

Utilização de restrições fuzzy na construção de aplicativos para o suporte ao ambiente da Engenharia Simultânea

Rubens Aguiar Walker
rubens.walker@gmail.com
UNIGRARIO

Resumo: Este artigo descreve a utilização de um sistema especialista a base de restrições da distribuição fuzzy para o projeto e a manufatura em um ambiente de Engenharia Simultânea. No estágio inicial do desenvolvimento do projeto existe inconsistência e imprecisão inerente representada pelo custo, qualidade e dimensionamento das tolerâncias na manufatura. Usamos dados fuzzy para modelar a inconsistência e imprecisão e ajudar o projetista a desenvolver projetos sem a necessidade de valores precisos. Posteriormente os valores podem ficar mais precisos em um outro estágio do projeto e lidar com a imprecisão como parâmetros de manufatura que podem ser representativo no ambiente proposto. Neste momento podemos descrever esta imprecisão por meio de números fuzzy. A distribuição se compara na distribuição de um ambiente orientado ao processo dentro de uma base de restrições da distribuição fuzzy. As ferramentas são construídas com FUZCON (Fuzzy Constraint Processing System) e um banco de dados MS-Access. Está dividido em módulos que trocam informações pela restrição do banco de dados nos dados, estes são: concepção do projeto, detalhamento do projeto, planejamento do processo e manufatura. Todos os dados foram feitos na base de uma bomba hidráulica. Os dados de cada etapa do projeto são usadas para verificar a viabilidade do projeto e seus custos.

Palavras Chave: Lógica Fuzzy - Sistema Especialista - Concepção Projeto - Manufatura - Engenharia Simultânea

1. Introdução

O ambiente de projeto e manufatura é a principal ponte para a definição da qualidade e dos custos do processo. Diversas empresas buscam reduzir os custos, melhorar a qualidade e diminuir o tempo de desenvolvimento do projeto do produto. Para atingir tal objetivo, utilizam-se diversas ferramentas que facilitam a redução do ciclo, convertendo-o de sequencial a paralelo. Alguns aplicativos podem auxiliar uma pré-avaliação das etapas subseqüentes.

O objetivo deste artigo é apresentar o desenvolvimento de aplicativos usando uma ferramenta de Inteligência Artificial com restrições *fuzzy* que suportem diferentes etapas do projeto, planejamento do processo e manufatura da fabricação de componentes de uma bomba hidráulica.

Inicialmente, observou-se uma dificuldade em manipular dados indefinidos, como aqueles que representam os atributos “grande”, “pequeno”, “caro”, “barato”, “preciso”, e etc. São apenas variáveis linguísticas que definem um produto. E ainda na etapa de manufatura, a forma de representar um dispositivo aumenta a capacidade e provê uma nova gama de resultados. A lógica *fuzzy* permite abranger diferentes conjunto desses valores.

A construção dos aplicativos foi baseada em sistemas baseados em conhecimento ou *Knowledge-Based Systems*. Para isto serão apresentados os modelos clássicos utilizados na estruturação de restrições. Os aplicativos são a combinação da representação do conhecimento com as restrições *fuzzy*, sempre baseados em problemas ou necessidades levantados dentro da engenharia de uma empresa.

A estrutura deste artigo se define da seguinte forma:

- Apresentação do Ambiente de Engenharia Simultânea, que representa o propósito dos aplicativos;
- Utilização da Inteligência Artificial para a construção de sistemas que auxiliem no processo de tomada de decisão;
- Ferramentas e construção das mesmas com a representação das inconsistências e imprecisões através do uso de restrições de dados *fuzzy*;
- Apresentação dos aplicativos;
- Exemplo da sua utilização.

2. Ambiente da Engenharia Simultânea

A chave para a implementação da Engenharia Simultânea, segundo Naveiro e O’Gray (1997), é alcançar a integração do conhecimento prático da empresa na atividade de projetar um produto. A Engenharia Simultânea apresentou resultados na diminuição dos custos, do ciclo de desenvolvimento do projeto, no aumento da qualidade e na flexibilidade dos produtos. As suas abordagens básicas são o “grupo de projeto e sistemas computacionais”. Estas atividades são interativas, representadas pelas perspectivas individuais e coletivas do projeto.

