

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**ANÁLISE DE REQUISITOS E PROPOSTA PARA ESTRUTURAÇÃO
DE UM SISTEMA DE PROJETO DE FIXAÇÕES MODULARES
ASSISTIDO POR COMPUTADOR - CAF**

Giancarlo Medeiros Pereira

Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Porto Alegre

1995

**ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**ANÁLISE DE REQUISITOS E PROPOSTA PARA ESTRUTURAÇÃO
DE UM SISTEMA DE PROJETO DE FIXAÇÕES MODULARES
ASSISTIDO POR COMPUTADOR - CAF**

Giancarlo Medeiros Pereira

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção - PPGEP, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Produção.**

Área de Concentração: Gerência da Produção

Porto Alegre

1995

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Walter

Banca Examinadora: Prof. Dr. João Carlos Espíndola Ferreira, UFSC
Prof. Dr. Gilberto Dias da Cunha, UFRGS
Prof. Dr. Henrique Rosenfeld, USP - São Carlos
Prof. Dr. Denis Borenstein, UFPEL

Prof. Dr. Juan Luis Mascaró
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Dedico este trabalho a minha esposa
Rejane e aos meus filhos Giuseppe e
Tarcísio.

AGRADECIMENTOS

- Aos professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela criação e manutenção de um curso de alto nível como o do PPGEF.
- Ao professor Gilberto Dias da Cunha pelas valiosas sugestões e observações formuladas durante o desenvolvimento deste trabalho.
- Ao professor Claudio Walter pelos valiosos ensinamentos ministrados na área de gerenciamento fabril.
- Ao professor Vicente Sant'Anna pelo estímulo e apoio.
- Aos professores Edson da Rosa, João Carlos Espíndola Ferreira, Henrique Rosenfeld e Denis Borenstein pela atenção e observações emitidas durante o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivos gerais	6
2.2 Objetivos específicos	7
3. O ESTADO DA ARTE EM SISTEMAS DE FIXAÇÃO ASSISTIDOS POR COMPUTADOR	9
3.1 A inclusão de informações relativas à fixação através da <i>Tecnologia das Características</i>	10
3.2 Definição dos tipos de elementos de fixação modulares usuais	17
3.3 Seleção e montagem automática dos kits de fixação	19
3.4 Vantagens dos sistemas modulares de fixação	21
3.5 A oferta de soluções na área de fixações	25
3.6 Métodos para a verificação de esforços e prováveis deformações na peça	26
3.7 Utilização de regras de conhecimento para tomada de decisões	30
3.8 Interfaceamento com sistemas CAD/CAM/CAPP e bases de dados	31
4. ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES PARA ESTRUTURAÇÃO E LIGAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA PEÇA E DOS ELEMENTOS DE FIXAÇÃO	35
4.1 A análise do estado da arte e a proposta deste trabalho	35
4.2 Estruturação das <i>características</i> de fixação de peças	37
4.2.1 Especificação de grupo de fixação.	37
4.2.2 Especificação de atribuição de grupo de fixação.	38
4.2.3 Especificação de dimensões.	39
4.2.4 Especificação de referências de localização das <i>formas características</i> .	39
4.2.5 Especificação das referências de processo.	41
4.2.6 “ <i>Hot Point</i> ”.	43
4.2.7 Aplicações da <i>forma característica</i> .	44
4.2.8 Modelo geométrico da peça.	44
4.3 Estruturação das <i>características</i> dos elementos de fixação	45
4.3.1 Identificação da classe do elemento.	45
4.3.2 Especificação de tipo de elemento de fixação.	45

4.3.3 Especificação da <i>forma característica</i> de sujeição.	46
4.3.4 Especificação de conexão.	46
4.3.5 Modelo geométrico do elemento de fixação.	47
4.3.6 Referências para acoplamento.	47
4.3.7 Vetores de esforços admissíveis.	49
4.3.8 Faixa de atuação do elemento.	50
4.3.9 Acessórios.	50
4.4 A ligação entre a peça e os elementos de fixação através das <i>características</i>	51
4.5 Bases de dados de elementos de fixação padronizados	52
4.6 Seleção de elementos baseado em regras de conhecimento	53
4.7 Interface programável para o modelador geométrico do CAD	57
5. A INTER-RELAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS COMPUTACIONAIS	59
5.1 Conexão com um módulo de cálculo dos esforços de fixação	60
5.2 Informações do CAPP para o CAF.	62
5.2.1 Seqüência de operações.	62
5.2.2 Máquina selecionada.	63
5.2.3 Ferramentas de corte utilizadas.	63
5.2.4 Esforços de corte calculados.	63
5.2.5 Eixos principais de orientação da peça.	64
5.2.6 Estágio de acabamento das <i>características</i> na respectiva etapa de fabricação.	65
5.2.7 Referências de fixação.	65
5.3 Transferência de informações do sistema de CAF para o sistema de CAPP.	66
6. RESULTADOS POTENCIALMENTE ESPERADOS NA ESTRUTURAÇÃO E INTEGRAÇÃO DO CAF	69
6.1 Determinação das prováveis posições de fixação	74
6.2 Determinação dos esforços reativos de fixação	77
6.3 Seleção e alocação automática dos elementos de fixação	80
6.3.1 Seleção e alocação de localizadores	83
6.3.2 Seleção e alocação dos elementos de apoio	84
6.3.3 Determinação dos elementos e dos pontos de fixação	86
6.4 Verificação final das soluções ao nível das interferências geométricas	87
6.5 Verificação final das soluções ao nível dos esforços	88
6.5.1 Viabilidade técnica do conjunto modular de fixação	94
6.5.2 Precisão geométrica e dimensional da peça em processo	98
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Suporte regulável para assentamento de peças fundidas ou forjadas	107
Figura 2	Localizador cônico para assentamento de furos brutos	108
Figura 3	Localizador de furos usinados com dimensão de ajuste	109
Figura 4	Representação esquemática da alocação de elementos modulares de fixação	110
Figura 5	Exemplo de utilização dos conjuntos modulares modulares de fixação	111
Figura 6	Exemplo de especificação de grupo e de atribuição em uma peça mecânica	112
Figura 7	Exemplo de uma malha de pontos aplicada à uma <i>peça em processo</i>	113
Figura 8	Guiamento das carcaças pelo furo previamente usinado	114
Figura 9	Sujeição da <i>peça em processo</i> por uma aresta bruta	115
Figura 10	Visualização do conceito de <i>Hot Point</i> em uma carcaça	116
Figura 11	<i>Hot Point</i> sobre uma aresta da <i>peça em processo</i>	117
Figura 12	Conexão entre diferentes <i>formas características</i> de peças e fixadores	118
Figura 13	Conexão entre <i>formas características</i> de peças e fixadores	119
Figura 14	Localizador de furos pré-usinados	120
Figura 15	Base de apoio angular	121
Figura 16	Suporte de apoio regulável	122
Figura 17	Exemplo de conexão básica entre <i>formas características</i>	123
Figura 18	Diferentes elementos conectados à uma <i>forma característica de peça</i>	124
Figura 19	Referências para acoplamento em um pino localizador	125
Figura 20	Referências para acoplamento em uma base de apoio angular	126
Figura 21	Referências para acoplamento em um localizador cônico	127
Figura 22	Vetores de esforços admissíveis em um pino localizador	128
Figura 23	Vetores de esforços admissíveis em uma base de apoio angular	129
Figura 24	Vetores de esforços admissíveis em um localizador cônico	130
Figura 25	Faixa de atuação de um grampo de sujeição modular	131
Figura 26	Acessórios utilizados em um conjunto de sujeição modular	132
Figura 27	Conexão entre <i>formas características</i> de peças e de elementos de sujeição	133
Figura 28	Utilização dos eixos prioritários no posicionamento de um coletor	134
Figura 29	Utilização dos eixos prioritários no posicionamento de uma tampa	135
Figura 30	Sujeição de peças brutas de fundição	136
Figura 31	Sujeição de peças pré-usinadas	137
Figura 32	Referências de fixação em uma peça bruta e uma pré-usinada	138
Figura 33	Referência para a programação CNC em um furo pré-usinado	139
Figura 34	Inviabilização de uma usinagem pela disposição dos elementos de sujeição	140
Figura 35	Interposição de um suporte compensador para maior rigidez do conjunto	141
Figura 36	Posicionamento da <i>peça em processo</i> em função das necessidades de processo	142
Figura 37	Exemplo de um conjunto modular selecionado	143
Figura 38	Exemplo de um conjunto modular selecionado	144
Figura 39	Detalhamento gráfico de um conjunto modular selecionado	145
Figura 40	Conjunto modular de fixação montado	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Sigla	Denominação em língua inglesa	Denominação em língua portuguesa
CAD	Computer Aided Design	Projeto Assistido por Computador
CAF	Computer Aided Fixturing	Sistema de Fixações Assistido por Computador
CAM	Computer Aided Manufacturing	Manufatura Assistida por Computador ou Fabricação Assistida por Computador
CAPP	Computer Aided Process Planning	Planejamento de Processos Assistido por Computador
CIM	Computer Integrated Manufacturing	Manufatura Integrada por Computador ou Fabricação Integrada por Computador
FMS	Flexible Manufacturing System	Sistema de Manufatura Flexível ou Sistema de Fabricação Flexível
JIT	Just-in-Time	-
-	Tecnologia das Features	Tecnologia das Características

RESUMO

Este trabalho analisa os requisitos para a estruturação de um sistema computacional para especificação de fixações de peças para usinagem. O sistema proposto relaciona-se com o desenvolvimento de ferramentas para atuação concomitante com sistemas de *Planejamento de Processos por Computador* (CAPP) e *Fabricação Integrada por Computador* (CIM) - sendo este um sistema de *Computer-Aided Fixturing* (CAF). O CAF deverá operar sobre a seleção e o posicionamento de elementos de fixação modulares. É suposto que o projeto das peças seja elaborado num sistema de *Projeto Assistido por Computador* baseado na *Tecnologia das Features*.

ABSTRACT

This work defines the specification requirements for a *Computer Aided Fixturing* (CAF) system conceived for supporting the *process planning* concerning the *machining process* domain. The system is supposed to perform the selection and positioning of *fixturing modular elements*. It is also supposed to operate coupled with a *Computer Aided Design* system based on the *Features Technology* approach.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas mundiais de manufatura vêm experimentando profundas transformações nos últimos anos, tanto de caráter organizacional, quanto de caráter tecnológico. Paralelamente à reorganização fabril representada pelos sistemas *Just-In-Time* e a organização em células e mini-fábricas, o mercado de soluções tecnológicas evoluiu numa velocidade dantes nunca vista.

