

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL
DIDÁTICO DE ESTUDO DE MANCAIS DE DESLIZAMENTO PARA
USO EM DISCIPLINA DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS**

Eduardo Feldmann – edufeldmann@yahoo.com
Felipe Lansoni da Silva –flansoni@yahoo.com.br
Fernando Fonseca Kaminski – fernandokaminski@pop.com.br
Carlos Henrique da Silva – carloshs@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC
Laboratório de Superfícies e Contato - LASC
Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças
80230-901 – Curitiba – Paraná

Resumo: *Este artigo apresenta o desenvolvimento de um programa computacional com caráter didático para o dimensionamento de mancais de deslizamento axiais e radiais, ou seja, com elementos que facilitem o aprendizado deste tipo de componente mecânico, criando um embasamento teórico além do modelamento matemático. Este programa computacional didático é produto direto de um Trabalho de Conclusão (TCC) do Curso de Engenharia Industrial Mecânica da UTFPR. O desenvolvimento desta ferramenta se resume em duas etapas principais. A primeira etapa consiste na realização da Revisão Bibliográfica, para a compreensão dos conceitos e com o levantamento das equações e dos parâmetros que regem os fenômenos mecânicos e físicos envolvendo estas famílias de mancais, na Coleta de Dados, em que são pesquisados tabelas e gráficos que servirão de base para o dimensionamento, e na Seleção da Linguagem de Programação mais apropriada para a implementação do programa didático, através de uma metodologia de priorização de projetos. Na segunda etapa do projeto o desenvolvimento propriamente dito do programa foi realizado. Inicialmente com a montagem do algoritmo de cada tipo de mancal e para diversos casos foram levantados os dados de entrada e saída, e dos passos necessários para resolução do dimensionamento, com a utilização do software Visual Basic. O programa final contempla dez tipos de casos para mancais radiais (longos e curtos), além de seis tipos de estudos de caso para mancais axiais (Rayleigh, sapatas lineares e pivotadas), e informações sobre o tema com o objetivo auxiliar o usuário.*

Palavras-chave: *Programa computacional, Mancais de deslizamento, Tecnologias de informação e comunicação, Metodologia de ensino, Elementos de máquinas.*

1 INTRODUÇÃO

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) são ferramentas que estão sendo utilizadas em vários cursos de engenharia. Dentre os diversos aspectos das TICs salienta-se experiências em cursos como matemática e química; nas engenharia civil (MODLER *et al.*, 2005), elétrica (LEHMANN & LEHMANN, 2006) e, em especial, a mecânica (SMITH NETO & FRANCISCO, 2001), contribuindo para o desenvolvimento das competências desejadas no profissional contemporâneo (criatividade, liderança, trabalho em equipe e autonomia).

Para o uso das TICs, são necessárias adaptações tanto dos alunos quanto dos professores. O professor não está preparado para novos questionamentos que provêm de uma capacidade de testar e ‘enxergar’ outros fenômenos antes não observados. Como diriam MODLER *et al.* (2005), o professor deixa de ser a fonte única de conhecimento passando a ser um mediador e estimulador da aprendizagem. É preciso saber que apesar de um maior engajamento por parte do professor, na maioria das vezes, nunca é o suficiente, pois a maior capacidade dos alunos encontrarem e assimilarem novas informações, torna a tarefa de acompanhar os ‘novos ventos’ momento atual algo quase impossível. No entanto, NITZKE (2003) ao estudar a inserção das TICs na prática didática de engenharia conclui que o conhecimento dos alunos também está aquém do que seria esperado.

LEHMANN & LEHMANN (2006) mostraram que o uso de recursos computacionais em disciplinas de engenharia ajuda como apoio educacional.

Sendo tecnologias, até certo ponto, ainda recentes, a perspectiva de ABREU & MASETTO (1990) se torna cada vez mais atual em sua frase: “... confinados dentro dos limites da classe (professor e aluno), se defrontam, se comunicam, se influenciam mutuamente”.

A despeito de todas as vantagens que as TICs podem oferecer estas tecnologias não eliminam a necessidade da aula teórica, tampouco as aulas práticas. BARTOLO & LINHARES (2006) mostraram que a disciplina de Elementos de Máquinas é uma das principais disciplinas dos cursos de engenharia mecânica que necessitam de visualização material/prática do seu conteúdo.

Na disciplina de Elementos de Máquinas, o uso de tecnologias de informação e comunicação é cada vez maior. Dentre as mais utilizadas pode-se citar:

- Vídeo (Fitas VHS e DVD), salas de bate-papo (*chats*) e Vídeo Conferências, com grande aplicação no Ensino a Distancia (EAD);
- Sítios na Internet
 - ⇒ Instituições de ensino superior (SMITH NETO & FRANCISCO, 2001)
 - ⇒ Empresas fabricantes de componentes mecânicos (CORREIAS UNIVERSAL, 2005)
- *Softwares* para cálculos de mancais de deslizamento (DUARTE, 2005).

1.1 Contexto do projeto

Um mancal de deslizamento é um elemento mecânico que tem por finalidade suportar e absorver os esforços provenientes da rotação de uma árvore ou de um eixo. Motores diesel, motores elétricos, turbinas a vapor, engrenagens redutoras, compressores, tratores, colheitadeiras e eixos propulsores de navios são algumas de suas principais aplicações. (FONTES & MELLO, 2006)

Segundo MICHELL (1929) *apud* NORTON (2004) todos os mancais são males necessários, não contribuindo para o projeto ou função da máquina, e quaisquer

particularidades que possam ter, são apenas de valor negativos. Porém o mérito destes elementos consiste em absorver a menor potência, desgastando-se o mais lentamente possível, ocupando o menor espaço, pelo menor preço.

