sua execução com erro acima do recomendado para funcionamento, uma vez que a grande maioria ainda faz uso de tabelas. Outro aspecto de importância é a indicação da montagem, que não deixa dúvida quanto à posição das engrenagens que comporão o trem na grade da máquina.

6. REFERÊNCIAS

- Freire, J. M., 1982, Fundamentos de Tecnologia Mecânica, Fresadora, Livro Técnico e Científicos Editora Ltda, São Paulo, Brasil 173 p.
- Witte, H., 1990, Máquinas Ferramentas, Elementos Básicos de Máquinas e Técnicas de Construção, Hemus, Editora, Rio de Janeiro, Brasil, 374 p.
- Faires, V.M., 1990, Elementos Orgânicos de Máquinas, Vol 2, Livro Técnico e Científico Editora Ltda, São Paulo, Brasil, 650p.

Weck, M., Bibring, H., Handbook of Machine Tools, Vol. 4, Types of Machine, Form of Construction and Applications, JOHN WILEY & SONS, New York, 1998, 889p.

7. DIREITOS AUTORAIS

O direito de uso deste material é de inteira exclusividade dos autores. Seu uso sem autorização prévia está sujeito a penalidades da lei dos direitos autorais vigentes no país.

AUTOMATED DETERMINATION OF THE TRAIN OF GEARS FOR PRODUCTION OF HELICAL PIECES WITH CALCULATION OF THE ERROR OF INCLINATION OF THE HELIX TO BE PRODUCED

Rolim, Tiago Leite - Universidade Federal de Pernambuco (tlr@ufpe.br)

Camos, José Roberto da Costa- Universidade de Pernambuco – POLI (jrcampos@upe.poli.br)

Lima, Diego Bruno Alves Fernandes de - Universidade de Pernambuco – POLI (diego_bruno@hotmail.com)

Summary: A demand of works, in small and medium companies, which work with conventional machining, is related to the milling process using universal type of cutting machine, for manufacture of helical pieces in small lots as well as meeting the demand of maintenance in the case of replacements. These pieces can be cylindrical gears of sloping teeth (used in average applications and low accuracy), rotate spindles and helical tears in covered rolls of eraser, among others. In general, the quality of the helical pieces is affected due to the approximations carried out in the calculations of the tracks of the gears responsible for the rotation of the piece for obtaining the desired helix. In case of the fabrication of helical gears which will work in pairs, the individual approximations applied in each gear, implicate in the appearance of differences among the values of the angles of the manufactured helixes of the project and compromise the good operation of wheel teethes, consequently reducing the useful life time of the same ones. In this work, a systematic is presented capable to calculate the necessary tracks of gears for fabrication of pieces with helical indicating the final error of fabrication of the angle of the built helix, as well as also a calculation procedure that guarantees the same error of inclination of the helix angle left in the fabrication of two toothed wheels that will work engaged. All the systematic was transformed in computer software of easy and fast execution, like the entrance data, the characteristics of the machine tool to be used and the parameters of the pieces to be manufactured.

Word-key: helical, milling, train of gears