A construção de equipamentos programáveis, como os centros de usinagem, os quais passaram a agregar funções antes executadas em diversos equipamentos individuais, acabou por ampliar o conceito de *flexibilidade fabril*, bem como alterou o espectro de soluções ao alcance do gerente de produção para a solução de suas metas produtivas.

Neste novo horizonte, muitas vezes ocorre que um conjunto completo de máquinas convencionais, agrupados na forma celular ou não, é substituído por uma única máquina CNC, a qual, além de agregar as operações anteriormente executadas naqueles diversos equipamentos, o fará num período de tempo menor do que todo o conjunto anterior.

Não obstante os ganhos de produtividade obtidos com os equipamentos CNC, abre-se caminho para a pesquisa de novas soluções que viabilizem um aumento ainda

maior na flexibilidade de utilização destes recursos onerosos, reduzindo assim o tempo de retorno do investimento realizado.

Uma das formas de atingir-se tal objetivo seria a da viabilização de uma maior redução no tempo de *set up* dos equipamentos, paralelamente a uma maior flexibilização na utilização dos meios físicos para tanto.

Em particular, no que se refere ao *set up* de elementos de fixação para equipamentos de usinagem CNC, constata-se que duas soluções apresentam-se como usuais na fabricação atual: A construção de elementos de fixação dedicados e a utilização de conjuntos de elementos modulares de fixação.

Os elementos de fixação dedicados apresentam o inconveniente de demandarem altos custos de confecção, quase sempre associados a um tempo de fabricação relativamente alto, bem como de se caracterizarem por uma baixa *flexibilidade*, geralmente dedicados a um item particular, ou, no máximo, a uma família de peças.

Assim sendo, qualquer alteração de projeto demandará, obrigatoriamente, a remanufatura do conjunto, implicando, por sua vez, em perda de tempo e redução da agilidade da empresa na resposta de seus compromissos.

Em adição ao anterior, cite-se igualmente que esta solução não é aplicável a todas as empresas. Como forma de ilustrar-se o exposto, há o caso das empresas que produzem lotes pequenos e médios, e também o caso das empresas prestadoras de serviço na área de usinagem. Para ambas, a construção de elementos de fixação

dedicados é praticamente inviável, quer seja sob o ponto de vista econômico, quer seja sob o ponto de vista operacional.

Para estas empresas, ou mesmo para as empresas de lotes de produção grandes que não queiram investir em elementos de fixação dedicados, existe uma segunda hipótese oferecida pelo mercado: os conjuntos de elementos modulares de fixação.

Estes elementos, quando convenientemente combinados, possibilitam a sujeição da peça para um determinado conjunto de operações, permitindo, no entanto, que, finda a usinagem do lote, os mesmos sejam reaproveitados noutra operação de fabricação, ou, até mesmo, em operações relacionadas com o controle de qualidade.

A adoção de sistemas modulares de sujeição é igualmente indispensável na montagem dos *sistemas de fabricação flexível (FMS)*, conferindo aos mesmos a possibilidade de rapidamente serem redirecionados a uma mudança dos planos de produção.

Neste ambiente flexível, os sistemas modulares não somente suportam as operações de usinagem, mas também atividades como a medição de coordenadas em equipamentos computadorizados e a montagem automatizada de componentes.

Ocorre no entanto que, na atual conjuntura, a utilização dos sistemas modulares de fixação encontram-se ainda em numa *fase primitiva*, onde a seleção de elementos é feita pelo próprio operador da máquina. Isto acaba por implicar em um subdimensionamento de muitas operações de corte, haja vista a falta de segurança do

engenheiro de processos quanto aos limites de esforços toleráveis pelo conjunto montado, implicando obviamente uma produtividade inferior à ideal.

Não obstante este fato, a própria tarefa de escalonar-se a produção em sistemas automatizados, uma vez que os acessórios de fixação são compartilhados entre diversos equipamentos, necessita de informações confiáveis sobre, não somente a disponibilidade das máquinas operatrizes, mas igualmente de seus *periféricos*, podendo ocorrer, caso não se tenha controle sobre todos os dados, que um determinado escalonamento dimensionado seja inviabilizado pela falta de acessórios.

Neste contexto, a operacionalização de um sistema computacional que dê suporte às atividades de seleção e montagem dos conjuntos modulares de sujeição em muito contribuirá para o aumento da produtividade e da capacidade de adaptação a novos cenários dos *sistemas flexíveis de manufatura*. Com o intuito de colaborar para a solução dos problemas listados, este trabalho fará uma *análise dos requisitos necessários à estruturação de um sistema de fixações assistido por computador*, doravante também denominado “CAF”.

Assim sendo, o Capítulo 3 apresenta uma compilação do *estado da arte* em sistemas de especificação de fixações assistidas por computador, bem como as tendências apontadas por alguns autores referentes a esta área.

Posteriormente, no Capítulo 4, são analisados os requisitos para a estruturação das informações relativas às peças e aos elementos de fixação a serem considerados quando da operacionalização do sistema.

Observe-se ainda que, para se atingir o exposto acima, faz-se necessária uma integração harmoniosa entre o *sistema de planejamento de processos assistido por computador (CAPP)* e o *sistema de fixações por computador (CAF)*. Conforme será visto posteriormente, o CAF, quando implementado, atuará como um módulo do sistema de CAPP, haja visto a dependência do mesmo das definições executadas no primeiro. Assim, doravante, neste trabalho a expressão sistema de CAF representará, em verdade, um módulo computacional a ser adicionado aos sistemas de CAPP e que se destina a especificação de sujeições modulares. Desta forma, o Capítulo 5 desta dissertação dedicará especial atenção ao detalhamento desse interfaceamento, propondo inclusive a inclusão de algumas informações importantes a serem trocadas entre os sistemas e não contempladas pela bibliografia consultada.

No Capítulo 6, por sua vez, será sugerido um arranjo de *sistemas computacionais*, os quais são utilizados atualmente com outros propósitos, como forma de automatizar-se o processo de seleção de elementos modulares e teste da viabilidade técnica das hipóteses levantadas. Adicionalmente nesse Capítulo serão analisados os fluxos de dados a serem trocados entre os sistemas de CAPP e de CAF, bem como entre o sistema de CAF e as demais soluções de *software* sugeridas como necessárias ao atendimento do proposto.

Finalmente, serão apontados caminhos a serem pesquisados em áreas correlatas do conhecimento, como modo de viabilizar-se a abordagem proposta.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Este trabalho visa definir os requisitos para a estruturação de um *sistema de fixações assistido por computador* para operações de usinagem - CAF.

Na medida do possível, a solução adotada deverá obrigatoriamente fazer uso de outros sistemas computacionais, de preferência comercialmente disponíveis, como forma de reduzir-se o trabalho de desenvolvimento e agilizar-se o trabalho de implantação do mesmo.

A escolha do tema prende-se ao fato que a operacionalização de um sistema como esse será de vital importância na redução dos tempos de *set up*, bem como conferirá aos sistemas fabris uma maior rapidez e flexibilidade ao nível de chão de fábrica, especialmente na adaptação às mudanças geradas nos planos de produção.

Outro benefício do CAF será o de garantir uma melhor integração entre os sistemas de CAE/CAD/CAPP/CAM, colaborando assim com o esforço de implementação da *Engenharia Simultânea*, objetivando a redução do *lead time* de desenvolvimento de um novo produto e permitindo a obtenção de soluções mais rápidas e confiáveis num menor espaço de tempo.

Finalmente a operacionalização do sistema proposto neste trabalho, além de contribuir para a disseminação do uso de sistemas modulares de sujeição na indústria, reduzindo desta forma os valores investidos pelas empresas em elementos de sujeição, permitiria, mediante algumas alterações, implementar-se um sistema semelhante para fixações destinadas às operações de controle de qualidade, soldagem e montagem, as quais hoje, assim como na usinagem, são executadas de forma ainda consideravelmente *artesanal* ou mesmo *primitiva*.

2.2 Objetivos específicos

Neste trabalho objetiva-se definir o conjunto de informações a serem inseridos no modelo geométrico do CAD que viabilizem o tratamento computacional dessas por outros sistemas computacionais.

No caso específico da interligação do CAF com sistemas de *Planejamento de Processos Assistido por Computador* (CAPP), será detalhado o fluxo de informações entre os dois sistemas, de forma a validar, no que se refere ao aspecto das sujeições, as soluções de fabricação definidas pelo CAPP. Como exemplo dessas soluções adotadas pelo CAPP, cite-se a seqüência de processos, os caminhos de corte das ferramentas e o acesso das mesmas aos locais de usinagem, bem como a rigidez do conjunto modular e a integridade geométrica e dimensional da peça em processo.

Finalmente será proposto um arranjo de soluções computacionais de fins específicos, as quais deverão ser combinadas para a operacionalização do proposto. Sob este aspecto inclusive, o Capítulo 6 apresentará uma contribuição particular do autor na definição dos fluxos de informações a serem trocados entre os diferentes

sistemas com vistas a garantir-se o atendimento das operações especificadas pelo CAPP, respeitando-se obviamente as tolerâncias geométricas e dimensionais especificadas para a peça em processo.

3. O ESTADO DA ARTE EM SISTEMAS DE FIXAÇÃO ASSISTIDOS POR COMPUTADOR

O estágio atual das pesquisas em *sistemas de fixações assistidos por computador* está orientado basicamente à análise dos seguintes tópicos:

- ⇒ Definição dos tipos usuais de elementos modulares de fixação
- ⇒ Seleção e montagem automática dos sistemas modulares de fixação
- ⇒ Vantagens e desvantagens na utilização dos sistemas modulares de fixação
- ⇒ A oferta de soluções na área de fixações
- ⇒ Métodos para a verificação de esforços e prováveis deformações na peça
- ⇒ Utilização de *regras de conhecimento* para tomada de decisões
- ⇒ A adoção, na descrição da peça, através da "*Tecnologia das Features*", de informações relativas à fixação

⇒ Interfaceamento com sistemas CAD/CAM/CAPP e bases de dados

A seguir, discorrer-se-á sobre os diferentes enfoques encontrados na literatura, relativamente ao tema em questão.

3.1 A inclusão de informações relativas à fixação através da *Tecnologia das Características*

Conforme descrito por Cunha (1995), a necessidade de inserção nos sistemas de *Projeto Assistido por Computador* (CAD) de informações relativas ao projeto e a fabricação, as quais pudessem ser reconhecidas automaticamente por outros sistemas computacionais deu origem a uma nova forma de conceber e descrever as peças mecânicas. Mais precisamente, assim originou-se o conceito de "*form features*", assim denominadas, em literatura em *língua inglesa*, as formas geométricas significativas em termos do projeto, sejam elas superfícies ou elementos volumétricos. Formas de geometria peculiares ao projeto mecânico, como entalhes ou furos, são exemplos desses volumes, bem como aqueles definidos pela Geometria Espacial, como cilindros, cones e paralelepípedos.