Para NORTON (2004), o surgimento do computador provocou uma verdadeira revolução nos projetos e análise da engenharia, problemas cujos métodos de solução eram conhecidos literalmente há tempos, e que continuavam sendo, praticamente insolúveis devido à alta demanda computacional.

Atualmente, os engenheiros contam com uma grande variedade de ferramentas e recursos para assisti-los na solução de problemas de projeto. Microcomputadores baratos e pacotes de programas robustos provêem ferramentas de imensa capacidade para o projeto, à análise e à simulação de componentes mecânicos. (SHIGLEY *et al.*, 2005)

É a partir deste contexto e com o objetivo de melhorar o entendimento deste assunto nas aulas de Elementos de Máquinas que se propõe, como Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, o desenvolvimento de um programa didático para o dimensionamento de mancais de deslizamento, envolvendo suas variáveis de projeto. Este *software* deve fornecer ao engenheiro, ou ao estudante de engenharia, uma nova ferramenta computacional de simples utilização.

1.2 Justificativa

A criação de um programa didático para o dimensionamento de mancais de deslizamento tem a finalidade de auxiliar o processo de seleção de um mancal, com a inserção de recursos didáticos, criando uma interface que facilite a visualização e o entendimento do usuário. Isto vem de encontro com as atuais necessidades do engenheiro mecânico, como melhor aproveitamento do tempo de trabalho, redução de custos e, concomitantemente, auxiliando-o no processo de tomada de decisão.

Juntamente com a área de dimensionamento, seleção e projeto de máquinas, outros campos da engenharia mecânica serão utilizados na realização deste trabalho, sendo eles:

- ⇒ Computação, na seleção da melhor linguagem de programação e na elaboração de algoritmos;
- ⇒ Mecânica dos Fluidos, no estudo das equações e hipóteses que regem a lubrificação e fluxo de fluidos para mancais de deslizamento;
- ⇒ Tecnologia dos Materiais, na seleção dos materiais, suas propriedades e aplicações, e;
- ⇒ Termodinâmica, na análise da geração de calor, através da elevação da temperatura, gerada entre o fluido e a superfície deslizante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem dois tipos básicos de mancais de deslizamento que serão abordados neste trabalho: mancais radiais e mancais axiais.

Segundo STACHOWIAK & BATCHELOR (2001) os mancais radiais consistem de um eixo rotatório com um alojamento estacionário. O filme hidrodinâmico que suporta o carregamento é gerado entre a superfície móvel do eixo e o alojamento. Um mancal radial é composto por um alojamento cilíndrico e um eixo em seu interior, ambos separados por um fluido lubrificante, conforme mostra a Figura 1-a.

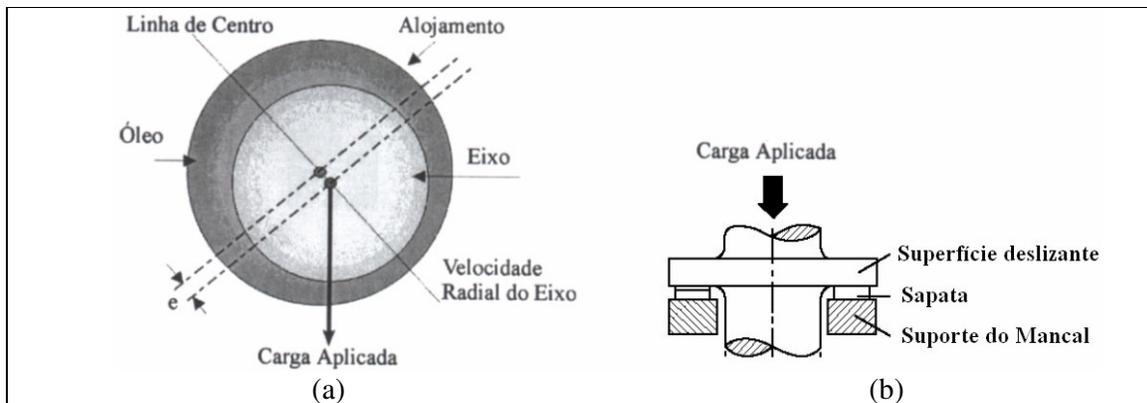


Figura 1 – (a) Mancal de deslizamento radial (DUARTE, 2005), (b) Mancal axial com sapatas (BHUSHAN, 2001).

Os mancais axiais são muito utilizados em máquinas para suportar carregamentos axiais em eixos. Esses mancais, em suas configurações mais simples, são compostos por duas superfícies circulares, separadas por um fluido lubrificante. Também é comum ver uma superfície plana cilíndrica deslizando sobre sapatas ao redor de um eixo, conforme mostra a Figura 1-b. A geometria do filme desse mancal pode ser comparada com o mancal radial (STACHOWIAK e BATCHELOR, 2001).

2.1 Mancais Radiais

Para certos tipos de mancais com características geométricas bem particulares, é possível fazer aproximações que simplificam bastante o equacionamento das condições de trabalho. Existem dois tipos de mancais para os quais foram desenvolvidas soluções analíticas: mancais infinitamente longos (teoria de Sommerfeld) e mancais infinitamente curtos (teoria de Ocvirk) (DUARTE, 2005).

