

Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos

ISSN - 0103-2577

**Desenvolvimento de um sistema baseado em
conhecimento para configuração de
tornos mecânicos¹**

**SOLANGE REZENDE DE OLIVEIRA
ANA CLÁUDIA NOIVO ARANTES
CHANDLER WELLINGTON CAULKINS
MAURI APARECIDO DE OLIVEIRA**

Nº 34

RELATÓRIOS TÉCNICOS DO ICMSC

São Carlos
jun./1995

Desenvolvimento de um Sistema Baseado em Conhecimento para Configuração de Tornos Mecânicos¹

**Solange Rezende de Oliveira
Ana Cláudia Noivo Arantes
Chandler Wellington Caulkins
Mauri Aparecido de Oliveira**

Universidade de São Paulo / ILTC
Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos
Departamento de Computação e Estatística
Caixa Postal 668, 13560-970 - São Carlos - SP

e-mail: solange@icmsc.sc.usp.br

Junho de 1995

¹Trabalho realizado com o auxílio do CNPq e FAPESP

Conteúdo

1. Introdução.....	3
2. Alguns Conceitos de Inteligência Artificial.....	5
2.1. Sistemas Baseados em Conhecimento.....	6
2.1.1. Estrutura Básica de um SBC.....	7
2.1.2. Domínios de Conhecimento.....	8
2.1.3. Etapas de Desenvolvimento de um SBC.....	9
3. Descrição do Projeto de Configuração.....	11
3.1. Sistema Baseado em Conhecimento para Configuração de Produtos.....	11
3.1.1. Aquisição de Conhecimento.....	11
3.1.2. Estruturação e Validação do Conhecimento.....	13
3.1.2.1. Variáveis dos Componentes de Tornos Mecânicos.....	13
3.1.2.2. Modelagem de Dados.....	17
3.1.2.3. Modelagem do Conhecimento.....	20
3.2. Implementação do Sistema.....	23
4. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros.....	25
5. Referências Bibliográficas.....	26

Índice de Figuras

Figura 1 - Áreas Afins e Subáreas de Inteligência Artificial.....	5
Figura 2 - A Inteligência Artificial, os Sistemas Baseados em Conhecimento e os Sistemas Especialistas.....	6
Figura 3 - Estrutura básica de um Sistema Baseado em Conhecimento.....	7
Figura 4 - Etapas de Desenvolvimento de um SBC.....	9
Figura 5 - Exemplo de Árvore de Produto.....	15
Figura 6 - Modelo Entidade-Relacionamento para o Domínio de Tornos.....	16
Figura 7 - Representação Gráfica de Alguns Conceitos de Orientação a Ojetos.....	21
Figura 8 - Estrutura do SBC para Configuração de Tornos.....	25

1. Introdução

Uma das grandes tendências dos mercados nacional e internacional é que o consumidor está aumentando o seu grau de exigência com relação às empresas, dando preferência a quem possa fornecer produtos e serviços com qualidade, rapidez e a preços baixos. A nível nacional, essa situação em muito foi favorecida pela abertura do mercado, que permitiu a entrada de produtos estrangeiros, muitas vezes superiores em termos de qualidade e inovação e, mais importante ainda, a preços bastante reduzidos em relação aos produtos nacionais.

Diante desta situação, muitas empresas brasileiras iniciaram uma corrida em busca de medidas que lhes permitissem alcançar ao máximo o nível de desenvolvimento das empresas internacionais, tentando assim assegurar uma fatia expressiva do mercado nacional, e até mesmo lançar seus produtos no exterior.

Para que este objetivo seja alcançado, em geral há a necessidade de uma reestruturação interna da empresa em diversos níveis. Este trabalho é realizado a partir de uma avaliação da empresa e de um planejamento estratégico de como atingir e eliminar todas as suas deficiências. Muitas vezes esta reestruturação implica em profundas mudanças, começando pelos níveis administrativos até a cultura do pessoal do chão de fábrica, passando pelos métodos produtivos utilizados pela empresa.

O processo produtivo deve ser modificado de modo a tornar-se o mais eficiente e flexível possível, favorecendo a obtenção de produtos mais competitivos. A atividade produtiva é normalmente realizada de duas formas distintas: produção em série ou produção por encomenda.

A produção em série é realizada em indústrias cujo produto é feito em grandes quantidades, não havendo modificações no projeto básico que, uma vez estabelecido, projetado e aprovado, passa a ser fabricado em altas séries. No caso de produção por encomenda, normalmente a indústria possui um produto básico que, apesar de constante, admite variações no projeto para aplicação em casos específicos [1].

Na produção por encomenda cada produto é tratado de forma particular. As exigências do cliente muitas vezes se referem a um produto único, o qual requer atenção especial nas fases de idealização, projeto e confecção. Na fase de projeto deve-se atender às especificações do cliente, e fornecer todas as informações necessárias à produção. Parte destas informações consistem na *configuração do produto*.

Pode-se definir a atividade de configuração como sendo a aplicação de um conjunto de estratégias que permitem determinar os componentes adequados à confecção de um produto, a partir de especificações fornecidas previamente. Em se tratando de um produto sob encomenda, esta atividade pode ser bastante trabalhosa, além de demorada, já que entre diversas possibilidades de configuração, deve-se determinar aquela adequada ao pedido do cliente.

Neste relatório é mostrada uma metodologia de desenvolvimento de sistemas que automatizem o processo de configuração de produto. Essa metodologia é aplicada ao domínio de tornos mecânicos, dando origem a um sistema de configuração específico. Este documento descreve todas as etapas de desenvolvimento desta aplicação.

Para a construção do sistema foram utilizadas algumas técnicas de Inteligência Artificial, as quais se mostram bastante eficazes na satisfação de certos requisitos de um sistema de configuração de produto. Estas técnicas, bem como os conceitos envolvidos, são apresentados a seguir.

2. Alguns conceitos de Inteligência Artificial

Pode-se definir a Inteligência Artificial como [2]:

“O estudo de como fazer os computadores realizarem tarefas nas quais, até agora, o ser humano tem um melhor desempenho que a máquina.”

Atualmente, um dos grandes desafios de IA reside no domínio da tecnologia do processamento do conhecimento através da criação de grandes sistemas, capazes de manipular conceitos, fatos, analogias, relações e modelos, com capacidade para interagir naturalmente com outros sistemas inteligentes (homens e máquinas), numa relação amigável, cada um deles executando as tarefas que melhor dominar. A idéia geral é que estes sistemas sejam elementos ampliadores da capacidade cognitiva do homem em todos os domínios de sua atividade [3]. Como os objetivos de IA são bastante abrangentes, os pesquisadores contam com o apoio do conhecimento de outras áreas de pesquisa com atividades afins, tais como: Lógica Matemática, Engenharia, Biologia, Psicologia, Linguística, entre outras, surgindo desta forma várias subáreas de pesquisa, tais como: Sistemas Baseados em Conhecimento, Planejamento, Redes Neurais, Processamento de Linguagem Natural, etc., como ilustra a figura 1 [4].

