

O ENSINO, TREINAMENTO E PESQUISA EM TRIBOLOGIA

Benedito de Moraes Purquerio*

PURQUERIO, Benedito de Moraes. O ensino, treinamento e pesquisa em Tribologia. *Rev. Ensino Eng.*, São Paulo 4(1):63-67, 1.º sem. 1985.

Considerações sobre o ensino, treinamento e pesquisa em Tribologia no Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, pelo Grupo de Pesquisas do Laboratório de Máquinas Ferramentas-LAMAFE são apresentadas. É mostrada a transposição das etapas pioneiras referentes a pesquisa e desenvolvimento de projetos nos idos 73, quando foram construídos os primeiros bancos de ensaios de mancais especiais (aerostáticos e hidrostáticos); os protótipos das aplicações desses mancais em guias e cabeçotes, dentre outras; a formação de pessoal técnico e a geração de informações através de publicações e relatórios. Mostra-se também, como é possível conduzir os tópicos de Tribologia, como matéria obrigatória na formação dos engenheiros mecânicos e pós-graduados - a Triboengenharia.

Tribologia. Triboengenharia.

PURQUERIO, Benedito de Moraes. Teaching, training and research in Tribology. *Rev. Ensino Eng.*, São Paulo, 4(1):63-67, 1.º sem. 1985.

Consideration is given to teaching, training and research in Tribology at the Mechanical Engineering Department, Escola de Engenharia de São Carlos-USP by the Machine Tool Laboratory - LAMAFE research group. The pioneering steps concerning research and design development in the last decade when the first aerostatic and hidrostatic bearing test rigs were built are shown; the application of these bearing types in machine tool spindles and slideways, the research people training, and the data generation through publications and reports are commented. It is also shown how topics on Tribology can be introduced as a necessary subject for the undergraduated and postgraduated students education in mechanical engineering - the Triboengineering.

Tribology. Triboengineering.

1 INTRODUÇÃO

A palavra "Tribologia" apareceu pela primeira vez em março de 1966 com a publicação de um relatório do Departamento da Educação e Ciência da Inglaterra (1). Todavia, é o nome e não o assunto que é novo e a definição mais simples para Tribologia é a seguinte... "A ciência e tecnologia das superfícies que se interagem em movimento relativo e das práticas a elas relacionadas". A palavra inclui os tópicos relativos ao atrito, lubrificação e desgaste, ou sejam:

- a física, química, mecânica e metalurgia das superfícies interagindo em movimento relativo incluindo os fenômenos de atrito e desgaste;

- a lubrificação com filme de fluido, como por exemplo a hidrostática, hidrodinâmica, aerostática e aerodinâmica;
- a lubrificação além da com filme de fluido, como por exemplo, a lubrificação limite e a lubrificação sólida;
- a lubrificação em condições especiais como a que ocorre durante a conformação dos metais e os processos de corte;
- as propriedades e comportamento operacional dos materiais para mancais;
- a mecânica dos mancais e das superfícies dos mancais, como por exemplo, os mancais de deslizamento e os de rolamento, anéis de pistão, guias de máquinas, dentes de engrenagens, etc., inclusive o seu projeto, fabricação e operação;
- a mecânica do ambiente dos mancais;

* Departamento de Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia de São Carlos/USP.

- as propriedades e comportamento operacional dos lubrificantes gasosos, fluidos, semifluidos e sólidos, bem como os materiais a eles relacionados;
- o controle de qualidade e inspeção de lubrificantes;
- o manuseio, distribuição e aplicação de lubrificantes;
- a administração e organização da lubrificação.

Agora que dispomos de uma definição mais acessível, passemos a analisar os tópicos relacionados com a importância e o significado econômico da Tribologia bem como o ensino, treinamento e pesquisa nessa área, na EESC-USP.

2 MANCAIS

Historicamente (2), a importância do atrito e a resistência ao movimento tem sido sobejamente reconhecida através do desenvolvimento da nossa civilização. Seria muito difícil tentar determinar o período em que o conceito de mancal foi desenvolvido. Todavia, podemos reconhecer eventos registrados que demonstram que aquelas idéias e engenhos alcançaram um estágio de desenvolvimento bem definido.

