

A Tool to Support the Teaching of Machine Design

<http://dx.doi.org/10.3991/ijes.v2i1.3675>

C. J. Weber, IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil

G. F. M. de Souza, USP – Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Abstract— For teaching machine design activities there is plenty of options of components, materials and process that can be used in a specific design. As this is a complex activity, currently computational tools to assist it have been developed. In this work some types of software are presented for this purpose. The paper main objective is to propose the development of a tool that is parametric, and that is not confined to the selection of a specific group of components, but is able to support the selection and analysis of most of components used in machine design activities and teaching. Moreover, it shows the selected components that are part of a project in a shaped structure tree so that it shows the interrelationships between them and the influence that one causes on the other. Someone can check the available and feasible components for each design, what are the reasons that led the choice and what influences the change of a component causes on the assembly to which it belongs.

Index Terms—Expert System, method selection, system, components, methodology, tool

Ferramenta para Auxílio no Ensino de Projeto de Máquinas.

Cláudio José Weber¹, Gilberto Francisco Martha de Souza²

¹ IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina /Mecânica, Joinville, Brasil

² USP – Universidade de São Paulo /Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo, Brasil

Resumo—Para o ensino de projeto de máquinas existe uma vasta possibilidade de opções de uso de componentes, materiais e processos. Como esta é uma atividade complexa, atualmente têm sido desenvolvidas ferramentas computacionais para auxiliar a atividade. Neste trabalho são apresentados alguns tipos de software para este propósito. Seu objetivo principal é propor o desenvolvimento de uma ferramenta que seja paramétrica, e que não se limite apenas à seleção de um grupo específico de componentes, mas todos aqueles usados na disciplina de projetos de máquinas. Além disto, mostra os componentes selecionados que fazem parte de um projeto na forma de uma estrutura em árvore de maneira que se possam visualizar as inter-relações entre os mesmos, a influência que um provoca no outro. Pode-se verificar as opções viáveis e disponíveis para cada escolha, e a possibilidade de ver o que acontece e qual a influencia da mudança de um componente sobre o conjunto ao qual pertence bem como qual o motivo que gerou a escolha e suas características.

Index Terms— Sistema especialista, método, seleção, sistema, componentes, metodologia, ferramenta.

I. INTRODUÇÃO

Durante muitos anos o uso do quadro, giz, e livros foram os instrumentos mais utilizados no ensino. Os últimos quarenta anos foram marcados pelo surgimento do computador que está sendo usado em todas as instâncias educacionais. A disponibilidade do mesmo tem provocado uma revolução na educação devido a sua capacidade de uso em todas as áreas, trazendo possibilidades de implantação de novas técnicas de ensino praticamente ilimitadas.

Segundo a referência [1] a educação visa não apenas inserir o homem no mundo, mas com o mundo de uma forma crítica e autônoma. Atualmente este homem deve

ser capaz de participar deste mundo que, cada vez mais, se compõe de ambientes informatizados.

A ênfase no ensino de técnicas no lugar de conceitos resulta em um rápido esquecimento por parte dos alunos. O ensino da teoria desvinculado dos aspectos práticos não prepara adequadamente o aluno para o exercício da profissão [2]. Para a referência [3] os softwares educativos podem estimular o desenvolvimento do raciocínio lógico, fixar conceitos e conseqüentemente a autonomia do indivíduo à medida que podem levantar hipóteses, fazer inferências e tirar conclusões a partir dos resultados apresentados. A possibilidade de simular conceitos e situações práticas sem o investimento em estruturas laboratoriais caras está tornando o uso das ferramentas computacionais no ensino cada vez mais comuns.

Dentro desta realidade tem-se observado iniciativas de vários autores e instituições que começam a preocupar-se com metodologias e didáticas aplicadas ao ensino de engenharia por meio de ferramentas computacionais. A referência [4], por exemplo, mantém um projeto no Laboratório de Mecânica Computacional Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Este projeto tem a finalidade de desenvolver cursos baseados em “aulas interativas” para as disciplinas de Resistência dos Materiais e de Estruturas de Concreto Armado.

Nos cursos da área mecânica, quer na formação de técnicos ou de profissionais de nível superior, o ensino da disciplina de projeto de máquinas é uma tarefa complexa. Os alunos precisam conhecer conceitos básicos e ter conhecimentos de praticamente todas as disciplinas vistas no curso. Para que o conhecimento desta disciplina se sedimente, normalmente são feitos projetos de máquinas como atividade pedagógica. Nestes projetos a fase informacional e a conceitual são mais teóricas e estão bem documen-

tadas pela bibliografia e contam com muitas ferramentas computacionais.

As maiores dificuldades aparecem nas fases de projeto preliminar e detalhado. Existe uma vasta possibilidade de opções de uso de componentes, materiais e formas de processá-los. Os componentes têm interface ou conexão uns com os outros, e juntos formam conjuntos, e os conjuntos em conexão entre si formam uma máquina. Assim uma grande quantidade de conhecimentos deve ser simultaneamente considerado e manipulado. Isto não é uma tarefa trivial, pois envolve considerável *know how* e experiência. O cenário descrito mostra-se difícil, especialmente para os alunos e equipes pouco experientes, e geralmente leva a soluções pouco eficientes para os problemas de projeto e que produz muitas dúvidas, se as escolhas feitas realmente são as melhores.

Para melhorar o ensino nas disciplinas de projetos e de elementos de máquinas, bem como a qualidade, confiabilidade e produtividade dos projetos têm sido desenvolvidas várias ferramentas computacionais com este objetivo. Porém estas ferramentas focam o dimensionamento e especificação de componentes pré-selecionados. Outras trabalham a seleção de um componente específico pertencente a um grupo, isto é, um tipo de componente específico dentre outros que desempenham a mesma função. Porém todas trabalham de uma forma isolada, não entendendo o processo de seleção de todos os componentes de um produto como um todo com suas inter-relações e os efeitos que um componente selecionado tem sobre os outros com os quais está relacionado funcionalmente.