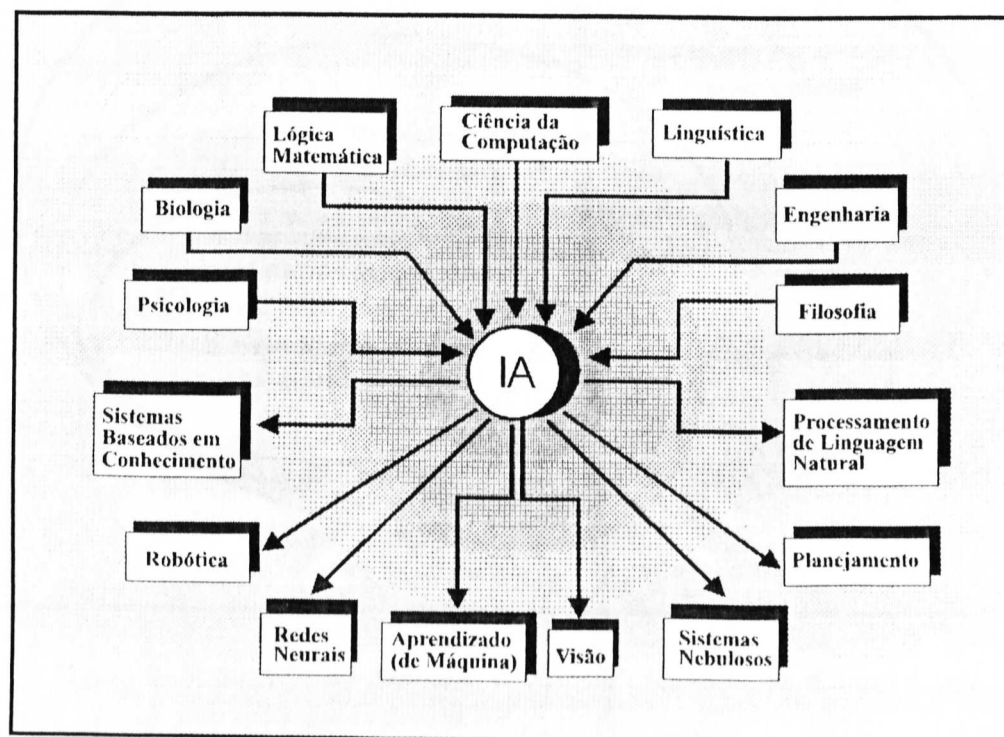


Figura 1 - Áreas Afins e Subáreas de Inteligência Artificial

Os Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC) consistem na subárea de interesse na elaboração deste projeto, e sendo assim são tratados com maiores detalhes na próxima seção.

2.1. Sistemas Baseados em Conhecimento

Os Sistemas Baseados em Conhecimento - SBC - são de grande interesse nas pesquisas em Inteligência Artificial. Tais sistemas são programas de computador que resolvem ou ajudam a resolver problemas específicos, os quais geralmente requerem inteligência humana na sua solução [5]. Quando estes sistemas tratam domínios bastante restritos, atingindo um alto grau de especialidade, são chamados de Sistemas Especialistas. Na figura 2, podemos localizar os Sistemas Especialistas e os Sistemas Baseados em Conhecimento na área de Inteligência Artificial.

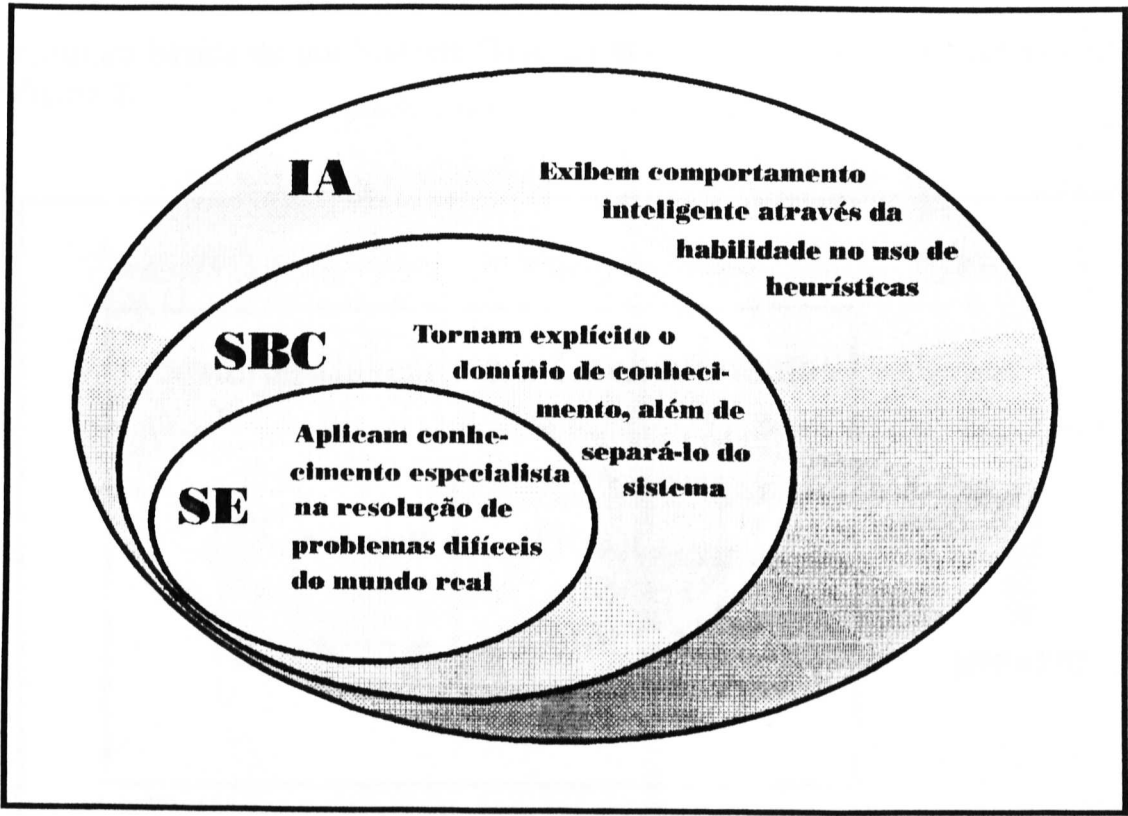


Figura 2 - A Inteligência Artificial, os Sistemas Baseados em Conhecimento e os Sistemas Especialistas

2.1.1. Estrutura Básica de um SBC

O SBC pode ser dividido em três módulos principais [4]:

- *Base de Conhecimento - BC*: contém a modelagem do conhecimento específico do domínio de aplicação. Isto inclui asserções sobre o domínio de conhecimento, regras que descrevem relações neste domínio e, em alguns casos, heurísticas e métodos de resolução de problemas;
- *Motor de Inferência (MI)*: é responsável pelo processamento do conhecimento da BC, usando alguma linha de raciocínio. Contém as estratégias de inferência e controle;
- *Base de Dados (BD)*: consiste na área de trabalho do sistema, armazenando dados e conclusões intermediárias por ele obtidos.