Segundo aquele autor, estendendo-se esse conceito a toda a informação relevante à descrição da peça, ainda que essa informação não seja geométrica, pode-se falar numa descrição de peças através de "*características*", onde o termo designará, genericamente, toda informação de interesse às áreas de projeto e fabricação. Assim, por exemplo, a informação sobre o material a ser utilizado na construção da peça, sobre condições de produção e outras informações serão consideradas *características* da peça. Portanto, as *características* serão entendidas tanto sob o ponto de vista da morfologia da peça (então denominadas "*formas*

construção da peça, sobre condições de produção e outras informações serão consideradas *características* da peça. Portanto, as *características* serão entendidas tanto sob o ponto de vista da morfologia da peça (então denominadas “*formas características*”), como em termos de todos os demais elementos úteis à descrição da mesma. Assim, surge o conceito de projeto de peças mecânicas baseado na assim denominada *Tecnologia das Características*.

O conceito de *característica* foi afetado diretamente pela evolução dos trabalhos de investigação realizados na área. Definições diversas podem ser encontradas em literatura, seguindo-se alguns exemplos:

a) definição adotada pelo Programa CAM-I - Butterfield (1986):

"As *características* baseiam-se na premissa de que os detalhes do desenho podem ser representados por formas de alta ordem (de abstração), que representam coleções de entidades numa forma inteligente, coincidentes com o modo de raciocínio dos engenheiros";

b) Dixon (1987):

"*Características* são quaisquer formas ou entes geométricos cuja presença ou dimensões num domínio são fundamentais para a avaliação da fabricação, para o planejamento de processos ou para a automatização de análises funcionais";

c) Unger (1988)

"*Características* podem ser definidas como elementos típicos ou especificações de uma peça, incluindo tipo de material, funcionalidade e outros fragmentos de informação descritiva";

e) Luby (1986):

"*Características* são formas ou entidades cuja presença ou dimensões são requeridas por, pelo menos, alguma função no domínio da Fabricação Integrada por Computador, e cuja disponibilidade como uma primitiva permite a criação do projeto".

f) Shah (1991):

"*Formas características* são formas genéricas às quais os engenheiros associam certas propriedades ou atributos e conhecimento útil para o raciocínio sobre o produto (peça mecânica). Em termos mais explícitos, uma *forma característica* é um elemento físico constituinte de uma peça reconhecível como uma forma genérica, possui algum significado em termos de engenharia, e tem associada certas propriedades presumivelmente".

De um modo geral, a definição de *característica* aparece relacionada com os componentes morfológicos da peça ou com as especificações gerais de projeto ou de fabricação. Observa-se também que todas essas definições são, em alguma medida, dependentes do domínio das aplicações desenvolvidas. Isto tem levado alguns

pesquisadores a solicitarem a adoção de uma definição unificada para o termo, mas constata-se ainda uma tendência a vincular a definição de *característica* ao contexto da análise a ser efetuada. Assim, o estudo sobre o projeto baseado em *características* exige atenção ao contexto de utilização deste termo, o que dificulta a discussão geral sobre o desenvolvimento da *Tecnologia das Características*.

Por outro lado, alguns autores impõem restrições àquilo que pensam não poder ser considerado uma *característica*. Shah (1990), por exemplo, distingue claramente entre característica e atributo; por exemplo: uma *forma característica*, segundo ele, é um elemento constituinte da peça, enquanto que um atributo é um qualificador de uma característica.

Conforme Cunha (1995), a seleção e a classificação das *características* a serem manipuladas por sistemas computacionais são dependentes do domínio e dos objetivos das aplicações a serem desenvolvidas.

Independente dos critérios de seleção e classificação das *características*, permanece válida a questão da manipulação das mesmas. Ainda segundo Cunha (1995), na análise da literatura sobre o tema podem ser encontradas as seguintes abordagens:

- a) definição interativa das formas características - neste método, o usuário agrupa entes geométricos presentes no desenho executado num sistema de *Desenho Assistido por Computador* (baseado em modelação convencional) e as identifica como pertencentes a uma dada classe;

b) reconhecimento automático de formas características - neste método, procedimentos computacionais são executados diretamente sobre a representação do desenho armazenada pelo sistema de *Desenho Assistido por Computador*, procurando identificar *formas características* nele contidas;

c) projeto fundamentado em bases de formas características - nesta abordagem, o projetista seleciona *formas* paramétricas de topologia pré-definida armazenadas numa biblioteca de *formas*, obtendo o produto final pela instanciação, parametrização e combinação dessas.

A abordagem das *definições interativas* é inconveniente porque a definição do que pode ser considerado uma *forma* de um determinado tipo ou classe é dependente da interpretação do usuário, e, por mais que essa avaliação possa ser orientada, estará sempre sujeita à imperfeição. Efetivamente, esta abordagem parece ter sido abandonada como hipótese de investigação.

A abordagem do *reconhecimento automático* teve seu desenvolvimento mais concentrado na década de 1980, podendo-se verificar conforme Liou & Suen (1991) e Pham & Lazaro (1989) que, não obstante o grande volume de pesquisas existentes nesta área, poucos resultados significativos foram obtidos, devido à complexidade algorítmica ou computacional envolvida na extração de certas classes de *características*.

Assim sendo, segundo o autor Liou & Suen (1991), pode-se concluir que a extração automática das *formas características* diretamente de um modelo

geométrico de peça gerado pelos sistemas de CAD convencionais, não se justifica em termos práticos a nível de desempenho, flexibilidade e custos.

A abordagem da operação sobre *bases de formas características* apresenta o inconveniente de estar normalmente limitada a um número fixo de *formas* a serem manipuladas. Ainda que, para determinadas aplicações, esse número possa ser suficiente, sempre serão impostas limitações à criatividade do projetista. Contudo, alguns investigadores afirmam que essa restrição deve ser considerada positiva, argumentando que a liberdade absoluta na escolha da forma do produto contrapõe-se às necessidades de diminuição dos custos de produção obtidas pela padronização da forma das peças. Esta discussão é um tema de importância dentro dos estudos em Tecnologia de Grupo.

É certo que não existe um consenso sobre qual a melhor maneira de se manipularem as *formas características*, e há quem proponha, conceitualmente, uma solução híbrida entre as duas últimas abordagens citadas, numa tentativa de combinar o ganho da liberdade de criar formas para as peças com o fato de se dispor permanentemente de uma avaliação precisa da representação geométrica e topológica da peça obtida pela utilização das *formas características* instanciadas.

Considerando-se o espectro de atuação deste trabalho, relacionado com as *fixações* de peças, doravante, somente serão discutidas as *características* relativas a essas, apresentando-se o enfoque dado pelos diferentes autores.

Assim sendo, destacam-se os trabalhos desenvolvidos pelos autores Liou & Suen (1991), Englert & Wright (1991) e Márkus, Ruttkay & Váneza (1990), os quais

basicamente apontam para a introdução das *características* relativas à *fixação* quando da elaboração do modelo no sistema de CAD. Estas *características* conterão, por exemplo, informações relativas ao processo de fixação e às operações de usinagem a serem executadas na *peça em processo*.

Nesta linha, o projetista, além de agregar as informações relativas ao processo de fabricação, como tolerâncias e acabamentos superficiais, inclui igualmente informações relativas às *formas características* de fixação das peças.

Sendo as *características* introduzidas interativamente pelo processista, os autores Liou & Suen (1991), Nnaji, Alladin & Lyu (1990) e Márkus, Ruttkay & Váneza (1990) destacam a necessidade de que se associe a cada *forma característica* um sistema de coordenadas, o qual servirá para a identificação da posição de inserção da mesma no modelo geométrico da peça, além de orientar o sistema de CAF relativamente à posição de inserção do elemento de fixação. Isso determinará também, por conseguinte, a capacidade de predição sobre as *zonas proibidas* para a alocação de elementos de sujeição, conforme citado por Márkus, Ruttkay & Váneza (1990). Haverá ainda a necessidade de existir um sistema de coordenadas global para as *formas características*.

Este conceito das *zonas proibidas* permite, por exclusão, a definição das zonas de acesso da ferramenta cortante, bem como o conhecimento sobre as sucessivas posições a serem ocupadas pela mesma durante a operação de corte. Esta informação, é, no entanto, dependente da seqüência de operações a ser executada, o que, conforme Liou & Suen (1991), implica que, na ocorrência de uma alteração do

processo, poderá ser alterado todo o conjunto de condições de contorno que determinariam a alocação de um elemento de fixação em uma determinada coordenada.

Conforme Cunha (1995), no que se refere especificamente às definições de *características* associadas a entes geométricos, observa-se a existência de duas alternativas básicas. A primeira baseia-se na associação de volumes ao conceito de *forma característica*. A segunda, considera *formas características* tanto elementos volumétricos, como de superfície.

Em se tratando de fixações mecânicas, o essencial é considerar-se a questão do contato entre superfícies (respectivamente, as do elemento de fixação e as da peça em sujeição). Por este motivo, optou-se, neste trabalho, por se considerarem as *formas características* como elementos superficiais. Contudo, seria possível adotar uma abordagem em que as *formas características* fossem elementos volumétricos, desde que as superfícies estivessem perfeita e univocamente reconhecidas.

3.2 Definição dos tipos de elementos de fixação modulares usuais

No que se refere à definição dos tipos de elementos de fixação modulares usuais, cite-se os trabalhos de Pham & Lazaro (1989), os quais, basicamente, dividem os elementos de fixação em quatro grandes grupos, a saber:

⇒ Suportes - são os elementos destinados a apoiar a peça e sustentar os esforços de usinagem gerados pela ação das ferramentas de corte. A figura 1 apresenta um exemplo de

um suporte regulável em altura destinado ao assentamento de peças fundidas ou forjadas;

- ⇒ Localizadores - são os elementos destinados a localizar a peça relativamente a um ponto fixo, o qual poderia, por exemplo, ter sido usado como referência para a programação CNC. A figura 2 apresenta um localizador cônico destinado ao assentamento de furos brutos (sem usinagem anterior). A figura 2 por sua vez, apresenta um elemento localizador de furos brutos ou sem ajuste de dimensão, sendo que a figura 3 apresenta um elemento localizador de furos usinados com ajuste de dimensão;
- ⇒ Elementos de sujeição - são os elementos destinados a exercer os esforços de fixação sobre a *peça em processo*, de modo a mantê-la fixada contra os suportes e localizadores;
- ⇒ Bases de fixação - são os elementos que servem de base para a alocação dos demais, possuindo adaptações-padrão para equipamentos de usinagem. A figura 4 apresenta uma representação esquemática da alocação de elementos modulares de fixação, como suportes e grampos de sujeição, associados a uma base de fixação.