Assim este trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta modular que abrange a seleção de componentes pertencentes a diferentes grupos de componentes e materiais. Além disto, auxilia o aluno no projeto das peças que integram os componentes de forma a indicar a necessidade ou não de características nas peças a serem modeladas e produzidas, e automaticamente ser percebido o processo de fabricação a ser usado.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muitos desenvolvimentos têm sido feitos em metodologias de projetos [5], principalmente nas fases de projeto conceitual e na de projeto detalhado, porém pouco desenvolvimento tem sido observado nas fases de projeto preliminar e detalhado, principalmente no ensino da seleção de componentes.

O que tem sido desenvolvido são sistemas dedicados que dimensionam tipos de componentes já selecionados [6], como por exemplo o dimensionamento de rolamentos de rolos, por meio de um algoritmo de cálculo. Nesta linha também pode-se destacar os diversos aplicativos presentes em diversos softwares de CAD como o Bearing Calculator, presente na caixa de ferramentas do SolidWorks. Neste caso além do dimensionamento do rolamento, o sistema conta com uma biblioteca paramétrica do modelo em 3D do rolamento. Este modelo pode ser inserido diretamente no arquivo de montagem do projeto.

Muitos fabricantes de componentes têm desenvolvido softwares dedicados com o intuito de fidelizar os clientes aos produtos e sistemas que fabricam. Estes softwares dimensionam e/ou configuram um tipo de elemento de máquina já selecionado. Como exemplo podemos citar o software Gates DFPro [7], para o dimensionamento de correias e polias para transmissão mecânica. Este software

possui um banco de dados estruturado com vários tipos de correias e polias com seus respectivos perfis, além de seus atributos como tamanhos disponíveis, menor diâmetro de polia aplicável entre outros. Assim por meio de regras de projeto um perfil de correia é definido pelo projetista. O software verifica se a escolha é possível, e com base nos dados da transmissão, então um algoritmo específico para cada perfil sugere várias opções de transmissão. Estas opções fazem parte da linha de produtos padrão da empresa onde variam o comprimento, quantidade ou largura das correias e polias. Os dois tipos de software já citados, fazem o dimensionamento e não a seleção dos componentes.

Outra linha de pesquisa tem envolvido o desenvolvimento de sistemas especialistas na seleção de componentes para produtos específicos como o mostrado em [8], para redutores de velocidade. Nesta linha, a referência [9] mostra o desenvolvimento de um software para o ensino da disciplina de projetos no segmento de pontes rolantes. Estes sistemas também são conhecidos como configuradores. Eles são usados para um tipo de produto específico, onde seus componentes já estão todos definidos. Não é necessário ser feito o processo de seleção dos mesmos. A ferramenta dispõe de um banco de dados dos componentes usados no projeto, e de algoritmos de dimensionamento para cada componente. Assim baseado nos dados dos requisitos do equipamento a ferramenta vai dimensionando e especificando os componentes a serem usados. Porém é aplicada apenas a um tipo de produto ou equipamento para o qual foi desenvolvido tornando muito ágil o processo de dimensionamento.

Com uma atuação mais abrangente pode-se destacar os sistemas especialistas para a seleção de um tipo específico de componente ou processo que pertence a um grupo de componentes. Neste caso pode-se destacar o sistema para seleção de atuadores [10]. Dentre os vários tipos de princípios de atuação o sistema seleciona aquele que mais se adequa às necessidades do projeto. Nestes sistemas a seleção é específica para um determinado tipo de componente para o qual foi desenvolvido.

De forma análoga pode-se citar a ferramenta [11] para a seleção de revestimentos tribológicos. O processo de seleção faz uso de uma ferramenta de pré-seleção com base em um banco de dados que foi desenvolvido para selecionar os vários tipos de revestimento como candidatos possíveis, comparando-se com os requisitos de projeto. Assim as opções tecnicamente inviáveis são descartadas, restando apenas as que podem ser aplicadas. Estas opções tem seus atributos baseados em testes tribológicos e outros testes dotados de pesos em comparação com os requisitos de projeto. Assim esta ferramenta classifica as possíveis opções em uma ordem de importância de acordo com a maior capacidade de satisfazer os requisitos de projeto. Desta forma tem-se listados os principais tipos de revestimentos que podem satisfazer a aplicação. A seleção final também pode ser atrelada a disponibilidade do processo e/ou o seu domínio, bem como questões logísticas e o custo benefício.

Muitas vezes os membros da equipe de projeto estão geograficamente dispersos, assim faz-se necessário o uso de ferramentas que os mantenham em contato com a internet. Muitos locais também não contam com infraestrutura de software e hardware. Assim ferramentas baseadas na internet, como o softwares especialistas dos fabricantes de componentes em versões na rede, como o já

citado Gates DFPro permite o trabalho em qualquer local com um computador portátil.

Outra iniciativa partiu da Universidade de British Columbia com o sistema Actuator Selection Tool [12]. Esta ferramenta específica para a seleção de atuadores universaliza o ensino para a definição destes componentes, pois encontra-se disponível na internet e é de acesso livre.

No trabalho da referência [13], é feita a seleção de um material e do processo de fabricação ao qual será submetido. Isto é uma tarefa muito demorada em alguns casos. Estima-se entre 40.000 e 80.000 materiais e, pelo menos, 1000 maneiras diferentes para processá-los. Esta análise se feita manualmente exige do estudante ou projetista muita experiência e um conhecimento muito amplo, além de muito tempo para aperfeiçoar a escolha.