Ao desenvolver a equação de Reynolds para mancais longos, conforme esquematizado na Figura 2, deve-se levar em conta que o comprimento do mancal é muito maior que seu diâmetro - $L \gg d$ (DUARTE, 2005).

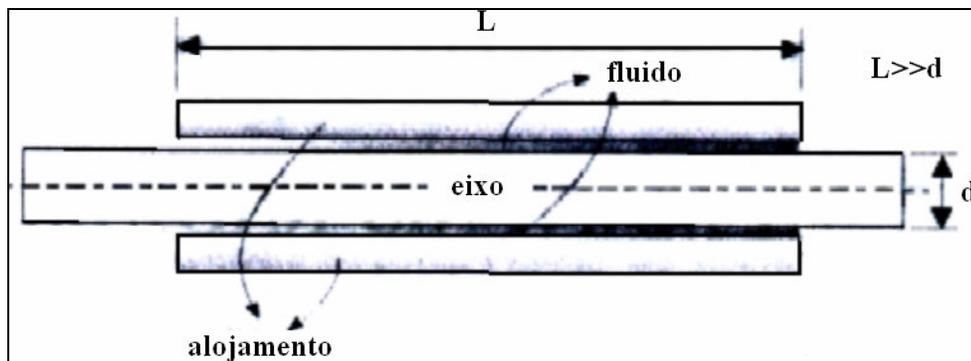


Figura 2 – Mancal infinitamente longo (DUARTE, 2005).

Ao desenvolver a equação de Reynolds para mancais curtos deve-se levar em conta que o comprimento do mancal é menor que seu diâmetro. Segundo NORTON (2004) para usar a solução de Ocvirk a relação L / d deve permanecer entre $\frac{1}{4}$ e 1.

2.2 Mancais Axiais

Apesar da grande variedade de mancais axiais disponíveis no mercado, optou-se por estudar neste trabalho os três tipos principais: o linear longo, o longo de Rayleigh e o pivotado.

- **Mancal axial linear longo:** um mancal axial de comprimento longo normal à direção de deslizamento, com a razão entre comprimento e largura da sapata maior que 3. As partículas do fluido são levadas por arraste da região de maior volume para a região de menor volume, gerando assim um gradiente de pressão hidrodinâmica que tende a separar as superfícies de deslizamento. (DUARTE, 2005). Desta forma, as condições de entrada e saída da cunha são controladas pela espessura de filme máxima e mínima.

- **Mancal axial longo de Rayleigh:** Rayleigh em 1918 propôs uma nova forma de sapata de simples fabricação para os mancais axiais, a qual consiste em duas superfícies paralelas a superfície de deslizamento com alturas diferentes para a espessura do filme (BHUSHAN, 2001).

- **Mancal axial pivotado:** Os mancais pivotados diferem dos mancais lineares, pois cada sapata é uma placa livre para girar, existem dois tipos de mancais pivotados, um desenvolvido por Michell e outro por Kingsbury, a diferença básica esta na forma do pivô, para Michell o pivô é extenso na direção radial ao eixo enquanto para Kingsbury o pivô é um pino que apóia a sapata (BHUSHAN, 2001).

2.3 Regimes de lubrificação

Segundo NORTON (2004), três modos gerais de lubrificação podem ocorrer em um mancal: filme completo, filme misto e lubrificação limite. A lubrificação de filme completo descreve uma situação na qual as superfícies do mancal estão completamente separadas por um filme de lubrificante. A lubrificação de filme completo pode ser hidrostática, hidrodinâmica ou elasto-hidrodinâmica. A lubrificação limite (ou limítrofe) descreve uma situação na qual, por razões de geometria, aspereza da superfície, carga excessiva ou falta de lubrificante, as superfícies do mancal se contactam fisicamente. A lubrificação de filme misto descreve uma combinação de filme lubrificante parcial com algumas asperezas de contato entre as superfícies.

Em um mancal a baixas velocidades, o regime de lubrificação limite ocorre com atrito elevado. À medida que a velocidade de escorregamento é aumentada, um filme de fluido hidrodinâmico começa a se formar, reduzindo a quantidade de asperezas em contato e também o atrito, sendo assim, com a elevação da velocidade passa-se para o regime de filme misto. Em velocidades elevadas, o filme completo é formado, separando as superfícies completamente, fazendo com que o atrito, inicialmente, tenha uma redução. (NORTON, 2004). É para este regime que se devem projetar os mancais de deslizamento, ou seja, quanto em funcionamento em pleno regime de trabalho, não se deve ocorrer contato entre as superfícies.

2.4 Temperatura

Obter informações sobre a temperatura em que se encontrará o lubrificante durante o funcionamento do mancal é muito importante no processo de dimensionamento do mesmo, pois a viscosidade do fluido lubrificante se altera muito pouco com a pressão, porém varia exponencialmente com a temperatura (DUARTE, 2005).

2.5 Lubrificantes

Para um dimensionamento tribológico de elementos de máquinas lubrificadas e de peças construtivas, o lubrificante é considerado como um elemento de funcionamento calculável e deve ser incluído no dimensionamento dinâmico, sob o ponto de vista dos problemas, com base nos critérios de atrito e desgaste. A vida útil das peças de máquinas lubrificadas depende decisivamente da otimização do elemento construtivo lubrificante. Quando mudam os fatores de influência durante o funcionamento ou o lubrificante aplicado se mostra, por algum motivo, não adequado, o usuário da máquina deve estar capacitado a fazer um levantamento das exigências modificadas e elaborar novas obrigações conforme as novas condições de funcionamento e, baseado nisso, fazer uma escolha sistemática do lubrificante adequado (MOLYKOTE, 1995).