Observe-se que não foram encontradas referências em literatura relativamente a um estudo mais amplo e detalhado sobre os diferentes tipos de elementos de fixação

efetivamente utilizados na indústria metal-mecânica na atualidade. Igualmente, algumas das soluções existentes no mercado são muito específicas, desenvolvidas e patenteadas por empresas como as firmas IMAO Corporation do Japão e Erwin Halder KG da Alemanha.

Assim sendo, a presente revisão identificou a necessidade da realização de um estudo mais profundo relativamente aos elementos de fixação modulares, e, por conseguinte, das informações relativas a esses, as quais serão posteriormente consideradas e utilizadas pelo sistema de CAF quando da montagem automática dos elementos.

3.3 Seleção e montagem automática dos *kits* de fixação

A seleção e montagem automática dos *kits*, conforme apresentado pelos autores Liou & Suen (1991), Pham & Lazaro (1989), Nnaji, Alladin & Lyu (1990) e Márkus, Ruttkay & Váneza (1990), está baseada no estabelecimento de ligações entre os requisitos de fixação estipulados pela geometria de cada *forma característica* a ser sujeitada da peça em questão e a geometria do elemento de sujeição a ser adotado para o estabelecimento da fixação. Observe-se que o posicionamento dos elementos de fixação será feito utilizando-se como base o sistema de coordenadas de uma *forma característica*.

Na verdade, sob o ponto de vista conceitual, uma peça pode ser vista como um conjunto de *formas características*, para as quais deverão ser selecionados elementos de sujeição, os quais são componentes mecânicos que se adequam à

fixação das diversas *formas características* da peça efetivamente utilizadas em sua sujeição.

Adicionalmente a este critério, alguns autores incorporaram informações adicionais a serem consideradas quando da seleção dos elementos de fixação. Essas são consideradas através da adoção de *regras de conhecimento*, tendo como parâmetros informações como o tamanho do lote, as exigências de acabamento, tolerâncias dimensionais, tipo de máquina operatriz utilizada, grau de precisão do equipamento, etc.

Não obstante a importância das regras na seleção e alocação dos elementos modulares, apenas uma pequena quantidade de regras foram encontradas em bibliografia. Dentre estas, cite-se o trabalho dos autores Liou & Suen (1991) e Anselmetti & Bourdet (1993), os quais citam brevemente alguns exemplos dessas regras utilizadas para o fim proposto dentro de seus próprios sistemas. Decididamente, essa parece ser igualmente uma área a ser trilhada pelos pesquisadores, haja vista a importância que desempenham nos sistemas de seleção de fixações automatizados.

Na verdade, conforme Pham & Lazaro (1989), além da conexão entre as *formas características* de fixação e as dos fixadores, o sistema, a fim de contemplar o conjunto de funções relativas à adequação entre ambos, deverá considerar, quando da definição do elemento de fixação a utilizar, as informações relacionadas com o *estado de processo da peça em processo*, o qual representa o estágio atual de manufatura de uma determinada *forma característica*.

Desta forma, ter-se-á certeza de que a fixação especificada realmente virá a atender as exigências de rigidez, confiabilidade e viabilidade exigidas em um sistema de produção efetivamente flexível. Não obstante, pouca informação foi encontrada na literatura a esse respeito, o que, conforme já foi dito, será posteriormente explorado nesta dissertação.

Finalmente, na linha do reaproveitamento de soluções já especificadas para peças semelhantes, os trabalhos de Liou & Suen (1991), Grippo, Gandhi & Thompson (1987) e Englert & Wright (1991) apontam tanto para a utilização da Tecnologia de Grupo nas soluções adotadas, como na linha de definição de um BOM (Bill of Materials) que venha a melhor administrar os elementos de fixação selecionáveis, permitindo a rápida montagem de novos *kits*, bem como o rápido acesso às soluções já testadas.

3.4 Vantagens dos sistemas modulares de fixação

Um das grandes vantagens dos sistemas modulares de fixação, conforme descrito por Pham, Nategh & Lazaro (1989), Miller (1983), Miller (1986) e Krauskopf (1984), situa-se na flexibilidade conferida por estes ao nível do *mix* de peças passíveis de serem usinadas sem maiores investimentos em elementos dedicados.

A facilidade em especificarem-se fixações em um pequeno espaço de tempo, conforme descrito por Grippo, Gandhi & Thompson (1987), Miller (1983), Miller (1986), e Krauskopf (1984), implica uma redução direta do *lead time* de produção de

componentes usinados, quer seja pela redução do tempo de *set up* interno, quer pela redução do tempo de *set up* externo.

Como resultado direto desta redução em tempos de produção, tem-se a redução dos custos de *overhead* relativos às atividades dos setores de preparação dos equipamentos, para além de uma maior facilidade operacional verificada nos setores dedicados ao projeto, planejamento do processo e coordenação da produção, conforme Grippo, Gandhi & Thompson (1987).

Com o objetivo de ilustrar-se o potencial de redução dos custos de *overhead*, citem-se alguns dados fornecidos em diferentes trabalhos da área de fabricação, os quais apontam para uma redução no tempo de preparação dos dispositivos de sujeição, mediante a utilização de sistemas modulares, de 60 para 1,5 horas conforme o autor Miller (1983), ou de 100 para 1,5 horas conforme análise feita por Nnaji, Alladin & Lyu (1990).

Como referencial quantitativo, os autores Grippo, Gandhi & Thompson (1987) estimaram um mercado para sistemas automatizados da ordem de US\$ 1.8 bilhões no ano de 1990, dos quais de 10 % a 20 % corresponderiam aos sistemas de fixações. Considerando-se que esses valores são destinados às fixações dedicadas, pode-se concluir favoravelmente a respeito do potencial de redução de custos contido na adoção de sistemas reutilizáveis de fixações.

Aliás, a capacidade de reutilização dos elementos de fixação para sujeição de diferentes peças, a par da versatilidade e da adaptabilidade às mais diferentes

Aliás, a capacidade de reutilização dos elementos de fixação para sujeição de diferentes peças, a par da versatilidade e da adaptabilidade às mais diferentes condições de uso, são justamente os pontos que o autor Koch (1988) defende como principais argumentos para a adoção irrestrita deste tipo de sistema.

Corroborando essa posição, Miller (1986) argumenta que um adicional em flexibilidade é conferido ao processo mediante a possibilidade de utilização da mesma sujeição para a usinagem e o controle de qualidade, viabilizando assim o transporte automático, sem necessidade de manuseio intermediário da *peça em processo* desde a máquina operatriz até o equipamento de medição instalado no departamento de controle de qualidade.

Esse mesmo autor argumenta ainda que a utilização desses elementos acaba por trazer uma nova vantagem, que vem a ser a da redução dos valores imobilizados em acessórios, bem como do espaço destinado ao armazenamento desses no almoxarifado de ferramentas.

No que se refere ao tipo de empresa ideal para a utilização desse sistema de sujeição, o autor Beard (1991) indica as empresas de baixo volume e elevado *mix* de produção. Como forma de exemplificar o citado, ele cita a experiência da firma WABCO dos Estados Unidos, fabricante de sistema de freios, a qual produz cerca de 10.000 peças usinadas em seu parque fabril, contando, para tanto, com 7 centros de usinagem, o que implica, em termos de *set up* de equipamentos, a execução de 1 nova fixação a cada dia. Diante da magnitude dos números, a WABCO investiu cerca de US\$ 200,000.00 na aquisição de sistemas modulares, bem como numa estação gráfica

de computação para geração de documentação de processo, obtendo, como resultado, a flexibilidade descrita pelo autor em seu estudo de caso.

Em adição ao citado, o autor Koch (1988) define os sistemas de sujeição modulares como plataforma de base para a implantação bem sucedida de sistemas de CIM, bem como da filosofia Just-in-Time (JIT), haja vista a necessidade de ambos adaptarem-se rapidamente às mudanças ditadas pelo mercado consumidor.

Argumentando em favor do desenvolvimento de sistemas computacionais que viessem a automatizar a seleção e o projeto de fixações modulares (como é a proposta do CAF), os autores Nnaji, Alladin & Lyu (1990) apontam como vantagem o fato desses automatizarem a tarefa dos especialistas em fabricação, bem como a ocorrência de ganhos em qualidade, confiabilidade e agilidade a serem obtidas através da utilização de tais sistemas.

Finalmente, os autores Liou & Suen (1991) indicam que a viabilização de um sistema que viesse a automatizar o processo de seleção, projeto e gerenciamento de fixações modulares, constituir-se-á na derradeira ponte entre os sistemas CAD/CAM, bem como contribuirá para o incremento da flexibilidade nas tomadas de decisões dos sistemas de manufatura flexível - FMS. Na opinião destes autores, o CAF conferirá aos departamentos de fabricação uma vantagem competitiva enorme, baseado na possibilidade de avaliação mais completa de um produto ainda em seu estágio de projeto, referentemente a custos, tempos e condições de fabricação.

A figura 5 apresenta um exemplo das vantagens de utilização dos conjuntos modulares de fixação, quer seja pela flexibilidade na sujeição de peças de forma complexa, quer seja pela possibilidade de reaproveitamento posterior dos fixadores.

3.5 A oferta de soluções na área de fixações

A oferta comercial na área de fixações tem sido restrita em muito aos sistemas modulares de fixação, os quais são constituídos de elementos-padrões, destinados às funções de suporte, localização e sujeição da *peça em processo*.

Dentre os fabricantes tradicionais destes componentes, cite-se a Erwin Halder KG da Alemanha, Carr Lane Manufacturing dos Estados Unidos e a IMAO Corporation do Japão. Todas as empresas possuem sistemas computacionais de auxílio à seleção de conjuntos de fixação baseados em sistemas de CAD, os quais possuem uma interface com uma *base de dados* particular, a qual, por sua vez, nada mais é do que um catálogo eletrônico dos produtos oferecidos pela empresa. No caso do pacote desenvolvido pela Elwin Halder KG (1993), um sistema de CAD, classificado pelo fabricante como “neutro”, e baseado em plataformas HP 9000 Série 300, é utilizado para a especificação de fixações.

A Carr Lane Manufacturing Co. (1993), por sua vez, fornece um arquivo gráfico no formato do sistema de CAD do usuário, como no caso dos sistemas CADAM, CADKEY, CADDs, bem como nos formatos DXF e IGES. Esses arquivos contêm toda a relação de produtos e soluções desenvolvidos por esta empresa, podendo serem selecionados livremente pelo usuário, dentro de seu próprio sistema de CAD.