A principal técnica gerencial em uso adota a superposição de tarefas, executando ao mesmo tempo ou antecipando atividades subseqüentes que seriam realizadas de forma sequencial. A utilização de equipes multifuncionais

para integração das atividades é um aspecto difundido na Engenharia Simultânea, mas algumas dificuldades podem ser encontradas, como a tomada de decisão coletiva e o gerenciamento de um grupo de especialistas. Um outro aspecto é a participação dos fornecedores e terceiros como parceiros no desenvolvimento do projeto, o que pode acarretar diminuição de custos.

Para a utilização do computador no auxílio a comunicação de times ou equipes, a organização deve garantir um espaço físico para a troca de informações de forma a encontrar conjuntos de soluções, sendo que, algumas vezes, pode utilizar a tecnologia para abranger esta atividade através da teleconferência. Outras formas de comunicação abrangem uma gama de atividades em grupo, como o *workflow* e o *workgroup manager* ou o computador com suporte ao trabalho cooperativo que, através de um ambiente *Web*, auxilia na troca de informações entre pessoas, garantindo o fluxo da mesma (Scheer, 1998).

A abordagem computacional, na perspectiva individual do projeto, engloba um conjunto de ferramentas que assistem ao projetista na relação com os vários ambientes de especializações técnicas com os quais ele tem lidar no desenvolvimento do produto. O auxílio computacional serve tanto como elemento para viabilizar a representação gráfica de características complexas, como forma de registro de idéias para concepção de novos projetos.

Alguns sistemas computacionais de apoio ao projeto utilizam representações do conhecimento, tais como as características geométricas, materiais, procedimentos, regras, e etc. que moldam o produto. Os sistemas desenvolvidos para aplicação do conhecimento, conhecidos por *Knowledge-Based Systems* (KBS), representam sistemas especialistas desenvolvidos a partir de aplicações inteligência artificial (IA).

A aplicação de sistemas especialistas na engenharia possibilita uma integração e validação das informações que evita o reprocessamento. Auxilia também no desenvolvimento do projeto em paralelo, caracterizado na Engenharia Simultânea (Syan & Menon, 1994). Os sistemas de auxílio ao projeto abrangem: restrições do projeto, qualquer cálculo necessário, quando e como usar os dados e padronizar componentes de catálogos, quando e como usar programas externos e bancos de dados, restrições de manufatura e quaisquer ajustes ou requerimentos. A utilização destes sistemas facilita a coerência das informações e auxilia o aprendizado para novos funcionários.

3. Aplicativos usando inteligência artificial (IA)

A inteligência artificial (IA) representa uma forma de tornar o computador "inteligente", capaz de "pensar" (BENCH-CAPON, 1990). Apesar deste ponto de vista, a IA não representa uma competição de inteligência entre o homem e a máquina. O limite da memória humana é uma restrição ao desenvolvimento de qualquer projeto (NAVEIRO & BORGES, 1997), justificando a utilização de sistemas IA para auxílio ao projeto com capacidade de consultas e validações de informações e dados.

Um sistema especialista envolvendo IA consiste na representação do conhecimento em um sistema heurístico ou em um banco de dados. Este

sistema apresenta a declaração do conhecimento relevante com restrições das regras do problema, de forma a obter resultado em sua manipulação. A definição do problema é refletida no domínio do conhecimento para representar uma solução. As restrições do objeto levam ao conjunto de soluções definidas no domínio de informações (TAYLOR, 1988).

Pesquisadores da IA desenvolveram sistemas especialistas para programadores de foram a representar uma ferramenta de auxílio ao desenvolvimento. Dentro desta linha pode-se usar a IA para auxiliar qualquer desenvolvimento de projeto, necessitado apenas de domínio e regras para manipular os dados.