A ferramenta proposta funciona com um módulo para traduzir os requisitos de projeto em uma especificação para material e processo. A ferramenta rastreia em seu banco de dados a combinação entre material e processo que não podem satisfazer as especificações, e são descartadas. O conjunto de materiais e processos passíveis de serem usados são classificados em ordem que melhor satisfaça as especificações. O conjunto de opções melhor colocado é submetido à avaliação dos especialistas da aplicação, em função do histórico do uso, em recomendações de boas práticas de projeto e na disponibilidade de máquinas e equipamentos e também levando em conta aspectos logísticos.

III. CARACTERÍSTICA DA PROPOSTA

Como foi observado na revisão bibliográfica as ferramentas, softwares e aplicativos focalizam o dimensionamento e especificação de componentes pré-selecionados. Outras trabalham a seleção de um componente específico pertencente a um grupo. Porém todos trabalham de uma forma isolada, não vendo o processo de seleção de todos os componentes de um produto como um todo, com suas inter-relações e os efeitos que a escolha de um componente exerce sobre o outro ao qual está relacionado.

A contribuição deste trabalho está em propor uma arquitetura de ferramenta computacional que seja modular e integre as várias ferramentas existentes para a seleção e dimensionamento de componentes, algumas das quais já mencionadas na revisão bibliográfica. Isto se faz necessário, pois seria inviável desenvolver todas as ferramentas para cada grupo de componentes e seus diversos tipos. Assim pode-se aproveitar o conhecimento dos vários grupos de pesquisa e de fabricantes de forma a integra-los na ferramenta. Para isto será proposta uma interface padronizada para os requisitos de projeto e sua conversão em especificações. Além disto, a saída do módulo também será padronizada com o componente selecionado tendo sua especificação e/ou dimensionamento definidos, bem como os seus atributos.

Uma das principais funções desta ferramenta e também uma contribuição, é a possibilidade de conduzir o aluno e o projetista a uma escolha mais racional dos componentes. Isto se dá pelo fato de que quando o mesmo é selecionado aparecem informações das suas influências sobre os outros componentes nos quais se interfaceia. Por exemplo, se um anel expansivo é selecionado para fixar uma polia sobre um eixo, o aluno pode ver pela árvore o que é preciso ser feito no eixo para acomodar este anel. Também pode ver o que é preciso fazer na polia para que acomode o dito anel.

Isto acontece porque estes componentes estão ligados entre si, e se for substituído o sistema de fixação por uma chaveta, a ferramenta também ira mostrar o que é preciso ser feito tanto na polia como no eixo.

Os componentes selecionados são mostrados na forma de uma estrutura em árvore como mostrado na figura 3. Isto permite que seja visualizado como os componentes estão conectados. Assim as informações que levaram a sua escolha também ficam disponíveis nesta estrutura, sendo esta uma forma de documentar o *know how* de um projeto. Além disto, as informações ficam disponíveis para outras aplicações similares no futuro.

Na pasta de atributos são mostradas as características do componente selecionado, além de conhecer melhor o dito componente isto permite ao aluno comparar e correlacionar com os requisitos do projeto. Isto melhora o conhecimento de aplicação.

Além disto, também possui a pasta de influência ativa, isto é, a influência que este componente exerce nos outros aos quais está conectado. Nesta pasta são mostrados quais os componentes que são influenciados e que tipo de influência sofrem. De forma análoga a pasta de influencia passiva, que mostra quais os componentes exercem influencia sobre o componente em questão, e que tipo de influencias são.

Como esta ferramenta tem a filosofia de ser modular, pode ser implementada com outros softwares para seleção e dimensionamento de novos componentes. Isto também se aplica ao banco de dados, pois os componentes novos possuem outras características de uso e influencias. Além disto, em diferentes tipos de projetos e/ou produtos muitas vezes os componentes são aplicados de formas diferentes gerando outros tipos de influencias nos componentes aos quais estão ligados. Isto exige que o banco de dados possa absorver estes novos conhecimentos.

IV. FERRAMENTA PROPOSTA

Para compreender a ferramenta, faz-se uso de um esquema, mostrado na figura 1, que apresenta os principais módulos, sua estrutura e como eles se relacionam.

O foco deste trabalho não é mostrar como será desenvolvida a ferramenta, mas como ela funciona. É dada ênfase na árvore de seleção, e como o aluno pode usá-la para a seleção ótima de componentes levando em consideração a influencia de um componente sobre o outro ao qual esta ligado.

O módulo de entrada registra as informações básicas e os requisitos do projeto. Também são inseridas as diretrizes do projeto, as quais têm influencia direta na ordem de prioridade para a seleção dos componentes.

O segundo módulo é composto de um banco de dados onde informações são divididas em dois tipos básicos. Primeiro são aquelas que se referem à documentação dos componentes como informações de catálogos, regras de aplicação, normas, padrões, dimensões entre outras. Segundo são informações empíricas, não documentadas, relacionadas à forma de aplicação, e como os componentes influenciam os outros nos quais estão conectados. Estas influencias geram requisitos técnicos nos componentes vizinhos para que possam se conectar.