A IMAO Corporation (1992) desenvolveu um sistema de seleção de elementos baseado no *software* AUTOCAD, o qual incorpora as diferentes soluções tecnológicas desenvolvidas pela empresa nesta área.

Observe-se no entanto, que nenhuma destas soluções automatiza a tarefa de seleção e alocação de elementos modulares de fixação, conforme a necessidade das operações a serem executadas. Nesse contexto, supõe-se que o próprio usuário deverá selecionar no banco de dados do sistema o elemento modular que mais se adequa para o propósito desejado, não havendo nenhum teste de compatibilidade da solução adotada.

Igualmente, esses sistemas não verificam a confiabilidade da solução relativamente aos esforços a serem gerados quando da usinagem, bem como das deformações a serem experimentadas pela peça em processo. Na verdade, a qualidade da solução adotada estará diretamente relacionada com a *experiência* do técnico responsável, a qual, além de não estar isenta de falhas, tende a apresentar uma baixa produtividade.

3.6 Métodos para a verificação de esforços e prováveis deformações na peça

No que se refere à verificação dos esforços a serem suportados pelos elementos de fixação, destaca-se a utilização do *método de elementos finitos*, proposta no trabalho de Pham & Lazaro (1989), baseado no módulo disponível no sistema I-DEAS. Nesta proposta, um conjunto de *regras de conhecimento* conduz à adoção ou não deste recurso, estando ainda habilitada uma forma de definição interativa para este tipo de dimensionamento.

No que se refere à malha, a mesma é gerada, para peças simples, automaticamente, pelo respectivo módulo do sistema I-DEAS, podendo ser redefinida por ação do engenheiro, via uma intervenção interativa. Essas intervenções foram igualmente previstas para os casos de peças mais complexas, objetivando-se flexibilizar as definições, bem como aumentar a precisão dos cálculos a serem efetuados.

Neste contexto, assume-se que a deformação da peça está diretamente relacionada com a resistência às forças de usinagem e às forças exercidas pela fixação, o que abre margem para uma segunda análise a ser executada por este módulo, ou seja, a análise de integridade da *peça em processo*.

Em outras palavras, significa dizer que uma peça corretamente fixada no espaço, cuja fixação suporte os diferentes esforços a serem produzidos pelas diferentes ferramentas de usinagem, não necessariamente garantirá posterior precisão geométrica e dimensional na obtenção da *peça*, haja vista as alterações passíveis de serem produzidas pelas forças de fixação.

Considerando-se esse enfoque, o sistema dimensionará, em conjunto com o analista, os esforços reativos necessários à fixação da peça, bem como definirá um conjunto de posições viáveis para a localização dos mesmos. Além disto, esta ferramenta permitirá ao analista reavaliar os parâmetros de corte, buscando-se evitar deformações posteriores na *peça em processo*.

Ressalte-se, no entanto, que, nesta solução, independentemente do tipo de definição da malha, todas as forças são posicionadas interativamente no modelo pelo

operador. Isto é feito tanto para os esforços de usinagem, como para os esforços reativos de sujeição, o que obviamente, reduz a agilidade do sistema em responder às solicitações de esforços reativos.

Assim, a utilização do *método de elementos finitos* na determinação de esforços apresenta-se como a mais viável para o tipo de problema proposto nesta dissertação. No entanto, a nível de revisão bibliográfica, cite-se os trabalhos de Cabadaj (1989) e Nnaji, Alladin & Lyu (1990), os quais propõem a utilização de equações de equilíbrio, como forma de obter-se mais rápida e facilmente os esforços reativos a serem suportados pelos fixadores. Note-se no entanto, que as condições de equilíbrio somente se aplicam a problemas isostáticos, o que não é usual. Complementarmente, no trabalho apresentado por Nnaji, Alladin & Lyu (1990), os autores desenvolveram um conjunto de equações de equilíbrio, de forma a determinar as forças e os momentos reativos ideais, bem como suas coordenadas de atuação junto à *peça em processo*.

Ainda com referência à adoção do *método dos elementos finitos*, o autor Cabadaj (1989) analisa o trabalho desenvolvido por Lee & Haynes (1987), em que os autores desenvolveram uma análise numérica para fixações flexíveis. Nesta, a *peça em processo* é modelada como um corpo deformável baseado na elasticidade linear, incluindo o atrito de Coulomb. A análise fornece as forças de fixação, as deformações e a distribuição de tensões. Igualmente é definido o conceito de projeto ótimo para uma fixação. Este conceito define como ótimo um projeto que minimize as forças de sujeição, as tensões e as deformações, buscando-se evitar alterações geométricas e dimensionais (dimensões entre centros, cotas de referência, etc.) na *peça*, após finda a

usinagem. Por alterações, entenda-se o não atendimento das exigências geométricas de concentricidade, paralelismo, perpendicularismo, etc., bem como das cotas especificadas no projeto original ou definidas para a etapa de fabricação em questão. Em seu comentário sobre o trabalho desenvolvido, o autor cita que o procedimento anterior não é bem aplicável a soluções onde as relações entre as forças de fixação, as deformações e a distribuição de tensões no conjunto peça/fixação não possam ser negligenciadas.

Para estas situações, o autor Cabadaj (1989) apresenta uma proposta de solução, a qual consiste em uma análise matemática de um modelo de forças e sua comparação com as forças-limites exercidas pelos elementos de fixação. O modelo consiste em uma peça hipotética representada por um prisma com forças aplicadas sobre os pontos de atuação dos elementos de sujeição e de usinagem.

Um conjunto de equações de equilíbrio foram desenvolvidas, buscando-se determinar as condições de equilíbrio necessárias à fixação da peça em seus seis graus de liberdade, levando-se em consideração todos os esforços a serem desenvolvidos sobre a mesma.

Concluindo este tópico, deve-se observar que os métodos não numéricos são falhos, uma vez que não consideram as possibilidades de alterações geométricas e dimensionais da peça, bem como perdem em precisão por adotar simplificações de cálculo que, mesmo estaticamente, podem conduzir a erros graves de dimensionamento, inviabilizando desta maneira a elaboração de uma solução mais confiável.

3.7 Utilização de *regras de conhecimento* para tomada de decisões

Regras de conhecimento foram adotadas em sistemas de seleção de elementos de fixação modular para a seleção e a alocação dos diferentes componentes modulares a serem utilizados na sujeição, bem como para a definição da orientação da *peça em processo* no espaço.

Especificamente para a orientação da peça no espaço, cite-se o trabalho apresentado por Ferreira & Liu (1988), o qual inicialmente reduziu, via *regras de conhecimento*, os diferentes posicionamentos viáveis de orientação da *peça em processo* no espaço. Isso foi obtido mediante o condicionamento da viabilidade do posicionamento à existência de, no mínimo, um eixo para a usinagem associado a uma *forma característica* em questão. Numa segunda etapa, o autor seleciona, em função dos requisitos de fabricação, quais dentre as diferentes possibilidades de posicionamento viáveis correspondem às necessidades de processo especificadas para a sujeição em questão.

Adicionalmente, nos trabalhos de Liou & Suen (1991), Ferreira & Liu (1988), Pham & Lazaro (1989), Englert & Wright (1991) e Nnaji, Alladin & Lyu (1990), regras são usadas na identificação das *formas características* da *peça em processo* passíveis de serem utilizadas para a alocação de elementos modulares de fixação, bem como a pesquisa dos diferentes elementos que poderiam ser alocados a essas *formas características*, viabilizando a sujeição da *peça em processo*.

Igualmente, a seleção e a alocação dos elementos de fixação deverão ser guiadas por parâmetros como o estágio atual de processo da *forma característica* em

questão, as características da máquina operatriz referente aos seus eixos principais, a geometria da peça sólida, bem como os valores dos esforços de usinagem e da geometria das ferramentas utilizadas, etc.

A esse respeito, destacam-se os trabalhos de Liou & Suen (1991), Ferreira & Liu (1988), Anselmetti & Bourdet (1993), Englert & Wright (1991), Pham & Lazaro (1989), e Márkus, Rutt kay & Váneza (1990), os quais buscaram, via adoção de *regras de conhecimento*, flexibilizar a interação do usuário com o sistema, permitindo assim, por parte deste, a definição de regras personalizadas que venham a orientar as diferentes operações a serem realizadas pelo sistema.

Embora não seja do escopo deste trabalho definir *regras de conhecimento* que venham a orientar a implementação de um futuro *sistema de fixações assistido por computador*, exemplos de utilização de regras podem ser encontrados nos trabalhos dos autores Liou & Suen (1991), Ferreira & Liu (1988), Anselmetti & Bourdet (1993), Englert & Wright (1991), Pham & Lazaro (1989) e Márkus, Rutt kay & Váneza (1990).

3.8 Interfaceamento com sistemas CAD/CAM/CAPP e bases de dados

Conforme proposto por Liou & Suen (1991), Ferreira & Liu (1988) e Nnaji, Alladin & Lyu (1990), a estruturação de um sistema que venha a selecionar elementos de conjuntos modulares de fixação para operações de usinagem constituir-se-á num elemento essencial à integração entre os sistemas CAD/CAM.

Como argumento para tanto, cite-se o fato descrito por Pham & Lazaro (1989), onde nem sempre um determinado conjunto de operações especificadas

poderá ser realmente implementado na prática, considerando-se o elenco de restrições impostas pelo conjunto de fixação, sejam essas fixações modulares ou não.

Igualmente, para a elaboração pelo sistema de CAM de um programa CNC livre de riscos de colisão com os elementos de sujeição, conforme Liou & Suen (1991), faz-se necessário que o primeiro considere as restrições de acesso das ferramentas determinadas pelos elementos de fixação da *peça em processo*.

Relativamente ao tipo de máquina selecionada, as ferramentas adotadas, as operações especificadas, seus estágios de desenvolvimento em termos de precisão e acabamento superficiais, os autores Ferreira & Liu (1988), Pham & Lazaro (1989) e Cabadaj (1989) propõem que as mesmas estejam disponíveis em um arquivo do banco de dados do sistema, o qual pode vir a ser acessado pelo CAF, viabilizando a determinação das zonas de usinagem, fixação e acesso da *peça em processo*.

No que tange à integração de sistemas computacionais, relativamente à estruturação de sistemas de fixações assistida por computador, uma linha que tem orientado a maioria dos pesquisadores é a do desenvolvimento de sistemas de CAF utilizando-se como base o modelador geométrico de algum sistema de CAD - dentre estes, cite-se Grippo, Gandhi & Thompson (1987), Englert & Wright (1991), Nnaji, Alladin & Lyu (1990), Pham & Lazaro (1989) e IMAO Corporation (1992).