Diversos problemas podem ser representados por uma rede de restrições. Estas informações apresentam um caminho lógico das informações para soluções de problemas. Um exemplo significativo é a resolução de um jogo de xadrez (RICH & KNIGHT, 1991), pois este é caracterizado por: definição do problema, análise, isolamento e representação do conhecimento das tarefas para solução, escolha das melhores técnicas para a solução e sua aplicação, captando conhecimentos específicos para resolução do problema. Quanto mais claras e simples forem as informações descritas, menor será o trabalho de programação e maior a eficiência do programa.

A representação dos tipos de conhecimento é a conexão de formas de sistemas IA com as atividades representadas no ambiente. Os tipos de conhecimentos são definidos como (MILES & MOORE, 1994): *declarativo*, exemplificado como qualquer procedimento possível de ser descrito (fórmulas), ou *procedimental (ou tácito)*, adquirido pela experiência de difícil representação em linguagem formal (descrição da atividade de dirigir um carro em uma cidade, por ex.). As formas são representadas por sistemas sintáticos, regras simples e uniformes para manipular o conhecimento, e sistemas semânticos, não uniformes, com cada informação contendo uma regra (BENCH-CAPON, 1994; RICH, & KNIGHT, 1991).

Os sistemas KBS representam sistemas especialistas desenvolvidos a partir de aplicações IA. Existe três formas de representação do conhecimento em sistemas especialistas (WATRMAN, 1986):

- Representação do conhecimento utilizando regras: o caminho formal para representação de recomendações, diretrizes e estratégias. A representação desta é gerada na avaliação de fatos por regras para apresentar uma resposta (ex. *IF* céu escuro, *THEN* noite);
- Representação do conhecimento usando redes semânticas: consiste em pontos, definidos por nódulos, conectados por linhas chamadas arcos, que descrevem as relações entre os nódulos. Os arcos são freqüentemente usados para representação hierárquica de agentes, objetos ou recipientes;
- Representação do conhecimento usando estruturas: sua organização é semelhante da rede semântica, mas é composta de nódulos e relações organizadas hierarquicamente. Cada nódulo é definido como uma coleção de atributos e valores contendo procedimentos, que são executados quando há mudança de informação.

Alguns sistemas KBS podem guardar soluções ou a representação do conhecimento, caracterizando soluções heurísticas (MILES & MOORE, 1994). Este método simplifica mudanças, pois aproveita os resultados para gerar soluções similares. A aplicação de sistemas KBS na engenharia representa uma integração e validação das informações de forma a evitar o reprocessamento. Esta aplicação auxilia o desenvolvimento de projetos em paralelo, caracterizados na Engenharia Simultânea (SYAN & MENON, 1994).

4. Ferramentas

O processo de projetar envolve variáveis imprecisas no ambiente de conhecimento. Vários sistemas podem representar este conhecimento mas, em alguns casos, pode-se complicar com o modelo ou o algoritmo, representando imprecisões ou inconsistências do processo de projetar (YOUNG, PIERRONE, EVERSHEIM, ROGGATZ, 1995):

- Relacionamento: parâmetros são relacionados e definidos imprecisos como: “*a altura é aproximadamente 50 mm*”;
- Dados: valores de parâmetros que não são explicitamente conhecidos, mas representados por uma gama de valores aplicados a uma constante ou uma aproximação do valor;
- Lingüística: linguagem natural que inclui descrições qualitativas como “baixo”, “alto”, “bom”, “ruim”, “rápido”, “sensível”, “inexpressivo”, etc. Expressões tipicamente usadas em requerimentos do mercado, da produção, dos custos do produto e do preço de vendas;
- Inconsistência: o conflito de objetivos entre várias áreas no ciclo de desenvolvimento do produto lida com inconsistências inerentes ao modelo. Um exemplo disso é a necessidade de diminuição do tempo de lançamento *versus* a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias.