A estrutura básica de um Sistema Baseado em Conhecimento pode ser visualizada na figura 3.

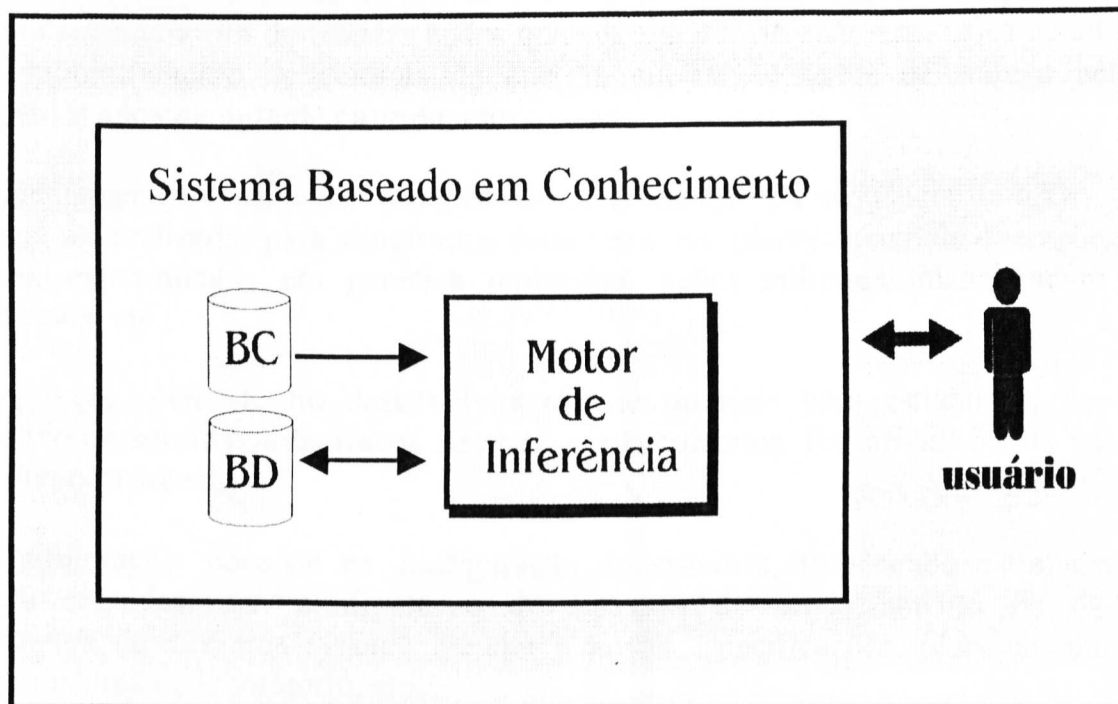


Figura 3 - Estrutura básica de um Sistema Baseado em Conhecimento

2.1.2. Domínios de Conhecimento

O conhecimento e o processo de resolução de problemas são os pontos centrais no desenvolvimento de um SBC. Quanto ao conhecimento, verifica-se que existem domínios cujos problemas não são adequadamente solucionados através de SBCs. Por isso, uma análise do domínio e das características dos problemas a serem abordados é essencial quando se pretende desenvolver um sistema deste tipo.

Existe uma grande variedade de domínios de conhecimento comumente tratados em SBCs. Entre eles, podemos citar [4]:

- Interpretação: consiste na análise de dados para determinação de seu significado. O problema central desta classe é que, frequentemente, esses dados possuem ruído. Ex: espectroscopia de massa, processamento de imagens, reconhecimento de fala, análise de circuitos elétricos, etc.;
- Diagnose: consiste no processo de determinação de falhas em um sistema, dado um conjunto de sintomas. Ex: a maioria das aplicações médicas relativas à determinação de doenças em seres vivos, determinação de falhas de máquinas, etc.;
- Monitoramento: consiste no processo de observação contínua do comportamento de um sistema a fim de realizar ações quando alguma situação específica acontece. Ex: monitoramento de centrais de energia nuclear, controle de tráfego aéreo, pacientes após ou durante cirurgia, etc.;
- Planejamento: consiste no processo de determinação da sequência de ações que devem ser realizadas para atingir uma dada meta. Ex: planejamento de operações de robôs, experimentos em genética molecular, ações militares, planejamento de processos, etc.;
- Instrução: consiste no desenvolvimento de tutoriais para estudantes, com o objetivo de suprir pontos fracos nos seus conhecimentos. Ex: atividades de ensino em diversas áreas;
- Configuração: consiste na configuração de sistemas, fornecendo estratégias a serem seguidas. Ex: configuração de sistemas de processamento de dados, reprojeto de circuitos visando atender a novas especificações, planejamento de experimentos de laboratório, etc...

2.1.3. Etapas de Desenvolvimento de um SBC

O desenvolvimento de um Sistema Baseado em Conhecimento envolve diversas etapas, como mostra a figura 4:

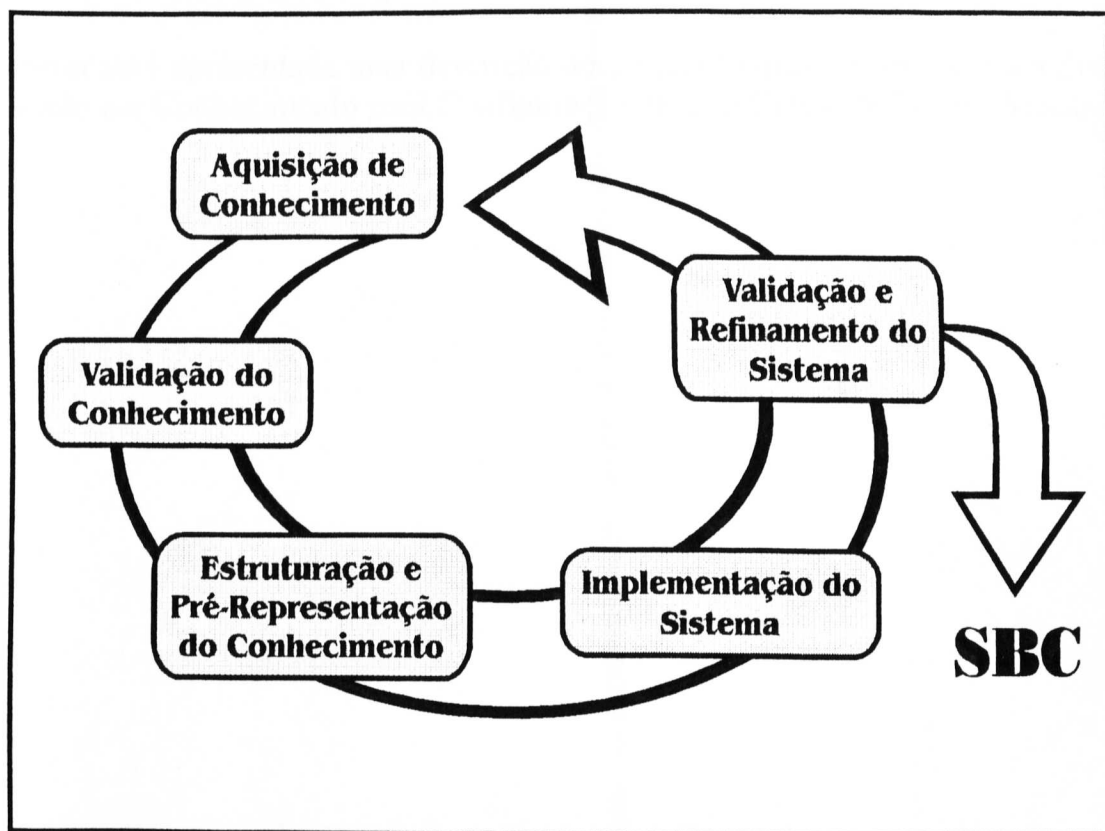


Figura 4 - Etapas de Desenvolvimento de um SBC

- *Aquisição de conhecimento*: consiste na extração do conhecimento do especialista no domínio, bem como pesquisa em documentos, livros, handbooks, etc.;
- *Validação*: trata-se da validação do conhecimento com especialistas;
- *Estruturação e representação do conhecimento*: consiste em estruturar o conhecimento obtido na forma de regras, redes semânticas, frames, e outras formas de representação;

- *Implementação do sistema*: consiste na representação do conhecimento no computador, em linguagens de programação ou através de *shells* ou ferramentas que auxiliam a construção de SBCs;
- *Validação e Refinamento do sistema*: consiste em submeter o sistema a testes reais de forma a avaliar seu desempenho.

A seguir será apresentada uma descrição do projeto, o qual consiste em um Sistema Baseado em Conhecimento para Configuração de uma Classe de Tornos Mecânicos.

3. Descrição do Projeto de Configuração

A fim de testar a metodologia proposta neste trabalho, houve a idéia de construir um sistema de configuração que tratasse de um problema real vivido por uma empresa. Algumas dificuldades foram encontradas nesta fase, já que se tornava necessário não somente encontrar uma empresa que apresentasse as características desejadas, mas também que estivesse disposta a trabalhar em parceria neste projeto, fornecendo informações até mesmo confidenciais a respeito dos processos envolvidos nas atividades de produção.

Após a escolha da empresa, foi necessário colher e organizar os dados de interesse, tendo assim condições de dar início ao projeto. Por serem de caráter confidencial muitos dos dados obtidos, serão omitidas informações que comprometam diretamente as atividades internas da empresa.

3.1. Sistema Baseado em Conhecimento para Configuração de Produtos

A tecnologia de SBC foi utilizada nesta aplicação devido a algumas de suas principais características, entre elas:

- facilidades na representação explícita do conhecimento;
- facilidades na automatização de métodos de inferência sobre o conhecimento, a partir de dados armazenados em Bases de Dados ou fornecidos pelo usuário;
- apresentação de explicações e/ou justificativas com relação aos passos intermediários e às conclusões obtidas.

A seguir serão apresentados os estágios de desenvolvimento do Sistema para Configuração de Tornos Mecânicos, que obedecem à sequência de construção de um SBC apresentada na figura 4.

3.1.1. Aquisição de Conhecimento

Esta etapa foi realizada com a colaboração de uma indústria do setor de Máquinas-Ferramentas, a qual forneceu uma série de dados e materiais a respeito do produto em estudo, e da atividade de configuração por eles desenvolvida durante a fase de projeto. Tais dados mostraram-se bastante completos com relação aos requisitos de construção do sistema.

As informações resultantes desta etapa foram colhidas a partir de várias entrevistas com especialistas em configuração de tornos da indústria, e através de pesquisas sobre o material fornecido, que envolve desde folhetos informativos fornecidos aos clientes até árvores do produto e listagens detalhadas dos componentes usados na construção das máquinas.

A configuração realizada pela indústria apresenta características bastante convencionais. O processo inicia-se a partir do pedido do cliente, a partir do qual cria-se um documento de especificação contendo todas as características desejáveis da máquina. É então realizado um estudo de todos os possíveis componentes da máquina, a fim de determinar quais deles devem compor o produto final, de tal forma que este corresponda às exigências do cliente. São inúmeros os dados analisados, o que faz com que esta atividade, realizada manualmente, se torne lenta e exaustiva. Cada novo pedido pode gerar uma configuração diferente das anteriores, porque a alteração das características de um único componente pode implicar na escolha de um conjunto de outros componentes distintos daqueles selecionados na confecção de uma máquina semelhante.

A configuração convencional do produto pode ser descrita pela seguinte sequência de atividades, mostrada de forma bastante simplificada:

- 1. Identifica-se o tipo de máquina para a qual será realizada a configuração;
- 2. Analisa-se uma lista de todos os possíveis componentes da máquina;
- 3. Escolhe-se, para cada componente, aquele que melhor se adequa à configuração desejada. Essa escolha é uma atividade que envolve conhecimento bastante especializado, pois deve-se analisar todas as relações entre os componentes. Por exemplo, na listagem de um determinado tipo de torno, pode-se ter as seguintes opções para o componente fuso:

código	unidade_fuso	conificador	material_porca	quantidade
039006B01	mm	sem	ferro fundido	1,0
039006B02	pol	sem	ferro fundido	1,0
039006B03	mm	com	ferro fundido	1,0
039006B04	pol	com	ferro fundido	1,0

Para escolher-se um fuso para este torno deve-se optar por um dos tipos apresentados acima. Neste caso, pode-se determinar que o fuso adequado é o 039006B02. Este código então entra na lista da configuração do produto, identificando o tipo de fuso que será usado na máquina em questão.

3.1.2. Estruturação e Validação do Conhecimento

Esta fase compreende a organização e a estruturação dos dados e do conhecimento colhidos na fase de aquisição do conhecimento, de tal forma que possam ser manipulados na fase de implementação do sistema. A modelagem do domínio foi realizada em três etapas complementares, as quais serão descritas nas próximas seções: a definição das variáveis do produto, a modelagem de dados e a modelagem do conhecimento.

3.1.2.1. Variáveis dos Componentes de Tornos Mecânicos

A partir dos dados fornecidos pela indústria, foi realizado um levantamento de todas as variáveis a serem analisadas no processo de configuração. Cada uma das variáveis representa um componente ou uma característica que pode ou não compor a máquina, e é identificada por um código e um nome. A tabela a seguir relaciona todas as variáveis a serem analisadas pelo sistema, bem como o seu domínio de valores.