3 METODOLOGIAS

A revisão bibliográfica foi a primeira etapa realizada, na qual foram levantados os parâmetros necessários para o dimensionamento dos mancais de deslizamento. Para isto foram estudadas as teorias da lubrificação e equações de NAVIER-STOKES, que servem de base no cálculo dos mancais, tanto radiais como axiais, além de uma descrição dos principais materiais utilizados nos mancais, assim como as trocas térmicas e lubrificantes envolvidos durante o processo. Junto à revisão bibliográfica foi elaborada uma pesquisa com alunos, professores e profissionais da área, no intuito de determinar a melhor ferramenta a ser utilizada no desenvolvimento programa didático. Esta pesquisa serve apenas de subsídio na escolha da linguagem computacional. De posse dos resultados encontrados nos questionários e nos comentários dos entrevistados, foi feita uma análise criteriosa pelos membros da equipe a fim de determinar a melhor ferramenta.

A segunda etapa foi reservada para o aprendizado do *software*, suas características, peculiaridades e principalmente dos seus comandos, elementos e controles, e a melhor forma de combiná-los a fim de encontrar soluções que atendam as necessidades impostas para o dimensionamento de mancais.

3.1 Metodologia da seleção da ferramenta

Para selecionar a ferramenta computacional utilizada para construir o programa de dimensionamento de mancais foi feita uma pesquisa de campo com professores, estudantes dos cursos de tecnologia e engenharia mecânica da UTFPR e profissionais da área. A seguir serão apresentadas algumas etapas da metodologia empregada:

- **Descrição do Procedimento:** A pesquisa de campo com potenciais usuários do programa computacional consiste em aplicar, em forma de questionário, uma ferramenta chamada Matriz de Priorização (SMITH, 2001). Esta é utilizada para selecionar potenciais

projetos de *Seis Sigma*, que será adaptada para selecionar o tipo da linguagem de programação, chamada a partir deste momento de Matriz de Seleção (WERKEMA, 2004).

• **Desenvolvimento da Matriz de Seleção:** Quanto aos critérios para a seleção da linguagem computacional relevantes ao projeto analisados pela equipe, considerando tanto à parte de programação quanto as condições didáticas do programa, foram observados os seguintes requisitos básicos:

- ⇒ Interface gráfica: o programa, depois de desenvolvido deverá apresentar uma visualização gráfica clara que facilite o entendimento do usuário.
- ⇒ Proteção do código de programação: O *software* depois de desenvolvido dificulta que os usuários tenham acesso ao código de programação.
- ⇒ Facilidade de aprendizado de programação: A linguagem de programação é de fácil entendimento e proporciona o rápido aprendizado da mesma.
- ⇒ Atualização do programa e dos dados: O programa após ser desenvolvido pode ser atualizado, permitindo novas inserções de dados.
- ⇒ Criação de sub-rotinas: A linguagem de programação permite a criação de sub-rotinas durante a programação, proporcionando que o programa seja desenvolvido em módulos, facilitando a divisão da programação pelos membros da equipe.
- ⇒ Interação com banco de dados: A linguagem de programação interage com arquivos de banco de dados, como Access ou Excel, permitindo a realização de operações de busca e interpolação de dados.
- ⇒ Arquivos executáveis: A linguagem de programação gera arquivos executáveis, fazendo que o programa após ser desenvolvido não necessite de outros *softwares* instalados na máquina do usuário para que funcione o programa.
- ⇒ Didático: O programa desenvolvido possuirá recursos que facilitem o aprendizado através da visualização do modelamento matemático, mostrando ao usuário a seqüência lógica de cálculo para o dimensionamento de mancais de deslizamento.

3.2 Resultados da Seleção

Quanto à escolha da linguagem computacional, seguiu-se a metodologia da Matriz de Seleção, realizando a média das relações entre os critérios de seleção e as potenciais ferramentas obtidas na pesquisa. Após a definição dos pesos, é realizado o cálculo da pontuação total de cada linguagem potencial, desta maneira os resultados da pesquisa são mostrados pela Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado da Matriz de Seleção obtida através da pesquisa de campo.

Potenciais Ferramentas	Critérios para seleção	Peso dos Critérios (5 a 10)								TOTAL
		Interface gráfica	Proteção do código de	aprendizado de programação	Atualização do programa e dados	Criação de sub-rotinas	Interação com banco de dados	Arquivos executáveis	Didático	
Visual Basic		4,5	2,8	4,8	3,3	4,5	4	4,5	3,9	266,1
Excel		2,3	1,3	4,8	4	2,3	2,9	0,6	3,9	191,1
Delphi		4,7	3,7	3,3	3,3	5	4	5	3,8	265,3
C		2,1	4,3	2,5	3,3	4,8	3	4,3	3	214,3
C++		3,8	4,5	2,5	3,3	4,5	3,3	4,5	3,6	236,0
MatLAB		1,3	1,2	2,8	3,5	2,8	2	0,7	2	138,8
Java		3,9	3,9	3,6	4,1	5	4,7	3,9	3,3	263,5

Legenda
 O critério é:
 5 - fortemente atendido
 3 - moderadamente atendido
 1 - fracamente atendido
 0 - não é atendido

Devido as suas características e levando em consideração que os fatores que receberam maiores notas nos questionários foram os mesmos que a equipe considerou como mais importantes na ponderação dos critérios, o *software* escolhido para o desenvolvimento do programa computacional didático foi o *Visual Basic*.