Estes problemas podem ser suavizados com a utilização da tecnologia *fuzzy* (YOUNG, GIACHETTI, RESS, 1996), que abrange uma capacidade de representar inconsistências e imprecisões em seu modelo. A teoria *fuzzy* é uma simplificação da teoria clássica normal (Lógica Clássica) dos conjuntos. Esta última é caracterizada por conjuntos de dados nítidos (*crisp*) ou verdadeiros/falsos (0 ou 1, somente). Já o conjunto de valores *fuzzy* representam valores ambíguos e não definidos (0 ou 0,23 ou 0,5 ou 0,8 ou 1, etc.).

O propósito da lógica *fuzzy* é organizar o conhecimento, obtendo sentenças declarativas. Os dois tipos de estruturas lógicas podem ser representados por indutivos e dedutivos, representando valores verdadeiros ou falsos, definidos como valores *crisp*. Exemplos podem ser representados como: “*a noite é escura, o cachorro tem quatro patas*”, etc. Alguns valores não possuem precisão do tipo certo/errado, mas representam resultados significativos em uma tomada de decisão. A imprecisão ou inconsistência pode desprezar valores significativos e, em alguns casos, não prover solução para problemas triviais, como abaixar a cabeça para passar por debaixo de um obstáculo. Estes exemplos podem conter um conjunto de soluções não

desprezíveis na lógica fuzzy (KLIR, 1997).

A figura 1, representa o conjunto de valores *fuzzy*. O valor de $\alpha= 1$, representa um único, mas para α entre 0 e 1, aumentamos os conjuntos de valores válidos $[a',c']$ ou $[a,c]$.

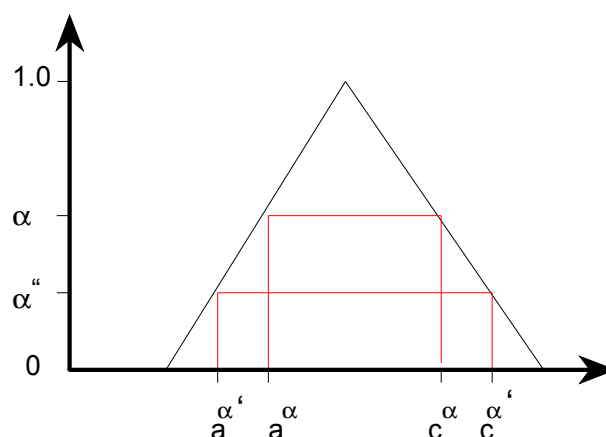


Figura 1: Conjunto *fuzzy* (YOUNG 1996)

Com a finalidade de atender às necessidades de modelos imprecisos ou inconsistentes foi criado o sistema FUZCON, que significa “*Fuzzy Constraint Processing System*”, ou Sistema de Processamento de Conjuntos Fuzzy. Este sistema foi criado em Visual Prolog, e gera outros sistemas que podem manipular conjuntos *fuzzy* ou *crisp*.

FUZCON, segundo YOUNG (1996), é a quinta geração de um sistema Interativo de Modelagem de Restrições, consistindo em módulos de Interface do Usuário, Editor do Programa, Análise, Mecanismo de Restrições, Sistema de Manutenção do valor Verdade e Interface com banco de dados externo.

Os dados *fuzzy* podem ser representados em um banco de dados como texto. O FUZCON lê estes dados via ODBC do *Windows*. A propagação dos valores permite uma comparação destes com variáveis reais ou inteiras.

Para facilitar alguns cálculos e melhorar a representação gráfica para o usuário final, o FUZCON se conecta via DDE com qualquer ferramenta de programação. Neste caso foi utilizado o *Delphi*. As restrições e ligações dos domínios e objetos são feitos no próprio FUZCON.