Variáveis	Valores
1. altura	175 /205
2. comprimento	500 / 800 //1000
3. cava	com / sem
4. passo_fuso	(1/4) / (1/8) / 6mm
5. avanço_fuso	mm / pol
6. furo_cabeçote	42 / 46 / 52
7. dial_cabeçote_móvel	mm / pol
8. manga	normal / trava_broca
9. tipo_válvula	pneum-pedal / pneum-manual
10. nariz	asa_lo / asa_lo-bronzino-170mm / asa_lo-standard / asa_lo-super / cam_lock / cam_lock-11 / cam_lock-86 / cam_lock-d1-5 / cam_lock-d1-6
11. velocidades	(40/1600) / (50/2000) / (25/2000) / (31.5/2500)
12. freio_barramento	com / sem
13. refrigeração	com / sem
14. nro_velocidades	9 / 18
15. trava_avental	com / sem
16. relógio_rosca	com / sem
17. tabela_avental	português / inglês

19. volante	direito / esquerdo
20. desengate automático	com / sem
21. desengate automático transversal	com / sem
22. protetor avental	com / sem
23. suporte ferramenta traseira	com / sem
24. relógio rosca avental	mm / pol
25. tipo caixa rosca	ms / básico
26. conificador	com / sem
27. material porca	ferro fundido / bronze
28. fuso espera	mm / pol
29. dial_mesa	0.02mm / 0.025mm / 0.05mm / 0.001pol / dupla gravação
30. espera	normal / rasgo_t
31. flange	178 / 230
32. dimensão luneta	5x50 / 8x75 / 5x65 / 8x90
33. ponta luneta	bronze / rolamento
34. mercado	interno / externo
35. bomba refrigeração	sem / normal / usa
36. dimensão plato arraste	190 / 220
37. tipo placa universal	standard / super
40. unidade stop micrométrico	mm / pol
41. potência motor	5.5 / 6.3
42. alimentação	(50/60hz) / (co 110/220v) / (rede 220/380/440v)
43. iluminação	com / sem
44. proteção recâmbio	com / sem
45. proteção longitudinal	cabeçote / traseiro / cabeçote traseiro
46. retificador	com / sem
47. armário	standard / ip_44 / ip_44_expo
48. eixo saída	normal / senai
49. tabela made in brazil	com / sem
50. dial avental	mm / pol
51. unidade conificador	mm / pol
53. placa pneumática	com / sem

Estas variáveis foram extraídas a partir da *árvore de produto*. Trata-se de um documento onde temos todos os possíveis componentes que podem pertencer a uma determinada máquina representados graficamente. Esta árvore possui pontos onde deve-se definir um determinado tipo de componente: são os chamados "trechos de decisão". Por exemplo, nestes trechos define-se se um componente será pneumático ou hidráulico, possuirá dimensões em milímetros ou polegadas, etc. Cada tipo de máquina possui sua árvore de produto com os possíveis componentes que podem equipá-la.

A seguir temos um exemplo simplificado de árvore de produto.

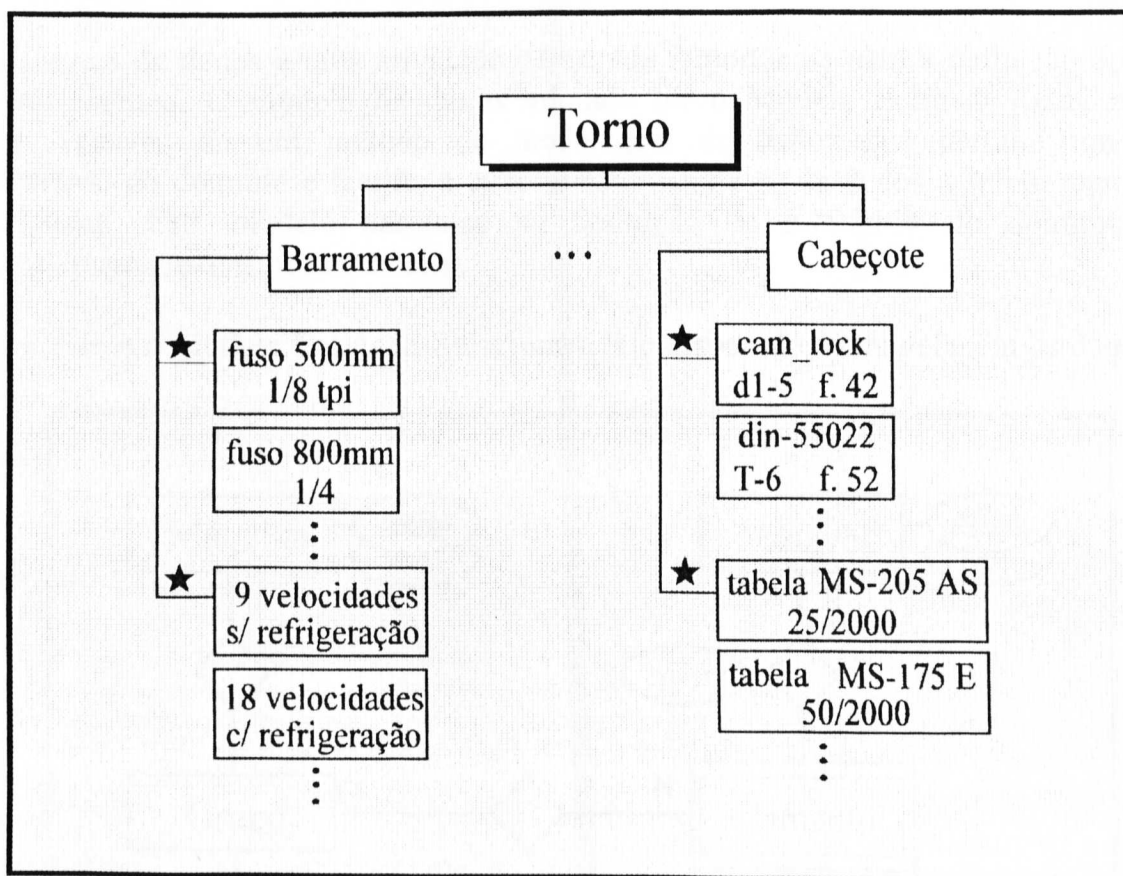


Figura 5 - Exemplo de Árvore de Produto

Na árvore do produto mostrada na figura 5 tem-se que *torno* representa a máquina que está sendo desmembrada em diversos componentes, como por exemplo o *barramento* e o *cabeçote*.

Um ponto de decisão apresenta diversos valores que um componente pode assumir. Na figura, por exemplo, os componentes *barramento* e *cabeçote* possuem variáveis cujos valores serão escolhidos de acordo com as necessidades de configuração. No caso do barramento, a primeira estrela representa um ponto de decisão que envolve diversos elementos, onde cada um possui um valor específico para as variáveis *comprimento* e *passo_fuso*. O primeiro elemento, neste caso, possui o valor 500mm para o *comprimento* e 1/8 tpi para o *passo_fuso*. No segundo ponto de decisão tem-se elementos que definem valores para as variáveis *nro_velocidades* e *refrigeração*.