4 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

4.1 Programação

Para a programação foi utilizada a versão mais recente do *software*: o **Visual Basic 6**, um *software* de fácil compreensão e versátil, com sistemas operacionais do padrão Windows atuais, que permitem interagir graficamente com a tela, teclado, *mouse* e impressora (PERRY, 1999). A fim de facilitar o entendimento da montagem do programa, foi construída uma seqüência esquemática (Figura 3) das suas possibilidades fornecidas. Esta seqüência está baseada em três eixos principais: mancais radiais, mancais axiais e informações sobre o tema.

A programação baseou-se num conjunto padrão de cinco etapas para a criação do programa:

- ⇒ Decisão do que o aplicativo deve fazer criando uma visão geral do projeto;
- ⇒ Criação da parte visual do aplicativo (telas e menus com que os usuários irão interagir);
- ⇒ Adição do código de linguagem de programação *Visual Basic* para vincular os elementos visuais e automatizar o programa;
- ⇒ Teste do aplicativo para localizar e remover qualquer *bug* encontrado;
- ⇒ Compilação do aplicativo testado e distribuição para usuários.

Já na etapa da implementação, além de melhorias na interface gráfica já impostas devido à seleção do aplicativo empregado, outros avanços foram conquistados, como a quantidade de opções de entrada, cálculos detalhados das informações de saída, gráficos, facilidade de alteração nos dados de entrada, e informações adicionais relacionadas ao tema, isto tanto para os mancais de deslizamento radiais quanto axiais.

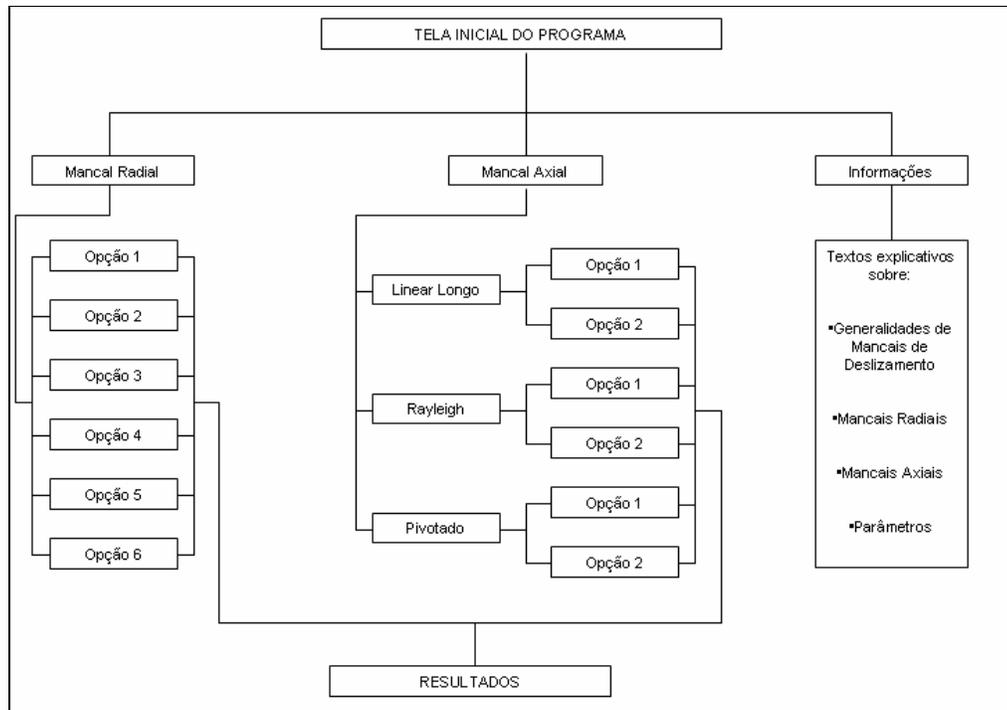


Figura 3 – Seqüência esquemática das linhas de desenvolvimento do programa.

Observando a Figura 4 ressalta-se uma visualização clara e simples, composta por elementos gráficos similares ao Windows, com comandos de fácil acesso e simplificada utilização.