5. Solução

A empresa pesquisada apresentava problemas na engenharia, que se identificavam com as necessidades de integração apresentadas pela Engenharia Simultânea, como:

- Ausência de times multifuncionais;
- Ausência de integração entre as fases de projeto e a manufatura;
- Ausência de integração entre os sistemas de CAD 3D, CAD 2D, CAPP, CN;
- Ausência de um sistema de análise para custos e viabilidade em mudanças de parâmetros nas fases do projeto e da manufatura;

- Nenhuma documentação formal do conhecimento;
- Nenhuma padronização completa das informações para impulsionar a Tecnologia de Grupo;
- Nenhuma integração com uma instituição de P & D.

Foram definidas quatro metas para discussão entre pesquisadores e profissionais da indústria:

1. Integração das informações entre projeto preliminar, projeto detalhado, planejamento do processo e manufatura;
2. Elaboração de um sistema que auxilie a análise de custos de mudanças no projeto, processo e manufatura;
3. Padronização de dados;
4. Negociação de informações sobre custos na empresa e entre empresas.

Para atender essas necessidades foram desenvolvidos aplicativos em quatro módulos, originalmente denominados, “*Conceptual Design*” ou concepção do projeto, “*Embodiment Design*” ou projeto preliminar, “*Process Planning*” ou planejamento do processo e “*Manufacturing*” ou manufatura.

Concepção do projeto

Este primeiro módulo representa a concepção do projeto, responsável pela representação genérica do produto, que provê uma idéia das dimensões da geometria, da qualidade e do custo.

Nesta etapa, o projetista tem uma idéia do que vai fazer. Contudo as informações não são suficientes para suprir o conjunto de parâmetros que a manufatura requisita. Entretanto, podem representar uma aproximação na aferição de custo e qualidade esperada.

Primeiramente, o projetista deve ter uma idéia de que componente ele que fazer: carcaça superior, carcaça inferior, luva, eixo, etc. Nesta etapa, ele não tem informações claras dos parâmetros geométricos, mas tem noção das proporções de pequeno, médio, grande, enorme ou padrão.

Com estes dados ele pode dar um grau para a qualidade (muito alta, alta, média e baixa) e ao custo (pequeno, médio, grande e enorme). Estas escalas de valor estão associadas a números *fuzzy* no banco de dados. Desta forma, o projetista pode comparar um conjunto de valores dentro de diferentes valores verdade de cada aplicativo. alguns casos o projetista pode assinalar ou escolher os dados, de forma que possa visualizar as possíveis soluções.

Projeto Preliminar

Este aplicativo apresenta o conjunto de restrições encontradas no projeto preliminar. Inicia-se com a propagação dos valores dos objetos do aplicativo “Concepção do Projeto”. Alguns objetos acionam restrições como a própria escolha dos componentes. Aqui os custos não restringem nenhum domínio, pois o projetista está detalhando a composição geométrica dos

componentes, definindo suas *design features* e *manufacturing features*. As *design features* representam as principais características geométricas, tais como: diâmetro, comprimento e largura. Outras *features* podem ser adicionadas no futuro com o objetivo de uma interação com um sistema CAD. As *manufacturing features* são escolhidas pelo projetista e restringem o processo e a manufatura. Estes objetos são essenciais para a propagação dos valores nos consecutivos aplicativos do ambiente proposto.

As restrições na escolha das dimensões e da qualidade abrangem os domínios das tabelas de proporção da geometria, do acabamento, das tolerâncias e da centricidade, a todas elas atribuído um valor *fuzzy*, apesar da propagação destes valores ser por restrições e identificadores. Neste caso o erro da aproximação dos números *fuzzy* não se propagam [Young, R. & Giachetti, R., 1997], evitando desvios nos resultados.

No intuito de melhorar a eficiência e evitar a criação de vários objetos que representem as *design* e *manufacturing features*, foi feita uma iteração utilizando a interface com usuário, que pode visualizar o mesmo objeto várias vezes. Desta forma simplifica-se o procedimento e, ao mesmo tempo, não se restringe o aplicativo pelo número de objetos.

As soluções geradas serão fundamentais para a comparação dos valores com as restrições de fabricação, representadas no módulo de manufatura e propagada para este. Também consegue-se optar o planejamento do processo do componente pela propagação das restrições.