O conhecimento dos técnicos especializados é justamente o que caracteriza ou define um sistema inteligente. Este conhecimento é mais difícil e mais complexo para se

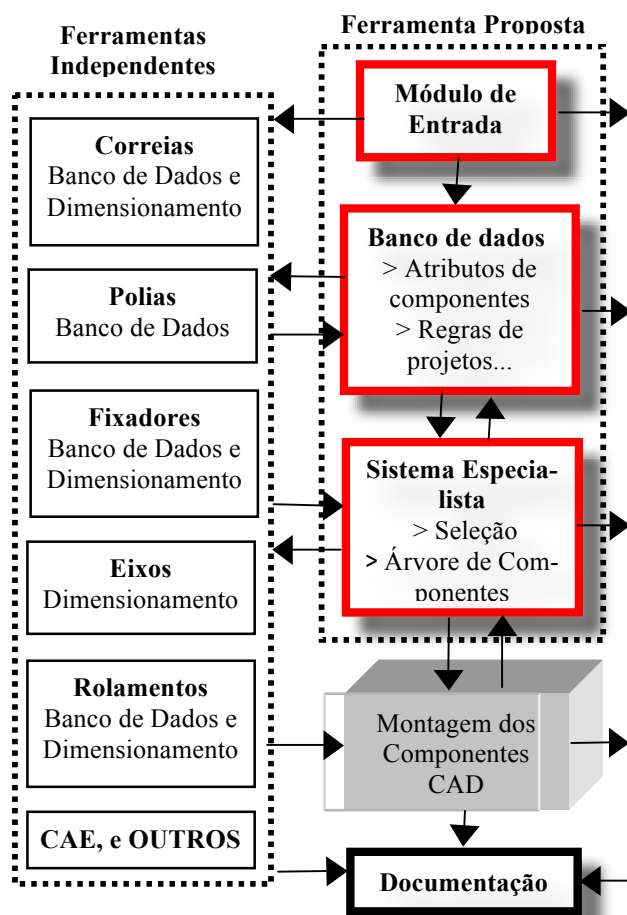


Figura 1. Estrutura geral da ferramenta proposta.

adquirir e empregar do que a informação de fontes documentadas. Isso ocorre porque *know how* é uma atividade mental e com base na experiência dos técnicos, e normalmente leva tempo para que seja adquirida. A fim de expressar esta informação é necessário recorrer à formulação de condições "heurísticas". Quanto mais precisa-se de especialistas com conhecimento e *know how*, maior e mais complexo se torna o processo de aquisição de conhecimento. Segundo a referência [14] um modelo de sistema especialista é baseado na observação de como os seres humanos pensam sobre a execução de determinada tarefa. E se forem bem elaborados sugerem prescrições para o processo de seleção.

O terceiro módulo é composto de um sistema especialista que interage com o módulo de entrada. De acordo com os requisitos e diretrizes de projeto este sistema dará ênfase na seleção a um determinado tipo de componente. Também usa as informações sobre o componente que está sendo selecionado, juntamente com os requisitos das peças vizinhas, isto é, a influência que exercem na seleção ora em curso, para que estes componentes se acoplem.

O módulo independente é composto de várias ferramentas como softwares para dimensionamento, seleção, bibliotecas de componentes em CAD, catálogos eletrônicos, entre outros. É responsável pela seleção de um componente padrão dentre outros do mesmo grupo e pelo seu dimensionamento.

Para mostrar como os módulos da ferramenta trabalham pode-se citar como exemplo a seleção de um elemento de

fixação entre um eixo e uma polia. Se uma das diretrizes principais é fabricabilidade, o sistema especialista é informado que deve dar prioridade a componentes que facilitem o processo de fabricação. Assim a prioridade é por um anel de fixação. As informações do tipo específico de anel e seu tamanho são obtidas no módulo de ferramentas independentes. Com a definição o mesmo é inserido na árvore pelo sistema especialista.

Como os componentes vizinhos são a polia e o eixo, isto é, os componentes que estão conectados ao anel, estes precisam ter certas características de forma que possam se acoplar. No caso do eixo o sistema especialista informa que selecionou uma barra redonda trefilada no diâmetro interno do anel com base nas informações do banco de dados e dos requisitos do anel, tolerância h11. Não é necessário nenhum processo de usinagem, pois na forma em que a barra é fornecida já permite o acoplamento com o anel. Pode se notar que na seleção da barra também foi respeitada a diretriz de fabricabilidade. Este tipo de eixo por sua vez vai gerar uma influência na seleção dos outros componentes aos quais se conecta.

Os alunos e profissionais sem experiência não dispõem destas informações empíricas para a seleção destes componentes, isto se adquire apenas com a prática profissional. Porém isto não significa que um profissional experiente não possa usar a ferramenta, pois irá lhe conferir mais agilidade e confiabilidade no projeto. Além disto, poderá testar várias configurações para ver qual mais se adéqua as expectativas do projeto.

V. ESTRUTURA DA ÁRVORE

Para que se possa visualizar melhor o funcionamento da estrutura da árvore da ferramenta será usado um exemplo que é a seleção de uma transmissão de um ventilador, mostrado na figura 2. O ponto de partida é a fonte de energia mecânica, o motor (1) que fornece o movimento de rotação para o eixo do ventilador (7) por meio de uma polia motora (3), fixada ao eixo do motor por meio do anel de fixação (2). O movimento de rotação é transferido para a polia movida (5), pelas correias (4). A polia movida (5) esta fixada ao eixo (7), por meio do anel (6).

A base do motor, a mancalização do eixo (7), o rotor, voluta e outros componentes que fazem parte do projeto não serão abordados para que a explicação não se alongue muito.

A figura 3 mostra a árvore dos componentes do projeto da transmissão do ventilador. Pode-se notar que cada componente tem uma pasta com seus atributos, onde estão contidas as suas características e especificações.

Neste exemplo será apresentada a fase de projeto preliminar, na qual serão feitas as seleções dos componentes que melhor atendem o projeto dentre as diversas opções de componentes que podem ser usados.