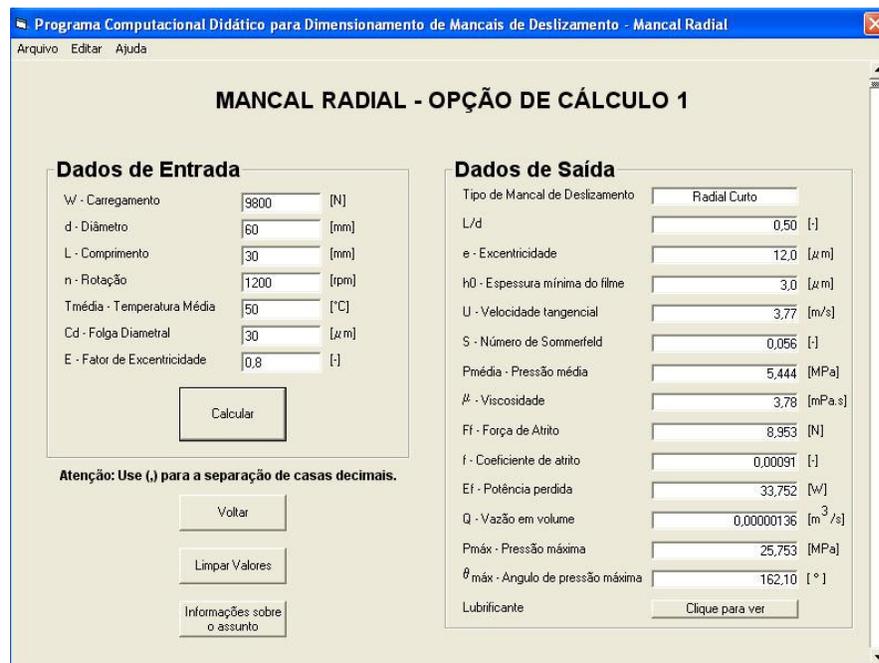


Figura 4 – Tela do programa mostrando a interface gráfica simples e de fácil utilização com comandos de fácil acesso.

A Figura 5 apresenta uma tela com as diversas opções de entradas para o dimensionamento de mancais de deslizamento que podem ser selecionadas. Para mancais radiais foram sugeridos seis diferentes formas para a entrada de dados, quatro destes para o dimensionamento de mancais longos e curtos, e os outros dois somente para mancais curtos. Já para mancais axiais foram atribuídas duas entradas para cada tipo, ou seja, duas para mancais axiais lineares longos, duas para mancais de Rayleigh e duas para mancais pivotados.

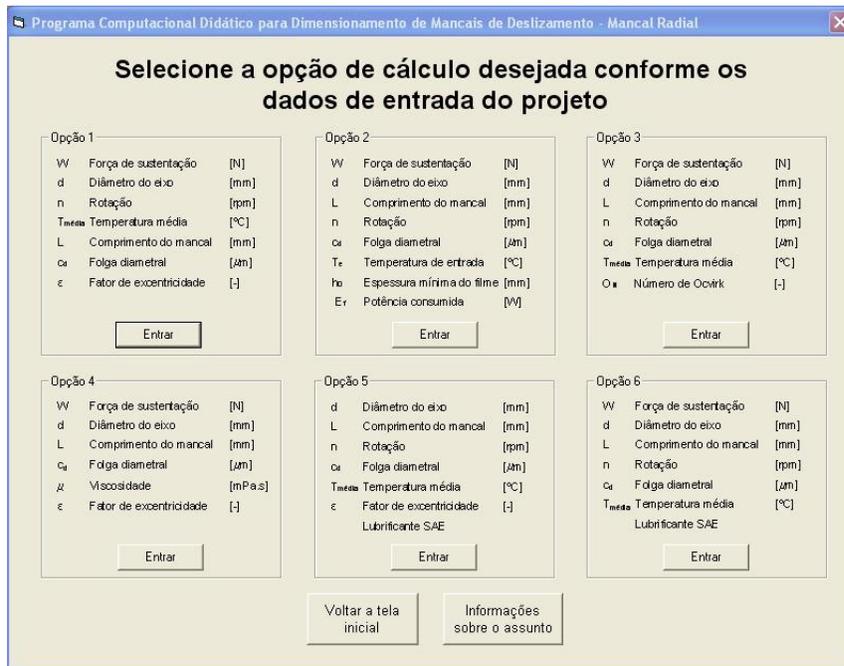


Figura 5 – Diferentes opções de entrada para mancais radiais.

Uma característica extremamente importante é a apresentação do cálculo detalhado, que além de sua função didática, pode ser uma ferramenta versátil para os engenheiros, pois exhibe as fórmulas aplicadas, deixando visíveis os parâmetros que podem ser modificados e sua relação com outras variáveis. Além disso, em todos os cálculos detalhados, estará presente o gráfico da distribuição de pressão, em torno do eixo do mancal em mancais radiais, e ao longo da sapata para o caso de mancais axiais.

Além do gráfico de distribuição de pressão ao longo do mancal, em alguns casos, onde a informação sobre lubrificante não é um dado previamente conhecido, será apresentado um diagrama viscosidade absoluta *versus* temperatura do óleo, fazendo com que o próprio usuário do *software* escolha o lubrificante da maneira mais adequada, tendo também um enfoque didático, como pode ser visto na Figura 6.

Conteúdos didáticos simplificados são apresentados ao usuário - neste caso mais aplicável ao estudante de engenharia - para consultar e tirar dúvidas referentes ao assunto. Podes-se obter definições, figuras e a formulação empregada para efetuar o dimensionamento de mancais, simplesmente selecionando a tecla: **Informações sobre o assunto**.

Também se observa a inserção de um comentário específico ao cálculo. Esta ferramenta é comumente chamada de hipertexto ou hiperlink, extrapolando os limites tradicionais dos textos convencionais. Por exemplo, é ilustrado o limite em que o fator de excentricidade deve ser utilizado, a fim de direcionar o usuário, evitando valores de entrada desproporcionais além de explicar de forma simplificada um conceito para o dimensionamento. Este tipo de recurso

encontra-se em outros parâmetros nos quais haja a necessidade de limitação dos valores de entrada.