Planejamento do processo

Este módulo descreve os processos de fabricação do componente escolhido, fornecendo os tempos gastos por cada etapa do processo. Estes dados serão usados para o cálculo do custo de fabricação do componente, podendo ser representado por números *fuzzy*. Para reconhecer o processo de fabricação, os objetos das *manufacturing features* são propagados na forma de identificadores, abrangendo a operação e seu respectivo tempo. Em algumas ocasiões o processo pode escolher ou negociar alternativas, comparando opções de produção para reduzir os custos.

Manufatura

Representado por um banco de dados das máquinas e suas respectivas ferramentas. Neste aplicativo compara-se geometria, tolerância, concentricidade, acabamento e calcula-se o custo de cada operação para retornar estes valores às etapas do projeto preliminar e concepção. O cálculo é pela multiplicação do tempo com o custo por hora de máquina e, em alguns casos especiais, soma-se o custo da ferramenta. Estes custos são restringidos nas etapas iniciais para permitir a execução de um processo “barato”, “caro”, “muito caro”, etc. Os dados das máquinas são representados por valores *fuzzy*, para manipular a imprecisão.

Exemplo

O projetista está checando a possibilidade de fabricar uma carcaça. Para

isso ele deve escolher o componente, a proporção das dimensões (grande), custo (médio) e, automaticamente, a qualidade pode ser propagada se houver uma única solução. No caso contrário ela deverá ser assinalada (alta).

Em seguida os são representados os parâmetros preliminares do projeto, como dados da geometria que podem ser assinalados ou escolhidos dentro de uma escala de “muito grande”, “grande”, “médio”, “pequeno”. Este valores serão abrangidos para a escolha das máquinas. Ao mesmo tempo define-se os detalhes da geometria, como rasgos de chaveta, chanfros, etc., sem precisar de suas dimensões, pois a escala das primeiras já define o conjunto de máquinas necessárias. Especifica-se também o material, o acabamento, a tolerância e a contrencidade do componente, que influenciam diretamente nas restrições das máquinas e no processo. Caso uma tolerância específica for um pouco acima do valor, o sistema pode aceitar o respectivo resultado caso esteja entre a moda e o máximo, restringidos pelo valor verdade ou de α .

Com estes dados pode-se definir o processo. Quando houver mais de um, pode-se compara entre os custos de execução. Por fim é feita a definição das máquinas e das ferramentas utilizadas para fabricar o componente. Nas figuras 2 e 3 podemos visualizar a representação do aplicativo “*Conceptual Design*” para a carcaça superior de uma bomba hidráulica.

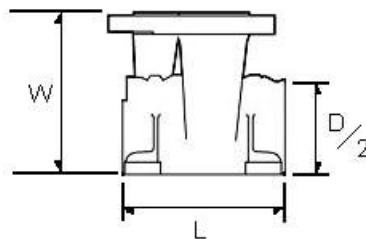


Figura 2, Carcaça Superior.