Por exemplo, sabe-se que as brocas feitas durante o período paleolítico para a produção de fogo ou broqueamento de furos eram montadas em mancais de chifres ou ossos. É possível supor com segurança que o desenvolvimento dos mancais progrediu a partir do momento em que o homem começou a empregar o movimento rotativo, porém, é igualmente verdadeiro o fato de que também procurou adquirir a compreensão dos fatores que reduzem o atrito no movimento linear, antes dessa época.

Desde então, as atividades em Tribologia tem recebido a contribuição de inumeráveis pesquisadores proeminentes. Seguramente esse nível de atividades cresceu muito desde a segunda grande guerra, cujo estímulo proveio do desenvolvimento das máquinas de alta rotação, máquinas de movimento recíproco para serviços pesados bem como da necessidade de tais máquinas operarem em ambiente severo. Dois fatores vieram complicar o problema dos mancais: as condições térmicas e as altas velocidades superficiais que mudavam as condições do escoamento na película lubrificante. O escoamento laminar degenerava nos vórtices de Taylor.

Os computadores, mais recentemente, tem desempenhado um papel importante nos estudos da lubrificação e no desenvolvimento dos métodos de projeto de mancais. Estamos agora entrando

numa era em que o projeto do mancal pelo computador já é uma possibilidade real. Uma das maiores dificuldades tribológicas tem sido que o projeto de mancais não era anteriormente reconhecido como um item carente de cuidados especiais. O mancal é, apesar de tudo, uma diminuta parte na maioria das máquinas, e por isso é um decepcionante simples componente. Existem muito poucos produtos na tecnologia moderna que sejam mais simples em forma do que uma simples bucha circundando um eixo, os quais constituem um mancal radial comum, apesar do projeto e fabricação deste elemento serem resguardados por uma vasta experiência e conhecimentos científicos e tecnológicos. A imensa simplicidade dos mancais resultou na negligência dos mesmos e um dos principais requisitos odiernos é prover os projetistas de máquinas com a mais completa apreciação das características de operação e projeto dos mancais, objetivo fundamental dos grupos de pesquisa que reconhecem a importância da análise do aspecto tribológico no projeto de máquinas.

3 ECONOMIA E EDUCAÇÃO

Houve várias ocasiões na história da Tribologia, em que as características econômicas desempenharam um papel predominante no curso do seu desenvolvimento. Os egípcios sabiam o que significava o valor monetário dos seus escravos ou não teriam devotado tanta atenção à redução do atrito e à lubrificação na construção de suas vastas estruturas de pedra. O custo do atrito e do desgaste foi certamente levado em conta durante o desenvolvimento industrial do século dezanove, e o reconhecimento de que os mancais dos eixos das rodas eram verdadeiramente uma limitação ao desenvolvimento satisfatório do serviço de estradas de ferro, conduziu diretamente às grandes descobertas da década de 1880. Em um trabalho para o Terceiro Congresso Mundial do Petróleo em Hague (1951), Vogelpohl estimou que 1/3 a 1/2 da produção mundial de energia era consumida sob a forma de atrito.

Nos últimos anos, os países Europeus tem examinado os aspectos econômicos do atrito e desgaste excessivo. Na Alemanha Ocidental, as perdas resultantes de serviços tribológicos inadequados foram reportados no início da década de 50, e medidas rigorosas foram tomadas para corrigir a situação. Institutos especiais foram criados para promover serviços e cursos de treinamento necessários à indústria. A Polônia também mostrou um conhecimento semelhante da importância dos

aspectos econômicos da Tribologia e em recente estudo confirmou que 1/3 da energia produzida naquele país era para vencer o atrito. Fatos semelhantes ocorrem nos Estados Unidos, Japão, Rússia, Israel e muitos outros países.