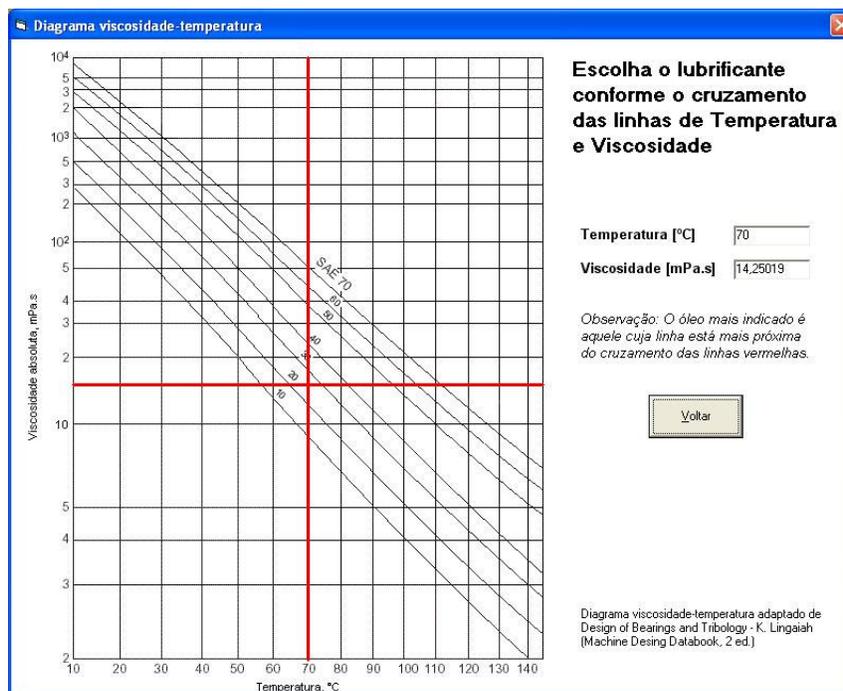


Figura 6 – Diagrama para a seleção do lubrificante mais apropriado.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quanto à utilização do *software Visual Basic*, este se apresentou eficaz em cumprir os passos das seqüências de cálculo para o dimensionamento, proporcionando todas as condições que se fizeram necessárias para a realização do projeto, além de apresentar um aprendizado relativamente fácil e rápido por parte dos programadores.

Dentro da parte de programação, o aplicativo mostrou-se capaz de apresentar soluções que não poderiam ser obtidas facilmente de forma analítica. Isso corrobora a importância e a viabilidade de se criar um programa para o cálculo de mancais, facilitando a obtenção dos resultados, otimizando o cálculo e restringindo a possibilidade de erro por parte do projetista.

Outro ponto importante alcançado foi a construção de uma interface de fácil compreensão e utilização para o usuário. Isto é motivado pelo fato de que os sistemas do *Visual Basic* utilizam o mesmo padrão dos sistemas do Windows.

Uma característica fundamental do programa computacional didático são as possibilidades de cálculo. Para o dimensionamento e análise de mancais radiais existem 6 opções, das quais 4 servem tanto para o cálculo de mancais radiais longos quanto para mancais radiais curtos. Já para o cálculo de mancais axiais, o aplicativo fornece duas opções de cálculo para cada tipo de mancal, sendo eles axial linear longo, Rayleigh e pivotado, resultando em 6 opções.

Deve-se acrescentar a inserção de textos explicativos com o objetivo de auxiliar o usuário sobre os conteúdos referentes ao dimensionamento de mancais. O usuário pode selecionar informações referentes à página em que se encontra. Por exemplo, nas opções de cálculo de mancais radiais, existe um acesso aos parâmetros referentes ao seu dimensionamento. Este tipo de facilidade se encontra em várias telas do programa computacional.

Com o objetivo de verificar a aplicabilidade deste *software* em casos reais de engenharia, foi realizado um estudo de caso, o qual mostrou que o programa computacional pode ser considerado satisfatório diante da necessidade de análise dos dados do problema. Mesmo sem a posse de todos os dados de projeto, os resultados obtidos e a relação das variáveis dos sistemas, se mostraram coerentes.

Outra forma de comprovar os resultados obtidos foi realizar uma comparação com os resultados gerados na resolução do exercício proposto por HARNOY (2002). Utilizando os mesmos dados nas duas soluções, num caso de dimensionamento de um mancal radial, alcançaram-se como respostas valores muito próximos, apresentando a mesma ordem de grandeza. Isto confirma a validade dos cálculos realizados nos dois estudos de caso.

Diante da premissa de criar um programa didático computacional que facilite tanto o cálculo quanto o aprendizado servindo como uma ferramenta útil para engenheiros e acadêmicos, o programa como um todo, se mostrou capaz de atingir o objetivo proposto, analisando a seqüência de cálculos proporciona pelas várias opções de dimensionamento e passando pelas facilidades geradas para àquele que o usará, na interface e nas apresentações do cálculo detalhado e das informações sobre mancais.

6 CONCLUSÕES

Considerando o que foi exposto, conclui-se que o programa computacional didático para dimensionamento de mancais de deslizamento foi eficaz ao cumprir as exigências previstas inicialmente.

Diante da complexidade envolvida no dimensionamento de mancais, foi necessário criar sólidos alicerces teóricos a fim de sustentar a elaboração do programa. Attingir este nível de consistência e qualidade só é possível mediante uma revisão bibliográfica muito ampla e fundamentada.

Junto a isto, a escolha da mais apropriada linguagem de programação, foi fundamental para o sucesso do projeto. O *Visual Basic* atendeu os requisitos impostos, já que o *software* possui as características necessárias para a implementação do programa computacional.