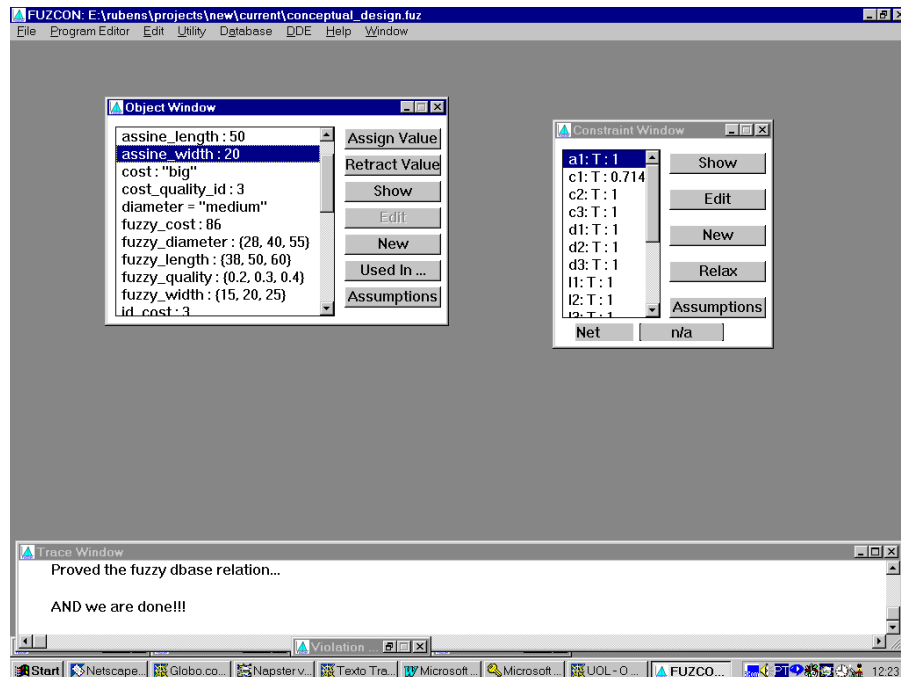


Figura 3, aplicativo do Conceptual Design.

Conclusão

O desenvolvimento de aplicativos usando IA com restrições *fuzzy* possibilitou:

1. Consultas da viabilidade da manufatura nas diversas etapas do projeto;
2. Representação das inconsistências e imprecisões do ambiente do projeto e da manufatura, como: dimensões, custo, qualidade, tolerância, etc.;
3. Negociação de melhores resultados representados pelos custos do processo de fabricação;
4. Geração de soluções alternativas para o projeto.

Estes aplicativos são um requisito para o desenvolvimento de uma Tese de Doutorado e não tem finalidade comercial.

Bibliografia

- BENCH-CAPON, T.J.M., *“Knowledge Representation, An Approach to Artificial Intelligence”*, Ed Academic Press, London, 1990, 220p.
- KLIR, G.J. & CLAIR U. & YUAN, B., *“Fuzzy Set Theory: Foundations and Applications”*, Ed. Prentice Hall PTR, EUA, 1997, 245p.
- MILES, J. & MOORE, C., *“Practical Knowledge based System in Conceptual Design”*, Springer-Verlag, Londres, 1994, 243 p.
- NAVEIRO, R & BORGES, M, “Projetação e Formas de Representação do Projeto”, Revista Graphica, 1997.
- NAVEIRO, R. M. & O’GRAY, P, *“A Concurrent Engineering Approach for Design Assistance of Casting Parts”*, ICED 95, Praha, August 22-24, 1995.

- RICH, E. & KNIGHT, K., "Inteligência Artificial", McGow-Hill, 2^a.ed., São Paulo, Brasil, 1991,722p.
- SCHEER, A, "ARIS, *House of Business Engineering*", 1998.
- SYAN,C.S. & MENON, U., "Concurrent Engineering, *Concepts, implamentation and pratice*", ed. Chapman & Hall, 1994.
- TAYLOR, WILLIAM A., "What Every Engineer Should Know About Artificial Intelligence", The MIT Press, Cambridge, USA, 330p, 1988.
- WATERMAN, DONALD A., "A Guide to Expert Systems", Ed. Addison-Wesley, EUA, 1986, 419p.
- YOUNG, R. E. & GIACHETTI, R. E., "Analysis of the error in the standard approximation used for multiplication of triangular and trapezoidal fuzzy number and development of a new approximation" Fuzzy Set Systems, Elsevier Science, 1997, pp 1-13.
- YOUNG, R. E. & PERRONE, G. & EVERSHEIM, W. & ROGGATZ, A., "Fuzzy Constraint Satisfaction for Simultaneous Engineering", Production Engineering", Vol II/2, 1995, pp181-184.
- YOUNG, R. E. & RESS, D. A. & GIACHETTI, R. E., "FUZCON v. 1.1, User's Manual", Dpto. Ind. Engineering, NCSU, Raleigh, 1996, 33p.