Para tanto, faz-se necessário que o sistema de CAD seja aberto, permitindo ao usuário personalizá-lo, possivelmente via uma linguagem de programação dedicada, com vistas ao desenvolvimento do CAF. Neste conceito, o CAF é implementado como um módulo do CAD, valendo-se do ambiente já disponível no CAD, facilitando

dessa maneira sua interação com o mesmo - Grippo, Gandhi & Thompson (1987), Englert & Wright (1991), Nnaji, Alladin & Lyu (1990) e Pham & Lazaro (1989).

Ocorre, no entanto, que a base para a elaboração do modelo geométrico ao nível do sistema de CAD, a ser adotada também como base para o CAF, não é consensual entre os pesquisadores. Diferentes aplicações foram desenvolvidas sobre as diversas plataformas existentes, como os modeladores dos sistemas CATIA - Nnaji, Alladin & Lyu (1990) - e I-DEAS - Pham & Lazaro (1989), existindo também soluções mais simples, como por exemplo o AUTOCAD, conforme citado nos catálogos técnicos da IMAO Corporation (1992).

Igualmente, alguns fabricantes fornecem seus produtos com a possibilidade de utilização dos mais diferentes formatos de armazenamento de arquivos gráficos (DXF, IGES, etc.), conforme observado nas propostas da Carr Lane Manufacturing Co.. No entanto, permanece pendente a questão da melhor solução computacional ao nível do ambiente gráfico.

Em adição ao sistema gráfico, conforme proposto por Nnaji, Alladin & Lyu (1990), faz-se necessário a conexão de uma *base de dados* estruturada para conter todas as informações relevantes aos sistemas de fixação modular existentes no mercado e para armazenar as soluções adotadas pelo sistema, tornando-as disponíveis quando do início de produção de um novo lote.

Relativamente a uma integração maior entre sistemas de *software* de finalidades específicas, cite-se o trabalho apresentado por Nnaji, Alladin & Lyu

(1990), o qual propõe, num plano mais amplo, a atuação harmônica entre os sistemas de CAD, *regras de conhecimento* e bases de dados.

A esta proposta, conforme será visto no decorrer desta dissertação, foi agregada a solução da simulação numérica, além de estabelecerem-se os requisitos para uma maior integração com os sistemas de CAPP.

Definidas as limitações das soluções atualmente em uso pelas empresas no que tange à qualidade e à confiabilidade, bem como o estágio atual das pesquisas com *sistemas de fixação assistidos por computador* e objetivando fornecer-se uma contribuição para a melhoria da qualidade na seleção, verificação e montagem dos *kits* modulares de sujeição, esta dissertação doravante ocupar-se-á com a definição das informações a serem inseridas no modelo geométrico do sistema de CAD com vistas à viabilização de sua posterior utilização por outros sistemas computacionais.

Posteriormente, será detalhado o fluxo de informações a serem estabelecidos entre o CAF e o CAPP, para finalmente definir-se uma sugestão de arranjo de diferentes sistemas computacionais e o correspondente fluxo de informações entre estes.

4. ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES PARA ESTRUTURAÇÃO E LIGAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA PEÇA E DOS ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

4.1 A análise do *estado da arte* e a proposta deste trabalho

Conforme visto no capítulo anterior, *características* são informações relativas a um detalhe específico da peça, as quais estão presentes e são identificáveis no modelo geométrico da peça, viabilizando-se o reconhecimento e a análise das peculiaridades da peça, passível de ser efetuada através de um programa de computador. Dentre estas, citem-se as *formas características*, dimensões, acabamentos, tolerâncias mecânicas, etc.

A proposta básica deste trabalho é a de que *formas características* específicas relacionadas com as fixações sejam incluídas no modelo geométrico gerado pelo sistema de CAD. Essas *características* seriam inseridas adicionalmente entre as *características* de processo destinadas aos sistemas CAPP.

A outra hipótese analisada seria a de extração automática dessas *características* a partir do modelo geométrico gerado pelo CAD. A opção pela solução do reconhecimento automático apresenta-se como a mais cômoda para o projetista, uma vez que o trabalho de identificação e extração das *características*

ficaria reservado ao sistema computacional. No entanto, conforme citado pelo autor Liou & Suen (1991), essa solução demanda elevado tempo de processamento computacional, o que fatalmente implica em uma indesejada redução de desempenho, mesmo utilizando-se *hardware* de maior capacidade.

A primeira solução, embora tenha sido a menos explorada (conforme atesta a literatura encontrada), parece ser mais viável, uma vez que apresenta uma maior aplicabilidade, sendo portanto de melhor potencial.

Porém, na primeira opção, será necessário a inclusão pelo projetista dessas informações quando da concepção da *peça em processo*, além de requerer uma grande quantidade de horas-homem para a revisão da *base de dados* gráfica já instalada na empresa.

Independentemente do método de utilização da *Tecnologia das Características*, a representação dessas no modelo descrito da peça viabilizaria a consulta por regras de uma base de conhecimento existente num sistema computacional, visando à seleção dos elementos de fixação (grampos, morsas, etc.) e dos elementos de localização (pinos, buchas, localizadores, etc.) mais adequados à etapa de fabricação pretendida.

Para tanto, faz-se necessário efetuar a estruturação das *características* da peça e dos elementos de fixação, como modo de estabelecer-se um elo de ligação entre estes, que viabilize essa seleção de elementos de fixação e localização pretendida.

Em se tratando de fixações mecânicas, e tendo-se em vista que o relevante é o contato superficial entre elemento de fixação e peça, decidiu-se que a descrição de

ambos em termos de *forma característica* será feita levando-se em conta que estas são superfícies (formas tipo 2D), por oposição às abordagens que consideram-nas elementos volumétricos (tipo 3D).

4.2 Estruturação das *características* de fixação de peças

Para a introdução de *características* no modelo geométrico das peças, bem como para a viabilização de sua identificação por parte do sistema baseado em *regras de conhecimento*, faz-se necessária a estruturação do conjunto de informações necessárias em agrupamentos específicos, conforme definidos a seguir.

4.2.1 Especificação de grupo de fixação.

Caracteriza em linhas gerais o tipo de *característica* a ser considerado, servindo de ligação entre o modelo computacional da peça e o sistema de CAF. Como exemplos de grupos, tem-se os seguintes: diâmetros, superfícies (planas, cônicas), etc.

A especificação dos grupos de fixação agilizará posteriormente a tarefa de seleção e alocação dos elementos modulares de sujeição pelo CAF, pois reduzirá o número de elementos a serem pesquisados na *base de dados*, bem como o número de análises de alternativas de posicionamento viáveis.

4.2.2 Especificação de atribuição de grupo de fixação.

Detalha a nível *macro* o grupo em questão. Ex.: para o grupo “diâmetros”, a atribuição definirá se o mesmo é *interno* ou *externo*, permitindo assim, no caso dos diâmetros, a rápida e correta seleção do pino ou bucha necessário à localização do elemento.

O detalhamento dessa informação será de vital importância quando da conexão posterior entre as *formas características* das peças e as dos elementos modulares de sujeição, pois isso permitirá ao CAF um acesso quase que direto aos elementos que se adequam à alguma(s) *forma(s) característica(s)* da peça em questão, ficando a seleção apenas condicionada adequação das dimensões da peça e do elemento modular.

Na figura 6, pode-se verificar os conceitos de especificação de grupo e especificação de atribuição apresentados em uma peça mecânica.

4.2.3 Especificação de dimensões.

Define a(s) dimensão(ões) do(s) elemento(s) de fixação. As informações serão armazenadas conforme o tipo de grupo, como genericamente exemplificado através do quadro abaixo:

Especificação de Grupo de Fixação	Especificação de Atribuição	Especificação de Dimensões
Diâmetros	Internos	Ø 24 x 50
	Externos	Ø 100 x 120
Superfícies	Plana externa	100x200x35
	Perfilada	Conf. modelo CAD

A especificação de dimensões das *formas características* das peças permitirá ao CAF, quando da conexão dessas com as *formas características* dos elementos modulares de sujeição, rapidamente selecionar aquele elemento que se adeque dimensionalmente à fixação.

4.2.4 Especificação de *referências de localização* das *formas características*.

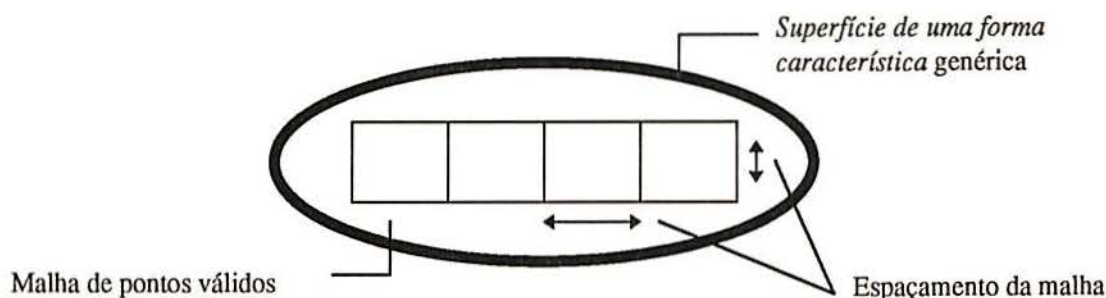
Essa informação define qual porção de um grupo de fixação será utilizada como referencial para a definição dos pontos de inserção dos elementos de fixação pelo sistema de CAF.

Para o caso de furos de guia, somente será representado o centro do mesmo. Em se tratando de superfícies pequenas e planas “simples” (retangulares, quadradas,

etc.), serão expressos alguns poucos pontos, os quais serão dependentes do intervalo de alocação dos elementos de fixação, a ser especificado pelo analista.

No caso de superfícies perfiladas ou simples de grandes dimensões, a definição de múltiplos pontos referenciais flexibilizará a disposição dos elementos de sujeição, em função de um menor número de combinações possíveis.

Para estes casos, far-se-á então necessário o estabelecimento, sobre cada *forma característica*, de uma malha de pontos válidos para a alocação dos elementos modulares na citada *forma*. O espaçamento da malha poderá ser definido livremente pelo usuário nos eixos X, Y e Z, como forma de conferir-se uma maior precisão na determinação das prováveis posições de alocação.



Desta forma, garantir-se-á a correta disposição dos elementos de fixação e localização relativamente à cada *forma característica* da *peça em processo*, e conseqüentemente, aos *encaixes-padrões* das bases de fixações modulares.