Neste exemplo baseado nas informações do projeto informacional e conceitual o aluno tem definidas as especificações do projeto e as diretrizes principais a serem levadas em consideração. Além disso, os princípios de solução também já estão definidos. Nesta fase do projeto preliminar a ferramenta proposta é usada para a seleção dos componentes.

Quando o aluno aciona a ferramenta, uma nova estrutura em forma de árvore é criada. Uma janela com o módulo de entrada é disponibilizada para que ele introduza as informações básicas do projeto, dados da aplicação, e as

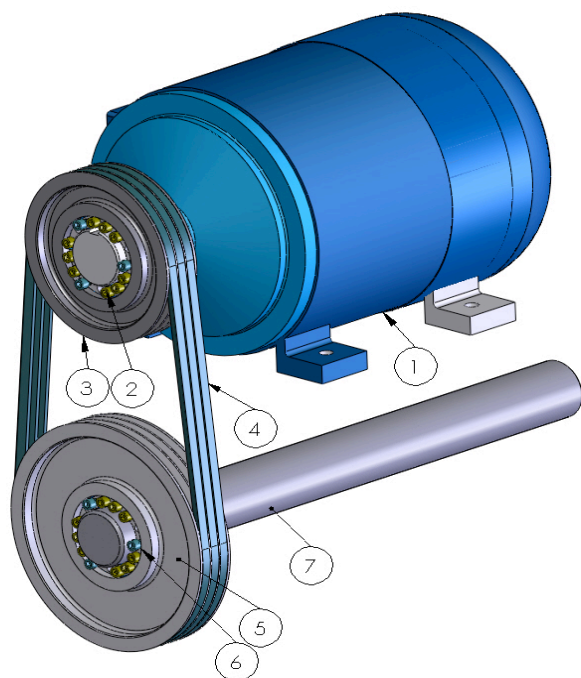


Figura 2. Transmissão do ventilador.

diretrizes principais, que neste caso são fabricabilidade, manutenibilidade e custo. Com isto a ferramenta irá priorizar componentes padronizados, que além do menor custo sejam itens de fácil reposição no mercado. Também devem fazer com que as peças a serem fabricadas sejam simples e tenham facilidade de montagem e desmontagem para manutenção.

O próximo passo é a seleção do tipo do motor (1). O aluno abre o sistema especialista que é baseado no banco de dados para fazer uma pré-seleção. Quando faz isto aparecem vários grupos de componentes, como fixadores, motores, mancalização entre outros. Como ele quer neste momento motores, seleciona apenas este grupo de componentes. O processo de seleção se inicia com base nas informações do módulo de entrada. Várias opções estão disponíveis como motores elétricos assíncronos CA, motores elétricos síncronos CA e CC, servomotores, motores de passo, motores hidráulicos entre outros. As opções inviáveis como os motores elétricos síncronos CA e CC, servomotores, motores de passo, motores hidráulicos são eliminadas. Isto é feito com base nas informações do módulo de entrada e do banco de dados do sistema especialista. Este sistema compara as características da aplicação com as dos motores que estão no banco de dados.

Por exemplo, a aplicação é apenas para girar um rotor de um ventilador com velocidade constante, não há requisito de precisão ou dinâmica para este projeto. Então os motores de passo e servomotores que tem estas características são excluídos como opções. Nesta seleção restam apenas os motores elétricos assíncronos CA. Neste momento resta apenas fazer o seu dimensionamento.

Para isto pode ser usado um aplicativo de um fabricante de motores. Esta ferramenta encontra-se dentro da caixa de ferramentas independentes. Uma vez definido o modelo do motor este é inserido na árvore, e leva consigo as especificações e características presentes no banco de

dados, e que podem ser acessadas abrindo a pasta de atributos deste componente na árvore.

O segundo componente a ser selecionado é a correia (4), pois dele dependem as polias (3 e 5) e seus sistemas de fixação (2 e 6). Para isto o aluno abre o sistema especialista para fazer uma pré-seleção, selecionando apenas o