Também foram implantadas soluções sugeridas pela equipe, diferentemente daquelas encontradas na literatura, que aliado aos recursos inseridos a fim de conformar o caráter didático e auto-explicativo, agregaram um valor maior ao programa. Além disso, o resultado final no projeto é validado diante da realização dos estudos de caso, pelos quais são comprovadas situações reais.

No entanto, vale ressaltar alguns pontos que podem ser aperfeiçoados como:

- o uso de animação pode tornar o *software* mais atrativo e interessante;
- uma maneira de verificar a absorção do conteúdo pelo aluno precisa ser implementada.

Este tipo de *software* sugere uma necessidade de atualizações contínuas, pois com o uso intensivo em sala de aula, novas características de interesse para professor e/ou alunos serão visualizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.C.; MASETTO, M. T. **O Professor universitário em aula: prática e princípios teóricos**. 10ª Edição, MG Editores Associados, 1990

BARTOLO, K. F. & LINHARES, J. C. **Verificação da necessidade de dispositivos didáticos para o ensino na graduação em engenharia mecânica.** In: XXXIV Congresso brasileiro de Ensino de Engenharia, 2006, Passo Fundo, RS. Anais Passo Fundo, ABENGE-UPF, 2006

CORREIAS UNIVERSAL **Seleção e Cálculo de Correias em “V”**
<<http://www.correiasuniversal.com.br/ied.htm>> Acesso em: 20 de maio de 2007.

BHUSHAN, B. **Modern Tribology Handbook.** Boca Raton: CRC Press, 2001.

DUARTE Jr, D. **Tribologia, Lubrificação e Mancais de Deslizamento.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2005.

FONTES, O. H. M.; MELLO, J. C. B. S. **Aplicação da Análise Envoltória de Dados na Avaliação da Qualidade do Processo de Fabricação de Mancais de Linhas de Eixo.** Disponível em: < http://www.producao.uff.br/rpep/RelPesq_V4_2004_17 > Acesso em: 09 de abril de 2006.

HARNOY, A. **Bearing Design in Machinery Engineering - Tribology and Lubrication.** New Jersey: Marcel Dekker, 2002.

LEHMANN, R. B. & LEHMANN, M. S. **O uso de recursos computacionais como apoio para a disciplina de circuitos elétricos.** In: XXXIV Congresso brasileiro de Ensino de Engenharia, 2006, Passo Fundo, RS. Anais Passo Fundo, ABENGE-UPF, 2006

MODLER, L.E.A.; KRUGER, L.F.; LAZARROTO, N. **Desenvolvimento de rotinas computacionais para solução de problemas relacionados á engenharia civil.** In: XXXIII Congresso brasileiro de Ensino de Engenharia, 2005, Campina Grande, PB. Anais: Campina Grande, ABENGE- UFPB, 2005

MOLYKOTE, **Molykote**[®], Dow Corning GmbH, D-München, 1995.

NITZKE, J. A. **A inserção das tecnologias de informação e comunicação (TIC) na prática didática de engenharia.** In: XXXI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, IME - UFRJ – UERJ ,Anais: Rio de Janeiro, ABENGE, 2003

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada.** Porto Alegre: Bookman, 2004.

PERRY, G. **Aprenda em 21 dias Visual Basic 6.** Rio de Janeiro: Campus, 1999.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica.** Porto Alegre: Bookman, 2005.

SMITH, S. **Faça acontecer! Ferramentas testadas e aprovadas para o gerenciamento de projetos.** São Paulo: Clío Editora, 2001.

SMITH NETO, P. & FRANCISCO, J.D. **A utilização da Internet na elaboração de trabalhos escolares em uma disciplina de elementos de máquinas na PUC-Minas.** In: XXIX Congresso brasileiro de Ensino de Engenharia, 2001, Porto Alegre, RS. Anais: Porto Alegre, ABENGE – PUC/RS, 2001.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering Tribology**. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2001.

WERKEMA, C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Nova Lima: Werkema Ed, 2004.

DEVELOPMENT OF DIDACTIC COMPUTATIONAL PROGRAM OF STUDY OF SLIDEBEARINGS FOR USE IN DISCIPLINES OF ELEMENTS OF MACHINES

***Abstract:** This article presents the development of a computational program with didactic character for the sizing of trust and journal bearings, or either, with elements that facilitate the learning of this type of mechanical component, creating a theoretical basement beyond the mathematical model. This didactic computational program is direct product of a Conclusion Work (TCC) of the graduate course of Industrial Engineering Mechanics of the UTFPR. The development of this tool if summarizes in two main stages. The first stage consists of the accomplishment of the Bibliographical Revision, for the understanding of the concepts and with the survey of the equations and the parameters that conduct the mechanical and physical phenomena involving these families of bearings, in Data collect, where graphical and tables that will serve of base for the sizing, and in the Election of the more appropriate Programming language for the implementation of the didactic program are searched, through a methodology of projects prioritization. In the second stage of the project the development properly said of the program was carried through. Initially with the assembly of the algorithm of each type of bearing and for diverse cases the data of entrance and exit, and the necessary steps for resolution of the sizing had been raised, with the use of software Visual Basic beginner's all-purpose symbolic instruction code. The final program contemplates ten types of cases for journal bearings (long and short), beyond six types of studies of case for trust bearings (Rayleigh, linear and pivoted pads), and information on the subject with the objective auxiliary the user.*

***Key-words:** Computational program, Sliding bearings, Information and Communication Technologies, Education Methodology, Machine Design.*