Assim, no caso dos *diâmetros*, os mesmos terão somente uma posição de alocação para o localizador, qual seja, o seu próprio centro. As faces por seu turno, em função das diferentes posições viáveis para a alocação do grampo de fixação, deverão ser divididas em malhas de pontos válidos,

Na figura 7, pode-se observar uma representação da malha de pontos aplicada à face lateral da *peça em processo*, colaborando, dessa forma, para a redução do número de posições viáveis para a alocação dos elementos modulares de fixação, permitindo assim a agilização do trabalho de posicionamento dos elementos pelo CAF.

4.2.5 Especificação das referências de processo.

As referências de processo foram criadas com o objetivo de apreenderem a informação sobre o *status* de fabricação da peça.

Algumas das *características* da *peça em processo* que vão sofrendo alterações ao longo do processo de execução da fabricação são as seguintes: estado de acabamento superficial, dimensões e tolerâncias, existência de sobrematerial, etc.

A especificação destas informações relativamente à cada *forma característica* constituinte da *peça em processo* em questão, considerando-se cada etapa do processo de fabricação em análise, permitirá a identificação, via a utilização de *regras de conhecimento*, da viabilidade de utilização da fixação especificada. Assim, por exemplo, cada ponto de aperto ou cada localização de referência para a execução de posteriores operações de usinagem poderão vir a ser identificados na *peça em processo*.

Assim sendo, num primeiro instante, as referências de processo nada mais são do que as especificações iniciais de projeto da *peça em processo*. Porém, à medida que o CAPP vai definindo operações a serem efetuadas sobre a *peça em processo*, as referências de processo irão sendo alteradas, sendo que a referência de processo de

qualquer etapa de fabricação será igual ao estado final desejado para a *característica*, a menos das transformações a serem ainda executadas nesta.

Essa informação, ao ser incluída na interface CAPP/CAF, viabilizará a aplicação das *regras de conhecimento* para a seleção dos diferentes elementos de fixação a serem empregados, pois, uma vez especificado um conjunto de operações pelo CAPP, o CAF determinará, para aquele estágio de fabricação, qual o estado atual da peça, podendo decidir então pela utilização dos elementos geométricos de referência mais adequados para a fixação da mesma.

Por exemplo, um elemento dessa ordem pode vir a ser um *diâmetro*, a ser utilizado como referência para a introdução de um localizador. Pode também ser detectada a necessidade da interposição de localizadores pontuais, ambos objetivando garantir a precisão da *peça em processo* nas usinagens a serem realizadas, ou ainda atender-se a necessidade de existência de um *ponto-zero peça* requerido pelo sistema CAM/CNC.

Como exemplo da especificação da referência de processo, pode-se observar, na figura 8, o guiamento das carcaças pelo furo previamente usinado, viabilizando, desta forma, por exemplo, a posição das usinagens executadas nesta sujeição relativamente ao furo de guia executado previamente.

Na figura 9, observa-se que, baseado na especificação de processo, foi viabilizada a aplicação do esforço de sujeição sobre uma aresta não usinada (bruta), sem no entanto comprometer-se a precisão geométrica e dimensional da *peça em processo*.

4.2.6 “Hot Point”.

Este termo determinará doravante um qualificador daquelas *características* a serem consideradas prioritárias na localização dos elementos de fixação no modelo geométrico da *peça em processo*. Sua definição poderá ser baseada em estudos através do módulo de análise por elementos finitos, quando da concepção do ítem em questão, bem como guiada pela experiência do projetista. Observe-se que a última opção é muito comum na indústria de autopeças, cujos projetos costumam incluir detalhes construtivos nos modelos a serem fundidos e/ou forjados, os quais viabilizam a utilização desses pontos como futuras áreas de localização e/ou apoio/aperto para a operação de usinagem.

Na figura 10, pode-se observar que a borda anular da carcaça mostrada possui como uma de suas funções a viabilização da sujeição da mesma, independentemente da seqüência de execução da usinagem da base de apoio. Neste caso, o sistema de CAF contaria com uma série de *hot points* localizados sobre o anel descrito.

Igualmente na figura 11, pode-se visualizar o aproveitamento das nervuras da *peça em processo* como *hot points* para a alocação dos elementos modulares de sujeição.

4.2.7 Aplicações da *forma característica*.

Define as diferentes aplicações relacionadas com a fixação da *forma característica* ou de alguns de seus constituintes geométricos (superfícies, determinadas dimensões). Assim sendo, será possível definir a utilização de elementos

4.2.7 Aplicações da *forma característica*.

Define as diferentes aplicações relacionadas com a fixação da *forma característica* ou de alguns de seus constituintes geométricos (superfícies, determinadas dimensões). Assim sendo, será possível definir a utilização de elementos geométricos para a alocação de fixadores e/ou localizadores. Esta informação será útil quando da disposição automática dos elementos de fixação pelo CAF.

Na figura 12, pode-se observar que a *forma característica* cilíndrica apresenta-se sujeitada por um grampo de fixação cuja forma característica adequa-se à da peça a ser fixada. No entanto, o citado grampo igualmente poderá ser utilizado para a fixação de outras *formas características* existentes, conforme mostrado na mesma figura.

Na figura 13 pode-se observar um outro conjunto de diferentes possibilidades de conexão entre *formas características* de peças e fixadores.

4.2.8 Modelo geométrico da peça.

Gerado no sistema CAD, essa informação será utilizada nas análises de interferências entre elementos de fixação e ferramentas de corte e partes da *peça em processo*. Evidentemente, dada a natureza da análise a ser efetuada quanto à fixação, é necessário contar com um sistema de CAD capaz de obter a representação geométrica com elevado nível de detalhamento, aumentando assim a precisão da verificação de interferências, permitindo também visualizações mais realistas do conjunto como um todo. É suposto que os modeladores geométricos baseados na

Tecnologia das Características sejam capazes de prover uma base confiável neste sentido.

4.3 Estruturação das *características* dos elementos de fixação

Para que os elementos de fixação modulares padrão possam ser reconhecidos pelo sistema, bem como manipulados por *regras de conhecimento*, faz-se necessário a sua estruturação em agrupamentos específicos conforme mostrado a seguir.

4.3.1 Identificação da classe do elemento.

Define, sob o ponto de vista da sua natureza como componente mecânico, a classe do elemento em questão, tais como grampos, buchas, pinos, batentes fixos, bases, etc.

4.3.2 Especificação de tipo de elemento de fixação.

Define se o elemento em questão é um elemento que exerce a sujeição (por exemplo, um grampo), a localização de referência para usinagens CNC (por exemplo, um pino guia), ou se o mesmo é uma base de apoio modular para outros elementos. Outros exemplos de elementos são bases de apoio angular, batentes, etc.

Como ilustração, as figuras 14, 15 e 16 mostram, pela ordem, um localizador de furos previamente usinados, uma base de apoio angular e um suporte de apoio regulável.

4.3.3 Especificação da *forma característica* de sujeição.

Caracteriza genericamente a *forma característica* do elemento modular de fixação mais diretamente utilizada para sujeição, isto é, a que é envolvida no contato entre peça e elemento de fixação. Permitirá, assim, a posterior ligação, pelo CAF, destas às *formas características* das peças. Como exemplos de grupos temos os diâmetros, as faces, etc.

4.3.4 Especificação de conexão.

Especifica as conexões viáveis entre os elementos geométricos constituintes das *formas características* dos elementos de fixação e os elementos geométricos das *formas características* correspondentes nas peças. Ex.: *Características* do tipo *diâmetro interno* de peças são localizadas/fixadas por *características* de *diâmetro externo* dos elementos de fixação.

Na figura 17, pode-se observar diferentes possibilidade de conexões viáveis entre diferentes *formas características* (no caso das superfícies cilíndricas) de uma *peça em processo* e dos elementos modulares de fixação correspondentes.

Na figura 18, pode-se observar a conexão entre uma *forma característica* plana da *peça em processo* e as formas características dos dois diferentes elementos de fixação que a ela adequam-se, respectivamente, um grampo e um suporte de apoio.

4.3.5 Modelo geométrico do elemento de fixação.

Gerada no sistema de CAD, também baseado na descrição via *Tecnologia das Características*, essa informação viabilizará a análise de interferências entre elementos de fixação e ferramentas de corte e partes da *peça em processo*.

Observe-se que, no escopo deste trabalho, procura-se obter uma especificação formal tão genérica quanto possível para o sistema de CAF, daí resultando ser necessário tornar o modelo geométrico do elemento de fixação tão independente quanto possível do modelador a ser escolhido. Contudo, ressalte-se a importância da nova abordagem proposta, que é a descrição dos elementos de fixação através da *Tecnologia das Características*, e a vantagem advinda deste fato em termos de análise de adequação da fixação da peça a ser efetuada.

4.3.6 Referências para acoplamento.

Definem, para cada elemento de fixação modular, o tipo de superfície de assentamento, as coordenadas de referência para a alocação da mesma junto à forma característica da peça e as coordenadas de referência para a alocação de acessórios do elemento.

Esses dados serão utilizados na seleção da posição de inserção do elemento de fixação sugerida pelo sistema de CAF, bem como quando do cálculo de esforços reativos necessários pelo módulo de cálculo de tensões de fixação a ser explanado posteriormente.

Observe-se que é suposto, com base na descrição de peças e elementos de fixação através do modelador de *características*, que cada uma dessas possui associada a si um sistema de coordenadas local, além da existência de um sistema global ao qual estão referidas as peças e elementos de fixação participantes no processo de fabricação, e sobre o qual serão baseadas as análises do módulo de cálculo de tensões de fixação (MCT).

Embora não tenha sido encontrada menção na bibliografia consultada sobre a associação de sistemas de coordenadas a elementos de fixação modular, urge a determinação de um padrão para tanto.

Assim, quando da aquisição de um *kit* modular, o usuário poderia vir a receber juntamente com os componentes, por exemplo, um disquete ou CD editado pelo fabricante, o qual conteria todas as informações relativas aos elementos selecionados, viabilizando desta forma sua imediata inserção na *base de dados* do CAF.

Embora o detalhamento deste tópico não faça parte do escopo deste trabalho, o autor acredita que este ponto não constituirá maior problema quando da implementação de um sistema computacional de CAF, haja visto que alguns sistemas de *Projeto Assistido por Computador* (CAD) já resolveram questões semelhantes, como é o caso, da análise e projeto das montagens automáticas de peças em grupos construtivos.

Nas figuras 19, 20 e 21 são mostrados alguns exemplos de sistemas de coordenadas associados a *formas características* de elementos de fixação modular.