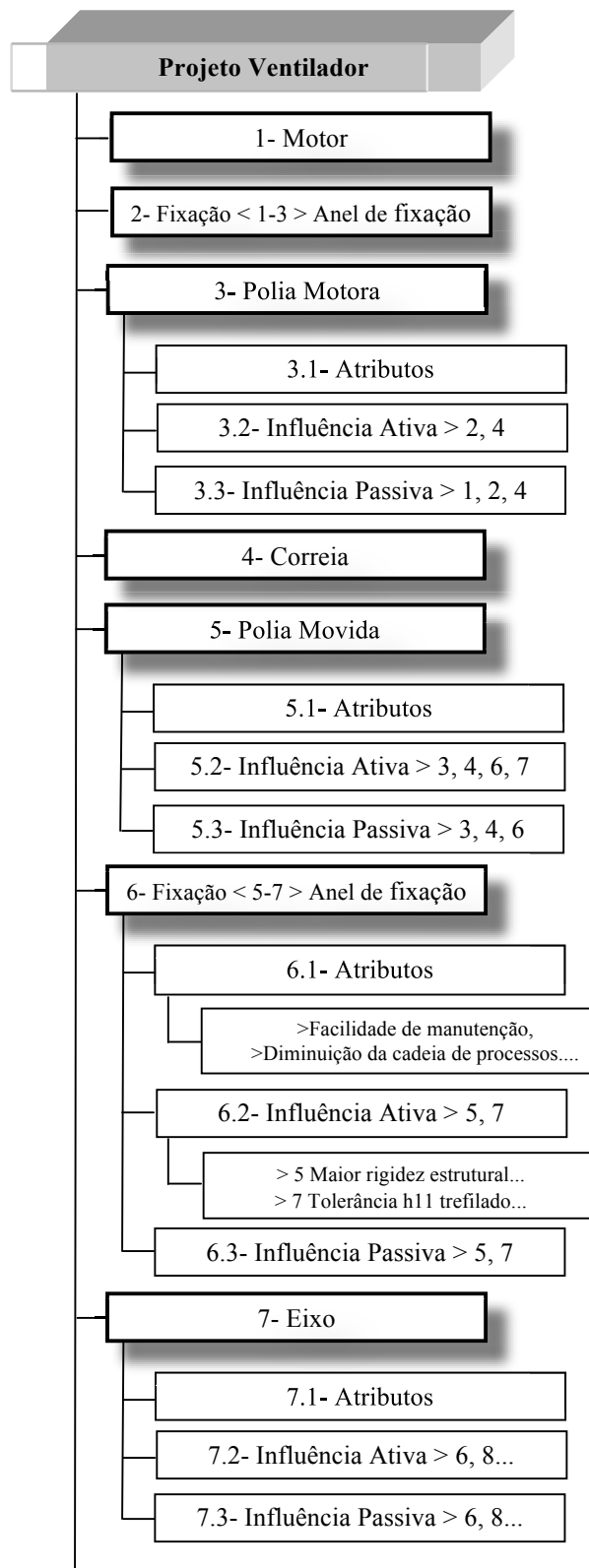


Figura 3. Estrutura do módulo de saída em forma de árvore.

grupo de transmissão. O processo de seleção se inicia com base nas informações do módulo de entrada. Várias opções estão disponíveis como correias em V, micro V, sincronizadas, correntes, engrenagens, entre outros. As opções inviáveis são eliminadas como as correntes, correias sincronizadas e engrenagens. Isto é feito com base nas informações do módulo de entrada e do banco de dados do sistema especialista. Como já foi selecionado um motor elétrico assíncrono CA, o sistema sabe que não é viável usar elementos que gerem sincronismo como correntes e correias sincronizadas que tem maior custo e os descarta das opções de seleção. As correias são ordenadas por meio de um índice que exprime a capacidade de atender os requisitos. Como o maior índice ficou com as correias em V, este é o componente selecionado.

O dimensionamento e a seleção do perfil da correia em V pode ser feito através de um software como o Gates DFPro, já citado, e que encontra-se dentro da caixa de ferramentas independentes.

Como a correia já esta selecionada e dimensionada, ela é então inserida na árvore dos componentes que farão parte do projeto. Na árvore este componente tem a pasta de atributos onde podem ser visualizadas suas características, por qual motivo foi selecionado, e o índice com relação às outras opções.

Estas informações que correlacionam os componentes que estão ligados uns aos outros, e influenciam as seleções não estão disponíveis na bibliografia ou em softwares. Elas são obtidas com a prática dos profissionais, e como os alunos não têm prática, não conseguem fazer estas associações. Assim para abreviar este período de aprendizagem, e melhorar a qualidade projetual esta ferramenta é de grande valia.

O próximo componente a ser selecionado é o meio de fixação da polia motora (3) com o eixo do motor (1), e da polia movida (5) com o eixo (7). Esta seleção é feita de forma análoga ao que foi feito para o motor e para a correia. No sistema especialista é acessado o grupo de união cubo-eixo para fazer a seleção deste componente. Aqui dentre as várias opções como anel de fixação, bucha cônica “Quick Detach, QD” ou “Taper Lock, TL” chavetas entre outros, o sistema opta pelos anéis expansivos.

Deve ser observado que a literatura para ensino de projetos e elementos de máquinas não mostra a maior parte das opções de componentes para esta função. Assim sendo dificilmente os alunos também terão conhecimento destas opções a não ser que usem uma ferramenta como a proposta.

A seleção do modelo e o dimensionamento do tamanho do anel pode ser feito através de um software de um dos fabricantes, e que encontra-se dentro da caixa de ferramentas independentes. Após isto estes anéis são inseridos na árvore dos componentes que farão parte do projeto. Como pode ser visto na figura 3 da árvore, quando se seleciona a pasta de atributos dos componentes podemos ver suas características como: possibilidade de regulagem radial e axial, tolerância de montagem no eixo h11, ausência de ferramenta para a desmontagem e outras. Também pode ser visto por qual motivo foi selecionado, qual o índice de ordenamento com relação às outras opções. Caso seja necessário selecionar outro meio de fixação já aparece em ordem o próximo mais capaz de satisfazer os requisitos do projeto.

Além disto, também pode ser visto uma das contribuições inéditas deste trabalho que são as influencias deste componente sobre os outros nos quais está montado. A pasta de influência ativa nos mostra quais os componentes são influenciados pelo anel (6), e que tipo de influência ele exerce. Aqui o aluno e/ou projetista pode ver quais os requisitos para a construção do eixo (7) são necessários quando ele usa o anel de fixação. Neste caso quais características são necessárias para o eixo e quais são dispensáveis, qual o tipo de tolerância poderá usar. Com isto já consegue visualizar o tipo de eixo que poderá usar, de acordo com os requisitos do projeto, as diretrizes e o que é necessário para o uso destes anéis.

A seleção do tipo de polias (3 e 5) está atrelada ao tipo de correias selecionados. Como será usado correias em V, obrigatoriamente as polias também terão os canais em V. O aplicativo das correias já definiu o tipo de perfil em V, o diâmetro das polias e número de canais. Assim para que se possa definir a polia pode ser usado um catálogo de um fabricante de polias que encontra-se dentro da caixa de ferramentas independentes.