Na Grã-Bretanha algo semelhante aconteceu na década de 60. Em 1966 foi publicado o relatório Jost, que tratava das descobertas e recomendações do grupo que analisou a educação e pesquisa em lubrificação no país, derivando as necessidades tribológicas da indústria nesse campo. Foi esse grupo de trabalho que recomendou a introdução do novo termo Tribologia. A palavra originou-se da palavra grega Tribos, significando fricção. Talvez a parte mais significativa da definição dada anteriormente seja... "e das práticas a ela relacionadas". Esta característica da definição reconhece que a aplicação satisfatória dos aspectos científicos e tecnológicos do assunto devem ser resguardados pelo estudo das questões administrativas, organizacionais e econômicas associadas. O aspecto mais notável do relatório Jost foi a estimativa do efeito da Tribologia aperfeiçoada da economia inglesa, concluindo que esta poderia atingir a cada dos 515 milhões de libras por ano (1966).

Certamente, o impacto de certos tipos de informações como as ora fornecidas, serão certamente um dia apreciados pela nossa indústria nacional. Tudo é questão de tempo e talvez a melhor forma seja inicialmente preparar o ambiente universitário para o equacionamento necessário do problema. Foi com esta crença que o grupo de pesquisas do Laboratório de Máquinas Ferramentas da Escola de Engenharia de São Carlos - USP, em São Carlos - SP, de ora em diante referido como LAMAFE, iniciou em 1973 os primeiros investimentos em Tribologia.

Com o conhecimento de que os processos educacionais não podem naturalmente ser ligados a toda potência de imediato, levando portanto algum tempo para serem reconhecidos e trabalhos de pesquisas poderem ser conduzidos nos pontos mais importantes, cursos hoje, conduzidos pelo grupo do LAMAFE, já são oferecidos no Departamento de Engenharia Mecânica da EESC-USP em nível de pós-graduação e graduação.

4 ENSINO E TREINAMENTO

Quando se fala em ensinar Tribologia, distinção deve ser feita entre a formação especializada e a informação geral. Todo engenheiro carece de alguma informação no assunto a qual pode

ser incluída nos currículos normais dos Cursos de Engenharia. O treinamento especializado poderia ser efetuado através de cursos de curta duração abrangendo diferentes aspectos da Tribologia, bem como através de cursos de pós-graduação ou de especialização com duração de semanas ou mesmo de meses. Acreditamos, todavia, que a maior necessidade do momento seja a de informação geral para promover o conhecimento para os engenheiros, não havendo portanto, a necessidade de um curso de graduação em Tribologia. A demanda porém, está solicitando o direcionamento cada vez mais para uma sólida formação obrigatória em uma ou outra disciplina básica seguida de cursos de especialização em Tribologia.

O grupo do LAMAFE em São Carlos, tem conseguido várias formas de adequar-se para o ensino e treinamento da Tribologia tanto nos níveis de graduação como em pós-graduação. Dentre as soluções aplicadas em andamento e as projetadas destacam-se as seguintes: (os itens com asteriscos estão ainda projetados).

- inclusão de tópicos de Tribologia nas disciplinas normais do curso de graduação em Engenharia Mecânica;
- disciplinas optativas: tópicos sobre mancais especiais, lubrificantes e lubrificação;
- disciplina de especialização: abrangendo tópicos sobre lubrificação, atrito e desgaste (3);
- publicações sobre os vários tópicos da Tribologia. O LAMAFE já publicou cerca de uma dezena de publicações didáticas em Tribologia. Possui também um levantamento bibliográfico do assunto (4);
- disciplinas de pós-graduação em Tribologia;
- (*)laboratório de didático de Tribologia: painéis, bancos de ensaios para demonstrar os vários mecanismos de lubrificação;
- (*)aulas práticas e demonstrações: experimentos com os vários mecanismos de lubrificação;