3.1.2.2. Modelagem dos Dados

A modelagem de dados é uma atividade de grande importância para a definição do projeto físico do sistema. O modelo de dados adotado foi o Modelo Entidade-Relacionamento (MER). Trata-se de um método de modelagem de dados que permite um melhor entendimento do domínio e facilita a estruturação das bases de dados a serem manipuladas pelo sistema. Este modelo baseia-se na definição de *Entidades* do domínio e nos *Relacionamentos* existentes entre elas.

A seguir temos o Modelo Entidade-Relacionamento elaborado na modelagem de dados:

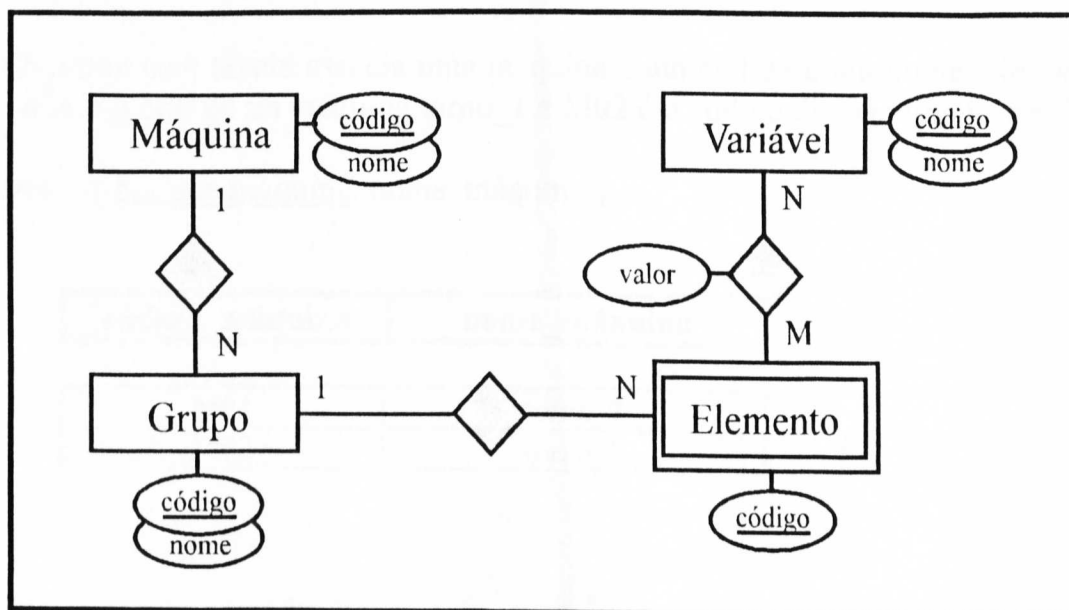


Figura 6 - Modelo Entidade-Relacionamento para o Domínio de Tornos

No MER, uma entidade é representada por um retângulo, e possui um ou mais atributos. O relacionamento entre uma ou mais entidades é representado por um losango, e sua cardinalidade deve ser explicitada. Na figura 6, tem-se que a entidade *Máquina*, que possui os atributos *código_máquina* e *nome_máquina*, relaciona-se com a entidade *Grupo*, o qual possui os atributos *código_grupo* e *nome_grupo*, sendo que o relacionamento possui cardinalidade 1 para N, ou seja, uma *Máquina* possui um ou mais *Grupos* e um *Grupo* relaciona-se a uma única *Máquina*. Neste modelo, cada entidade representa um conjunto de instâncias identificadas univocamente pelos valores de seus atributos.

O MER apresentado na figura 6 foi obtido a partir da árvore do produto do domínio de Tornos. Para exemplificar este processo, pode-se relacionar este modelo com o exemplo simplificado de árvore do produto apresentado na figura 5. O *Torno* consiste em uma instância de *Máquina*, e possui diversos *Grupos*, entre eles *Barramento* e *Cabeçote*, os quais, por sua vez, apresentam vários *Elementos*. Os *Elementos* agrupados em um ponto de decisão possuem *Variáveis* comuns, mas com valores específicos.

A seguir estão relacionadas as tabelas de dados definidas a partir do MER, com seus respectivos campos, sendo que as chaves (campos que identificam univocamente as instâncias da entidade) estão sublinhadas. Cada definição vem acompanhada de um exemplo simplificado.

1. *Tabela Máquina*: esta tabela associa uma máquina a um código e um nome. No exemplo, tem-se que M01 é o código da máquina *torno_1* e M02 é o código da máquina *torno_2*.

Máquina = { código_máquina, nome_máquina }

<u>código_máquina</u>	nome_máquina
M01	torno_1
M02	torno_2

2. *Tabela Grupo*: esta tabela associa um grupo ao código da máquina à qual ele pertence, ao seu código e a seu nome. Na tabela apresentada como exemplo, tem-se que os grupos G01, G02 e G03 (cabeçote, barramento e cabeçote_móvel, respectivamente) pertencem à máquina M01.

Grupo = { código_grupo, nome_grupo, código_máquina }

<u>código_máquina</u>	<u>código_grupo</u>	<u>nome_grupo</u>
M01	G01	cabeçote
M01	G02	barramento
M01	G03	cabeçote_móvel

3. *Tabela Elemento*: esta tabela relaciona um elemento ao seu grupo.

Elemento = { código_grupo, código_elemento }

<u>código_grupo</u>	<u>código_elemento</u>
G01	E01
G01	E02
G01	F01
G01	F02
G02	W01
G02	W02
G02	W03
G02	X01
G03	E01
G03	E02

4. *Tabela Variável*: esta tabela associa uma variável a um código e a um nome.

Variável = { código_variável, nome_variável }

<u>código_variável</u>	<u>nome_variável</u>
1	altura
6	furo_cabeçote
48	eixo_saída
19	volante
2	comprimento
14	nro_velocidades
10	nariz
8	manga

5. *Tabela Elemento_var*: Tabela que relaciona um elemento pertencente a um determinado grupo a uma variável com seu respectivo valor. Por exemplo, na tabela abaixo temos que o elemento E01, pertencente ao grupo *cabeçote* (G01), apresenta duas variáveis: *eixo_saída* (48) com valor *normal* e *altura* (1) com valor 175. Por pertencer ao mesmo grupo e relacionar-se às mesmas variáveis (1 e 48), conclui-se que o elemento E02 pertence ao mesmo ponto de decisão do Elemento E01, mas as variáveis possuem diferentes valores.