Para a seleção das polias o sistema especialista mostra ao aluno que deve levar em conta a influencia dos anéis de fixação (2 e 6). Estes geram forças radiais consideráveis nas polias e a mesma deve ter material suficiente para suportar estes esforços. O modelo de anel também influencia na polia, pois existem modelos mais compactos no diâmetro. O diâmetro dos anéis também é definido em função dos diâmetros dos eixos. Em alguns casos as polias padrão com o diâmetro, número de canais e perfil não tem diâmetro de cubo suficiente para acomodar o anel selecionado. Daí pode-se fazer uma combinação entre diâmetros e números de canais diferentes até que se ache uma polia que possa acomodar o anel usado.

Como pode ser notado o sistema mostra ao aluno as relações de influencia que um componente gera no outro ao qual está conectado. Isto faz com que a seleção seja mais rápida e evita um processo de tentativa e erro na seleção dos componentes. Como os alunos não tem experiência muitas vezes olham apenas a influência de um componente, esquecendo se das outras, isto faz com que haja um retrabalho de seleção que pode ser evitado com a ferramenta proposta.

Para a seleção do eixo (7), o aluno acessa no sistema especialista o grupo de eixos. Então dentre as várias opções como barra laminada, trefilada, retificada, tubo mecânico, etc., o sistema seleciona a barra trefilada sem usinagem no diâmetro, apenas faceada e cortada no comprimento necessário. Esta seleção é feita com as informações do módulo de entrada e a influencia do anel de fixação. Isto é possível, pois para o anel de fixação sua influencia em precisão no eixo é uma tolerância h11, precisão esta que pode ser atendida pela barra redonda trefilada bem como os parâmetros de rugosidade. Quanto à influencia do anel de fixação no eixo com relação à necessidade de características para a fixação radial como chavetas, e para fixação axial como rebaixos e ou canais de anéis elásticos, a ferramenta aponta que não são necessários. O anel de fixação por si só já garante sua fixação não sendo necessárias características no eixo e/ou mais componentes como uma chaveta. Estas informações fazem parte dos atributos destes anéis e estão no banco de dados que a ferramenta acessa tanto para o processo de seleção como o processo de justificar a seleção.

Para a seleção do próximo componente que seriam os mancais, que não foram mostrados na figura 2, e nem na 3, novamente o aluno acessa no sistema especialista o grupo de mancalização. Neste ponto a ferramenta sabe que o eixo é uma barra redonda trefilada, e sua influência sobre a mancalização é um componente que possa ser montado em uma tolerância h11, além disto, há o requisito de operar ao tempo. A forma de montagem é em apoio. Então dentre as várias opções possíveis é selecionado um rolamento montado sobre uma bucha de montagem e enclausurado em uma caixa do tipo SN com retentores. Assim como o eixo teve influência na seleção desta mancalização, de forma recíproca, ela também tem sua influência sobre o eixo e também nos requisitos da estrutura onde é montada.

Desta maneira todos os componentes são selecionados e montados em uma árvore, se houver alguma mudança de algum requisito ou de alguma diretriz o aluno rapidamente pode fazer as adequações necessárias. Isto é possível, pois consegue-se ver todos os componentes e suas relações de influência uns sobre os outros. Outro aspecto é a possibilidade de testar diferentes configurações e decidir sobre a que melhor possa atender aos requisitos do projeto.

VI. CONCLUSÃO

A utilização de ferramentas computacionais como sistemas especialistas é uma tendência irreversível, pois têm evoluído continuamente a sua versatilidade, bem como a capacidade de simulação, modelagem, estruturação e habilidade de documentar o conhecimento. Isto faz com que a ferramenta seja responsável por estimular o desenvolvimento do raciocínio lógico indo de encontro ao que Piaget [15] prega que: “para a construção de um novo conhecimento o sujeito precisa vivenciar situações em que possa relacionar, comparar, diferenciar e integrar os conhecimentos. Assim estará construindo conhecimentos de longa duração, pois incorporou-os em situações práticas e experiências vivenciadas”.

Nesta linha este trabalho propõe o desenvolvimento uma ferramenta modular que abrange a seleção de componentes pertencentes a diferentes grupos de componentes e materiais. Além disto, auxilia o aluno e/ou projetista no projeto das peças que integram os componentes de forma a indicar a necessidade ou não de características nas peças a serem modeladas. Por isto automaticamente pode ser percebido o processo de fabricação a ser utilizado.

As ferramentas existentes trabalham a seleção de um componente específico pertencente a um mesmo grupo. Além disso, trabalham de uma forma isolada, não considerando o processo de seleção de todos os componentes de um produto como um todo com suas inter-relações e os efeitos das escolhas de um componente sobre o outro ao qual está relacionado. Em função disto a ferramenta proposta estrutura os componentes selecionados na forma de uma árvore. Ela dá uma ideia geral do que está sendo usado no projeto, porque foi selecionado, qual o critério e ênfase usados na seleção e como se relacionam e interagem os componentes.

Além disto, mostra a influência que cada componente exerce no outro ao qual se conecta. Isto facilita o processo de alteração ou estudo de viabilidade de alguma mudança no projeto, pois pode se simular novas configurações do projeto e visualizar sua viabilidade com rapidez. Isto torna

o processo de projeto e reprojeto mais rápido, diminui os custos, e o tempo de lançamento de um produto.

Outro aspecto desejável é que a ferramenta documenta o *know how* usado no desenvolvimento, isto serve para os novos alunos e/ou projetistas absorverem determinados conhecimentos sobre uma área específica mais rápido. Também diminui a possibilidade de erros de projetos, pois sempre pode ser visto as melhores opções de seleção para as diferentes situações baseadas em regras de boas práticas de projeto. Também podem ser consultados os projetos já desenvolvidos usando o seu conhecimento e diminuindo os tempos envolvidos.