Embora as nossas atividades didáticas ainda não apresentem uma perfeita harmonia, acreditamos que a ementa de um curso completo de especialização em Tribologia deva conter os seguintes tópicos: propriedades e química dos lubrificantes, regimes de lubrificação, escoamento laminar, lubrificação com filme de fluido, lubrificação limite, películas comprimidas, elasticidade, contato, lubrificação elasto-hidrodinâmica, escoamento super-laminar, lubrificação com água, reologia dos lubrificantes, sistemas de lubrificação, seleção e projeto de mancais, projeto de mancais radiais, mancais secos, fabricação e montagem de mancais, lubrificantes sólidos,

mancais auto lubrificados, mancais de rolamentos, mancais hidrostáticos, mancais aerostáticos, mancais carregados dinamicamente, projeto de mancais axiais, anéis de pistão, engrenagens, retentores, freios, topografia superficial, atrito e desgaste, desgaste de polímeros, corrosão, conformação e usinagem, bio-tribologia.

Muito ainda existe para ser feito relativamente ao ensino e treinamento em Tribologia em nosso meio, mas os recentes desenvolvimentos tem marchado um longo caminho em direção a transposição das barreiras ainda existentes em um verdadeiro tópico interdisciplinar através dos sistemas de treinamento educacionais e vocacionais existentes.

Nesta oportunidade, é digno de notar-se como o reconhecimento dos aspectos didáticos de um assunto pode produzir consideráveis mudanças no mesmo e prover novos estímulos a instituições educacionais, corporações profissionais, grandes unidades industriais e, eventualmente, departamentos governamentais.

5 PESQUISA

O Laboratório de Máquinas Ferramentas - LAMAFE, está tradicionalmente vinculado às áreas de Projeto de Máquinas Ferramentas e de Tribologia. A interdependência dessas áreas é evidenciada quando se analisa apenas um dos muitos elementos comuns entre elas: o estudo, projeto e investigação experimental dos mancais. E é exatamente devido ao estreito relacionamento entre estas áreas, que o LAMAFE tem norteado as suas atividades de pesquisa também em Tribologia.

Como a análise tribológica envolve todos os elementos suporte das partes em movimento relativo de qualquer máquina ou equipamento - os quais são responsáveis por mais de 5% de sua qualidade - nossa atenção tem sido voltada para tal campo aprofundando-nos em seu estudo. Isto tem acontecido em nível de pós-graduação e pesquisa.

Conseqüentemente alunos de pós-graduação interessam-se pelo assunto (5, 6, 7, 8, 9, 10) e outros ainda concentram-se em estudos nesse campo. Paralelamente outros alunos pós-graduandos dão andamento aos seus trabalhos experimentais, objeto da Dissertação de Mestrado e Doutorado na área de Tribologia. Também em nível de iniciação científica, nossos alunos de graduação tem mantido estreito contato inicial com a Tribologia.

Os tópicos de Tribologia, objeto de pesquisa e projetos no LAMAFE são os seguintes: mancais

aerostáticos e hidrostáticos, vórtices de Taylor, atrito e desgaste de polímeros, amortecimento de guias, aplicações de mancais aerostáticos em máquinas ferramentas e instrumentos de metrologia. Desses, muitos trabalhos resultaram e foram publicados. Acreditamos, porém que muito ainda está para ser feito.

6 INFORMAÇÕES ADICIONAIS E CONCLUSÕES

Pudemos constatar que a Tribologia é tão antiga quanto a humanidade, todavia somente nos tempos modernos é que esta ciência e tecnologia está sendo sistematizada. Conhecedores da sua importância tecno-econômica temos empenhado nos últimos dez anos, todos nossos esforços no sentido de implementar nossos recursos humanos e materiais nessa área, cujo retrospecto apresentamos a seguir:

- dos 444 m² da área do LAMAFE, 28 m² são exclusivos da área de Tribologia;
- dos 30 docentes do Departamento de Engenharia Mecânica, 13 (09 em tempo integral) pertencem ao quadro do LAMAFE, sendo 05 doutores, 06 mestres e 02 engenheiros, os quais direta ou indiretamente contribuem nessa área;
- além dos docentes, o LAMAFE conta com a colaboração de 04 técnicos, bolsistas pós-graduandos e cerca de uma dezena de alunos de graduação em atividades afins;
- já foram realizados 06 trabalhos de pesquisa visando o Mestrado/Doutorado e mais 03 estão em andamento;
- cerca de 10 trabalhos já foram apresentados em Congressos de Engenharia Mecânica;
- o LAMAFE já publicou (e está publicando) cerca de 11 monografias didáticas em Tribologia;
- a biblioteca do LAMAFE dispõe de um número de referências superior a 500 em Tribologia, entre livros, artigos, periódicos, normas, monografias, anais de simpósios, apostilas e catálogos;
- cerca de uma dezena de projetos já foram executados e/ou estão em andamento, visando a indústria ou as necessidades domésticas;
- o LAMAFE já recebeu auxílio nessa área, da FINEP - Projeto de mancais a gás (1973), MIC-STI - Projeto de cabeçotes retificadores (1973); FAPESP - Projeto de mancais a gás (1973), bolsas de iniciação; CNPq - bolsas de pesquisa (1975) e de pós-graduação (1982); CAPES - bolsa no exterior (1978); e está

- pleiteando novos recursos à essas entidades;
- o LAMAFE dispõe de vários bancos de ensaios de mancais, bancos de ensaios de desgaste (em andamento) e banco de ensaios de vórtices de Taylor, estando em andamento a construção de vários bancos de ensaios didáticos para ilustrar os mecanismos de lubrificação.

Portanto, com o auxílio da Tribologia, o LAMAFE tem conseguido dar suporte aos seus objetivos, ou sejam, o ensino em graduação e pós-graduação, o treinamento em pesquisa e desenvolvimento de projetos, bem como servir a comunidade, no intuito do projeto integral e integrado de máquinas de alta produtividade e acuracidade e da formação do pessoal técnico nos vários níveis, tão necessários ao Brasil de hoje, onde a importação da informação e a exportação de produtos de qualidade assumem importância fundamental. A Triboengenharia está se tornando realidade na EESC-USP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) LUBRICATION (TRIBOLOGY) EDUCATION AND RESEARCH. Report on the present position and industry's needs. H.M.S.O., 1966.
- (2) PURQUERIO, B. de M. *Tribologia. I-Histórico*. São Carlos, EESC-USP-LAMAFE, 1983. 23 p.
- (3) PURQUERIO, B. de M. & GAMBARINI, J.R. *Elementos de Tribologia*. São Carlos, EESC-USP-LAMAFE, 1978. 370 p.
- (4) PURQUERIO, B. de M. *Referências bibliográficas em Tribologia*. São Carlos, EESC-USP-LAMAFE, 1983.
- (5) PURQUERIO, B. de M. *Banco de ensaios para mancais aerostáticos axiais: Projeto, construção e testes experimentais*. São Carlos, EESC-USP-LAMAFE, 1975. 87 p. Dissertação de Mestrado.
- (6) GAMBARINI, J.R. *Banco de ensaios para mancais aerostáticos radiais: Projeto, construção e testes experimentais*. São Carlos, EESC-USP-LAMAFE, 1976. 119 p. Dissertação de Mestrado.
- (7) PURQUERIO, B. de M. *Development of a flexible compensator for externally pressurized air bearing*. M.Sc. Dissertation Univ. of Leeds (Ingl.), 1979, 66 p.
- (8) PURQUERIO, B. de M. *Development of vortex waves in circular Couette flow*. Ph.D. Thesis. University of Leeds (Inglaterra), 1982. 280 p.
- (9) SANTOS, J.M.C. *Projeto, construção e análise do mancal aerostático axial anular alimentado por ranhura*. São Carlos, EESC-USP-LAMAFE, 1983. 116 p. Dissertação de Mestrado.
- (10) ARAÚJO, L.P. *Características de desempenho de mancais aerostáticos radiais com alimentação através de ranhuras*. São Carlos, EESC-USP-LAMAFE, 1984. 132 p. Dissertação de Mestrado.