Elemento_var = { código_grupo, código_elemento, código_variável, valor_variável }

<u>código_grupo</u>	<u>código_elemento</u>	<u>código_variável</u>	<u>valor</u>
G01	E01	48	normal
G01	E01	1	175
G01	E02	48	senai
G01	E02	1	205
G02	W01	2	500
G02	W02	2	800
G02	W03	2	1000
G03	E01	8	normal
G03	E01	1	175
G03	E02	8	trava_broca
G03	E02	1	175

A modelagem de dados proposta neste trabalho permite representar qualquer árvore de produto, desde que a mesma apresente as informações necessárias exemplificadas na figura 5, ou seja, identifique a máquina em questão, os grupos que a compõem, os elementos pertencentes a cada grupo separados por ponto de decisão e as variáveis de cada elemento com seus respectivos valores.

Como descrito acima, pode-se concluir que a árvore de produto é um requisito fundamental para a modelagem de dados do domínio do sistema. Portanto, mesmo quando o produto a ser configurado não apresenta uma estrutura na forma de árvore de produto com as informações acima, a mesma deverá ser construída na fase de análise a partir dos dados fornecido pela empresa.

3.1.2.3. Modelagem do Conhecimento

A partir dos dados obtidos na fase de Aquisição de Conhecimento, a modelagem do conhecimento foi realizada sob duas formas:

- modelagem orientada a objetos do domínio, representada por um conjunto de classes e objetos;
- modelagem sob a forma de regras de produção da metodologia de configuração, a qual consiste no raciocínio empregado pelos especialistas nesta atividade.

Os próximos tópicos descrevem mais detalhadamente cada tipo de modelagem, e como elas se complementam na construção do sistema final.

Modelagem Orientada a Objetos

A Orientação a Objetos (OO) surgiu como um novo paradigma bastante utilizado em todas as fases do ciclo de desenvolvimento de softwares. Os conceitos básicos envolvidos por este paradigma permitem estreitar os limites existentes nas fases de análise, projeto e implementação de sistemas, por permitirem uma modelagem bastante próxima do mundo real no que se refere ao domínio a ser tratado.

A aplicação descrita neste trabalho foi em parte modelada e implementada utilizando alguns conceitos básicos de OO, como *objetos*, *classes*, *propriedades* e *herança*. Na visão da OO, o mundo real pode ser descrito em termos de *objetos*, os quais possuem uma série de *propriedades*. Quando certas *propriedades* são comuns a vários *objetos*, os mesmos podem ser reunidos em uma *classe*. Neste caso, as *propriedades* da *classe* são atribuídas aos *objetos* pela utilização de mecanismos de *herança*. Um nível intermediário entre uma *classe* e seus *objetos* é a *subclasse*, definida como uma especialização da *classe* imediatamente superior e que, além de herdar suas *propriedades*, pode possuir outras que lhe são particulares.

A figura 7 consiste em um exemplo gráfico dos conceitos de OO definidos anteriormente.

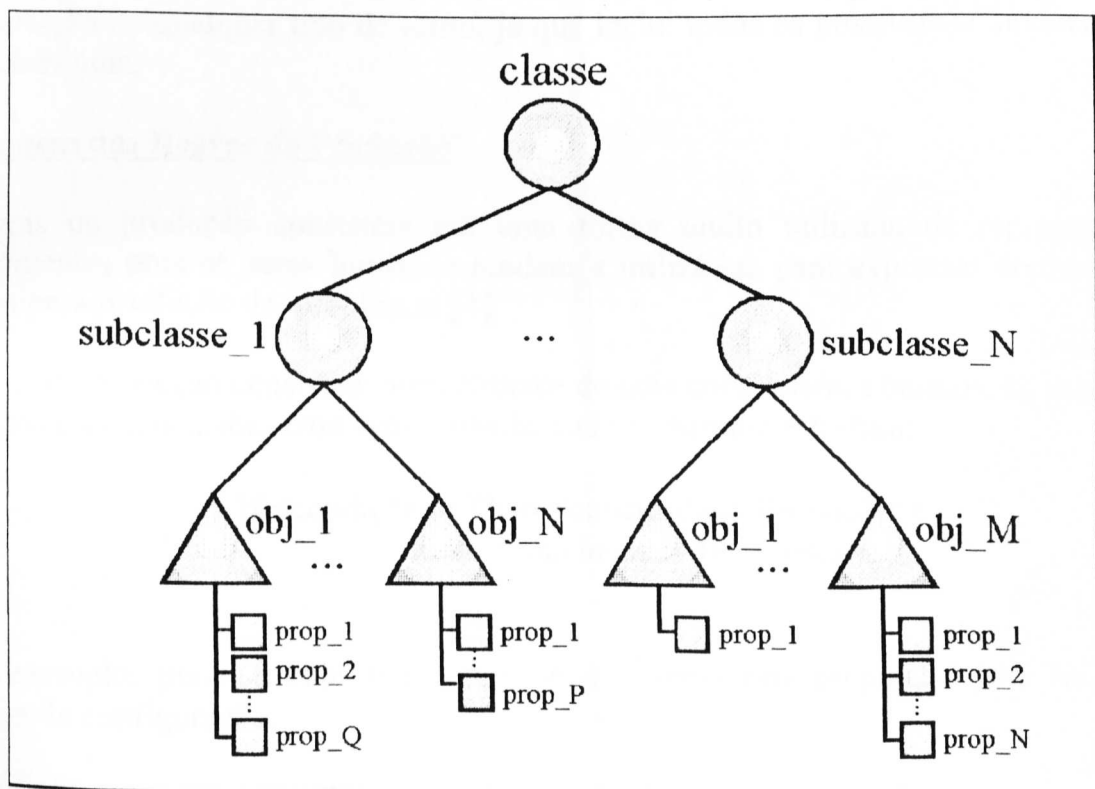


Figura 7 - Representação Gráfica de Alguns Conceitos de Orientação a Objetos

A partir de uma análise do domínio, verificou-se que uma modelagem orientada a objetos seria adequada pelos recursos oferecidos. Uma estrutura *generalização/especialização* utiliza mecanismos de herança para representar, através de classes e subclasses, generalizações e especializações do mundo real. Este tipo de estrutura permitiu modelar a classe de tornos mecânicos convencionais dentro de uma estrutura geral de máquinas. Uma estrutura *todo-parte* define as subclasses como componentes da classe a que pertencem, não aplicando-se, neste caso, o conceito de herança. Esta estrutura permitiu representar um torno como uma máquina composta de elementos opcionais e obrigatórios. As classes que representam cada um dos componentes são dotadas de atributos particulares.

A figura apresentada a seguir consiste na representação gráfica da modelagem orientada a objetos elaborada no domínio de tornos mecânicos. Esta modelagem pode ser utilizada na representação de qualquer tipo de torno, já que inclui todos os possíveis componentes deste tipo de máquina.

Modelagem das Regras de Produção

As regras de produção consistem em uma forma muito utilizada de representação de conhecimento, pois os seres humanos tendem a utilizá-las para expressar conhecimento e técnicas para resolução de problemas [4].