A principal função desta ferramenta não é substituir o professor, mas sim auxiliá-lo no processo de ensino aprendizagem. Assim os alunos de forma mais autônoma podem entender porque foram selecionados determinados componentes e não outros, e qual a justificativa para dada seleção.

A disciplina de projetos de máquinas torna se cada vez mais complexa, pois exige do aluno um conhecimento multidisciplinar, que envolve elementos de máquinas, materiais, processos de fabricação entre outras disciplinas. Além disto com a evolução tecnológica, os novos produtos exigem também novos componentes, tornando o processo de seleção ainda mais complexo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dado pelo programa Interinstitucional DINTER IFSC-USP para a realização deste trabalho.

REFERENCIAS

- [1] Freire, P., Extensão ou comunicação? 2ª Edição 1975 Ed. Paz e Terra, Rio de Janeiro.
- [2] Vallim, M. B. R., Farines, J., Cury, J. E. R., Em direção à melhoria do ensino na área tecnológica: a experiência de uma disciplina de introdução à engenharia de controle e automação. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Automática – CBA 2000, Florianópolis – SC – Brasil.
- [3] Borges, H., Uma classificação sobre a utilização do computador pela escola. Revista Educação em Debate, 1999, N° 1, pp 135-138.
- [4] Projeto Integrado de Pesquisa FAPESP, Disponível em <http://www.lmc.ep.usp.br/pesquisas/TecEdu/> acesso 06/06/2013.
- [5] Horváth, I., Methodology for Expert System Based Support of Conceptual Machine Design Engineering Application Artificial Intelligence, 1991 Vol. 4, N° 6, pp 425-432.
- [6] Ahluwalia, J., Gupta, S. K., Agrawal, V. P., Computer-aided Optimum Selection of Roller Bearings. Computer Aided Design, 1993 Vol. 25, N° 8, pp 493-499 [http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485\(93\)90080-8](http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485(93)90080-8)
- [7] Gates DFPro, Disponível em http://www.gates.com/designflex/index.cfm?location_id=809, acesso em 06/06/2013.
- [8] Ferguson, G. L., Robison, M., Moynihan, G. P., Expert System for Selecting Speed Reduction Components for a Power Transmission. Journal of Manufacturing Systems, 1999, Vol. 18, N° 1, pp 66-74. [http://dx.doi.org/10.1016/S0278-6125\(99\)80013-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0278-6125(99)80013-2)
- [9] Tucho, R., Sierra, J.M., Fernandez, J.E., Vijande, R., Moris, G., Expert Tutoring System for Teaching Mechanical Engineering. Expert Systems with Applications, 2003 N° 24, pp 415–424. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [10] Poole, A. D. and Booker J. D., Design methodology and case studies in actuator selection. Mechanism and Machine Theory, 2011 No. 46, pp. 647-661. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2010.12.009>
- [11] Luo, D.B., Fridrici, V., Kapsab, Ph., Systematic Approach for the Selection of Tribological Coatings. 2011, Wear, N° 271, pp 2132–2143.

- [12] Actuator Selection Tool, (2013), Disponível em <http://www.actuatorweb.org/index.php?page=selection>, acesso em 06/06/2013.
- [13] Ashby M. F., Bréchet Y. J. M., Cebona D., Salvo L. Selection strategies for materials and processes. *Materials and Design*, 2004 N° 25, pp 51-67. [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-3069\(03\)00159-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-3069(03)00159-6)
- [14] Finguer, S., Dixon J. R., A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I Descriptive, Prescriptive, and Computer-Based Models of Design Processes. *Research in Engineering Design*. 1989 N° 1 pp. 51-67. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01580003>
- [15] Piaget J., *Problemas de Psicologia Genética*. 1978 Ed. Abril Cultural, São Paulo.

AUTORES

C. J. Weber é professor do IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina Campus Joinville onde leciona as disciplinas de Elementos de Máquinas, Projetos de Máquinas e CAD. Atualmente está cursando o doutorado na área de Projeto de Máquinas e Fabricação na USP – Universidade de São Paulo. Tem como interesses as áreas de projetos de máquinas, metodologias de projetos, ferramentas de auxílio e aprendizagem em projetos. Graduado em Engenharia Mecânica pela UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina (1992), Mestre em Engenharia Mecânica pela UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina (2001). Endereço: Instituto Federal de Santa Catarina Campus Joinville, Rua Pavão, 1337 Bairro Costa e Silva,

Joinville–SC, CEP 89220-200, Tel. +55 47 3431 5645, e-mail: claudiow@ifsc.edu.br

G. F. M. de Souza é professor associado da Universidade de São Paulo onde leciona as disciplinas de Análise de Confiabilidade e Projeto de Sistemas Mecânicos, Elementos de Máquinas, Projeto de Máquinas, Manutenção de Sistemas Mecânicos, e Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos. Têm como interesses as áreas de Análise de Confiabilidade de Sistemas Mecânicos, Confiabilidade de Processos de Manufatura, Metodologia de Projeto de Sistemas Mecânicos, Manutenção Centrada em Confiabilidade, Confiabilidade Estrutural, Confiabilidade Aplicada ao Projeto de Sistemas Mecânicos e Análise de Risco. Possui graduação em Engenharia Naval pela Universidade de São Paulo (1985), mestrado em Engenharia Naval e Oceânica pela Universidade de São Paulo (1990) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1994). Pós Doutorado pela University of Maryland System (2000). Endereço: USP - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. Av. Prof. Mello Moraes, 2231 Cidade Universitária, CEP 05508-900 - São Paulo, SP – Brasil, Tel. +55 11 3091 4897, Fax +55 11 3091-5461. E-mail: gfmsouza@usp.br.

Submitted 19 March 2014. Published as re-submitted by the authors 05 April 014