As regras de produção consistem normalmente de dois componentes básicos: as premissas ou condições e as conclusões e/ou ações, obedecendo a seguinte estrutura:

If <condições> **Then** <conclusões> **Do** <ações>
Else <conclusões> **Do** <ações>

Como exemplo, pode-se citar uma regra se o sistema está preparado para inicializar o processo de configuração:

If (Os dados foram carregados e os valores iniciais foram perguntados)

Then

Fase inicial completada

Do

Iniciar processo de configuração

Else

Fase inicial não completada

Do

Carregar bases de dados

3.2. Implementação do Sistema

Esta etapa foi realizada com a utilização de uma *shell* que auxilia a construção de SBCs: Smart Elements, desenvolvido pela Neuron Data. Este aplicativo possui diversos mecanismos de inferência que permitem manipular o conhecimento modelado sob a forma de classes e objetos e/ou regras de produção.

As bases de dados foram construídas de duas formas diferentes: utilizando-se o gerenciador de bases de dados Oracle e o gerenciador de bases de dados do próprio Smart Elements, a partir dos quais foram criadas bases de dados do tipo NXPDB. Por ser este um trabalho de pesquisa, a funcionalidade do sistema foi testada utilizando-se estes dois tipos diferentes de bases de dados, mas o sistema de configuração independe do sistema gerenciador de bases de dados adotado.

O usuário pode selecionar entre os dois tipos de bases de dados. Quando o tipo for NXPDB, o Smart Elements pode acessar diretamente os dados e, em se tratando de bases de dados do Oracle, o Smart Elements possui uma interface que permite a manipulação destes dados.

A figura a seguir apresenta as características do Sistema de Configuração de Tornos Mecânicos:

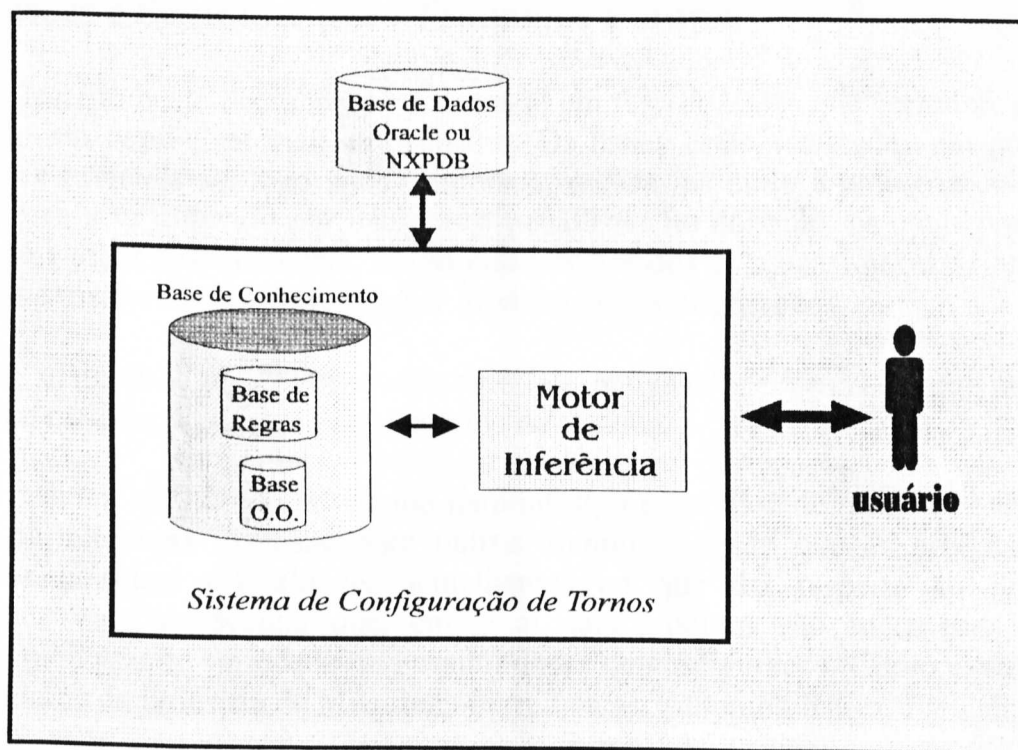


Figura 8 - Estrutura do SBC para Configuração de Tornos

As atividades realizadas pelo SBC seguem a seguinte ordem:

- o usuário fornece ao sistema as informações iniciais a respeito da máquina. Tais informações correspondem às exigências do cliente com relação às características do torno;
- em seguida o sistema carrega as bases de dados referentes ao tipo de máquina selecionada pelo usuário. Além disso, o usuário pode escolher entre as bases de dados do Oracle ou as do próprio Smart Elements (NXPDB);
- carregados os dados e obtidas as especificações do cliente, o motor de inferência inicia o processo de configuração ativando as regras existentes na Base de Conhecimento e acessando a modelagem orientada a objetos do domínio. Enquanto desenvolve seu raciocínio, o Motor de Inferência acessa a Base de Dados e, quando necessário, questiona o usuário em busca de novas informações. Este processo é finalizado quando o sistema obtém uma configuração lógica de um produto que atenda às necessidades do cliente.

4. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

O Sistema descrito neste documento encontra-se em fase de testes que permitam avaliar seu desempenho em condições reais de trabalho. Os testes estão realizados em ambiente de laboratório, e pretende-se, logo após esta etapa, realizá-los junto à indústria colaboradora, onde o sistema será utilizado por usuários especialistas no domínio, os quais poderão mais seguramente validar sua eficiência. Serão então realizados os ajustes necessários até que o sistema seja considerado confiável para a atividade de configuração.

Pretende-se, além disso, desenvolver uma interface amigável, padronizada, que permita uma manipulação mais fácil por parte dos usuários do sistema.

Apesar do sistema ter sido desenvolvido para um tipo específico de produto, a metodologia envolvida permite uma extensão para outros domínios, desde que os produtos a serem selecionados possuam dificuldades semelhantes no que diz respeito ao processo de configuração. Vale acrescentar que, em geral, tais produtos são encomendados, o que implica em uma grande variedade de possibilidades de configuração. Como exemplo, pode-se citar produtos da indústria de Máquinas-Ferramentas, Automobilística, Elevadores, etc.

5. Referências Bibliográficas

- [1] Agostinho, O. L.; Rodrigues, A. C. S.; Lirani, J. *Princípios de Engenharia de Fabricação-Processos de Fabricação*. Vol. 2. Apostila EESC-USP, 1981.
- [2] Rich, E.; Knight, K. *Inteligência Artificial*. (2da Ed.) Mc Graw-Hill, São Paulo, 1993.
- [3] Peat, F.D. *Artificial Intelligence: How Machine Think*. New York, Bean Publishing Enterprises, 1988.
- [4] Rodrigues, S. R. *Criação e Aplicação de Módulos Automáticos para o Planejamento de Processo Assistido por Computador em Soluções Híbridas de Planejamento*. Tese de Doutorado, EESC-USP, 1993.
- [5] Luger, G. F.; Stubblefield, W. A. *Artificial Intelligence and the Design of Expert Systems*. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., 1989.