4.3.7 Vetores de esforços admissíveis.

Definem, relativamente ao sistema de coordenadas declarado anteriormente, o tipo, o módulo, a direção e o sentido dos esforços admitidos pelo elemento modular em questão. Essa informação é utilizada na seleção dos diferentes elementos possíveis para sujeição, localização e suporte a ser executada pelo CAF, conforme cada solução para fixação provar sua adequação em termos da exigência relativa aos esforços.

Igualmente, com relação a este tópico, não foi encontrada menção na bibliografia consultada sobre os limites dos esforços máximos suportados por um dado elemento de fixação modular; sendo necessário, portanto, que pesquisas venham a ser desenvolvidas sobre o assunto, como forma de melhor embasar os cálculos de esforços a serem feitos pelo módulo de cálculo de tensões de fixação.

No entanto, o autor acredita que, baseado em sua experiência com a montagem e o controle de qualidade de máquinas operatrizes CNC, poder-se-ia aceitar uma deformação máxima de 0,005 mm em um elemento de fixação modular, a qual, respeitadas as exigências geométricas e dimensionais da *peça em processo*, não comprometeriam a rigidez do conjunto modular em análise.

Finalmente, no último capítulo, será apresentada uma análise das prováveis falhas de uma fixação, as quais são decorrentes do incorreto dimensionamento dos esforços de fixação e podem ser divididas em “*falhas na peça*” e/ou no “*conjunto modular selecionado*”. Nas figuras 22, 23 e 24, pode-se observar uma representação esquemática dos esforços admissíveis pelos elementos modulares de fixação indicados no tópico anterior.

4.3.8 Faixa de atuação do elemento.

Descreve a capacidade e o tipo de regulagem do elemento de fixação. Esta informação será utilizada pelo CAF quando da definição dos limites de atuação de um dado elemento de sujeição, bem como da necessidade (ou não) da adoção de algum acessório espaçador no conjunto. Como exemplo da faixa de atuação dos elementos modulares de sujeição, cite-se o caso do mandril expansivo, que possui uma faixa de regulagem diametral de 12 até 18 mm. Note-se que essas são *características* específicas de cada elemento de fixação. Na figura 25, pode-se observar a faixa de atuação de um grampo de sujeição modular.

4.3.9 Acessórios.

Descreve os acessórios que se adequam aos elementos selecionados, bem como viabilizam a obtenção da posição espacial desejada para a peça. Os acessórios também são modelados através de modeladores geométricos baseados na *Tecnologia das Características*.

Estes acessórios deverão ainda ser divididos em obrigatórios e opcionais. Os obrigatórios, como a própria denominação indica, seriam utilizados sempre que selecionado um dado elemento modular. Os opcionais por sua vez, seriam selecionados quando da necessidade, por exemplo, no caso de um grampo de sujeição, de obter-se uma determinada cota em altura para o ponto de aplicação dos esforços de fixação.

A figura 26 exemplifica alguns acessórios utilizados em um conjunto de sujeição modular.

4.4 A ligação entre a peça e os elementos de fixação através das *características*

Dadas as *características* relacionadas com as fixações da peça, bem como as dos elementos de fixação, um sistema manipulador de *regras de conhecimento* poderá, uma vez informado da disposição e magnitude dos esforços de usinagem, seleccionar os elementos de fixação adequados à cada *forma característica* de fixação definida.

Na figura 27, pode-se observar um exemplo simples de conexão entre as *formas características* da peça e dos elementos de sujeição.

A seleção das *formas características* da peça poderá ser feita inicialmente via busca dos *hot points*, ou através da utilização de *características* de usinagem geradas em etapas anteriores do processo de fabricação, especificadas pelo sistema de CAPP, e presentes no modelo geométrico da *peça em processo*.

Adicionalmente, poder-se-á utilizar o próprio modelo geométrico para uma identificação, em primeira instância, dos possíveis pontos de aperto e/ou localização na peça.

Uma vez estabelecidos os elos de ligação entre as peças e os elementos de sujeição, discurrir-se-á em maiores detalhes no próximo capítulo sobre a atuação conjunta do sistema de CAF e do sistema de CAPP.

4.5 Bases de dados de elementos de fixação padronizados

Dentro do conceito de fabricação flexível, os elementos modulares de fixação desempenham um papel fundamental, uma vez que reduzem a necessidade de investimentos fixos em dispositivos dedicados, além de diminuir o tempo de *set up*.

Esta é uma característica importante em indústrias que produzem pequenos lotes de peças, prestadoras de serviço de usinagem, ou até mesmo, conforme demonstrado na revisão bibliográfica deste trabalho, grandes empresas que buscam aumentar sua flexibilidade ao nível da gama de produtos e de processos de fabricação, aliada a uma redução de investimentos mais sensível.

Esses fatos, somados, acabaram por gerar uma total falta de padrão a ser seguido entre os diferentes produtos orientados à fixação de peças oferecidos pelo mercado, dificultando assim o tratamento computacional da análise dos elementos de fixação.

Ocorre, porém, que a estruturação dessa informação constitui um elemento fundamental dentro do processo de elaboração de um sistema de CAF, uma vez que proverá o sistema com a informação relativamente aos elementos de fixação a serem selecionados na forma de uma *base de dados*. Observe-se que a modelação dos elementos de fixação permitirá avaliar a aplicação efetiva de cada elemento no que refere-se à orientação de montagem, à sua faixa de atuação e aos esforços máximos admitidos, viabilizando, deste modo, a seleção do *kit* modular mais adequado à condição de usinagem pretendida.

Não obstante isto, a proposta de definição de *formas características* para elementos de fixação e de *formas características* correspondentes nas peças, é uma primeira tentativa de melhor estruturar-se a informação relativa à capacidade de fixação da *peça em processo* por critérios geométricos; permitindo assim o seu rápido e fácil tratamento computacional, bem como viabilizando a tomada de decisões por sistemas baseados em conhecimento. Porém, far-se-á necessário o desenvolvimento de pesquisas posteriores para a verificação e possível ampliação da estruturação de informações proposta por este trabalho.

Além disto, deverão ser executas pesquisas para a determinação, por exemplo, dos esforços máximos admitidos por um grampo de sujeição, bem como a força que o mesmo exerce sobre a *peça em processo*, como forma de subsidiar-se o dimensionamento de esforços no módulo de cálculo de tensões de fixação mencionado no capítulo anterior.

4.6 Seleção de elementos baseado em *regras de conhecimento*

A utilização das potencialidades de sistemas computacionais baseados na utilização de técnicas de Inteligência Artificial, combinado com uma *base de dados* de elementos-padrão como a descrita no tópico anterior, constitui a base do sistema de CAF proposto nesta investigação.

Nesta sinergia, a inclusão do conhecimento de especialistas em projeto e desenvolvimento de fixações no sistema de CAF automatizaria o processo de tomada de decisões por parte do sistema, permitindo que a seleção dos elementos mais adequados fosse feita levando em consideração todo o conjunto de restrições e regras

presentes na base de conhecimento do sistema. Essa base de conhecimento deverá ser aberta permitindo que a equipe de engenheiros de processo venha a agregar novas regras úteis ao seu aperfeiçoamento.

A possibilidade de particularização de regras cresce de importância à medida que verifica-se a especificidade de cada *peça em processo* no que refere-se às tolerâncias, etapas de processo, aos acabamentos e procedimentos relativos aos pontos preferenciais para fixação (*hot points*). Em alguns casos, essas informações constituem-se em segredos de fabricação do produto, não sendo, portanto, de interesse do fabricante a sua divulgação.

Embora, conforme descrito anteriormente, não tenham sido encontradas na literatura consultada um número razoável de regras voltadas para o tema tratado, o autor, baseado em sua experiência, sugere a seguir algumas *regras de conhecimento* que poderiam ser utilizadas na estruturação de um sistema de CAF:

- ⇒ Para o caso de peças que possuam alguma especificação inferior a IT9, não serão admitidas deformações geométricas e dimensionais na mesma superiores a 0,005 mm;
- ⇒ Independentemente das dimensões da *peça em processo*, não será admitida nenhuma deformação geométrica ou dimensional na mesma que venha a exceder a 1/4 da tolerância especificada para a forma característica ou característica de processo em questão;
- ⇒ A alocação dos elementos de fixação deverá seguir a regra 3/2/1, ou seja, inicialmente deverão ser dispostos os 3 elementos de

suporte da *peça em processo*, formando-se desta maneira o plano de sustentação. Posteriormente, serão alocados os dois elementos de localização, para finalmente, posicionar-se o elemento de sujeição.

- ⇒ Caso o sistema de CAPP tenha definido algum furo pré-usinado anteriormente como referência para a programação CNC, e o mesmo não possua uma dimensão de ajuste, deverá o sistema de CAF localizá-lo através de um localizador cônico;
- ⇒ No caso de centros de usinagem verticais, quando da determinação da orientação espacial da peça, deverá o sistema de CAF testar as diferentes possibilidades de posicionamento da mesma que viabilizem o posicionamento de todos eixos prioritários de usinagem das *características* paralelamente ao eixo Z da máquina;
- ⇒ No caso de centros de usinagem horizontais, deverá o sistema de CAF testar o paralelismo dos eixos prioritários relativamente ao eixo Z, bem como a coplanaridade desses eixos prioritários de usinagem relativamente ao plano XY da máquina operatriz;
- ⇒ Caso a peça apresente superfícies brutas, o sistema dará prioridade à seleção de elementos fixadores com superfície de contato recartilhadas, como forma de aumentar-se a rigidez do conjunto;

- ⇒ Caso a superfície sobre a qual o sistema de CAF alocará o fixador já encontre-se na dimensão e acabamento especificados, porém sem tratamento superficial, o sistema dará prioridade para a alocação de elementos modulares com dureza inferior à da *peça em processo*, como forma de garantir a integridade da mesma;
- ⇒ Caso alguma das regras acima tenham sido violadas, o sistema deverá buscar inicialmente reduzir os esforços de fixação exercidos pelos elementos modulares mediante a definição de outros componentes;
- ⇒ Na impossibilidade de substituição desses componentes, o sistema deverá então alocar suportes compensadores ajustáveis, os quais venham a eliminar as deformações em questão;
- ⇒ Na hipótese de inexistirem na base de dados de elementos soluções que atendam ao especificado anteriormente, o sistema de CAF deverá então acionar o sistema de CAPP para a realização das alterações cabíveis no plano de processo.

4.7 Interface programável para o modelador geométrico do CAD

Tendo-se em vista a necessidade da utilização de recursos gráficos por parte do sistema de CAF, existem duas possibilidades a serem consideradas quando do desenvolvimento do mesmo:

- ⇒ na primeira, um módulo gráfico totalmente novo e independente seria desenvolvido para suportar o tratamento da informação gráfica. No entanto, o mesmo deverá ser interfaceável com o sistema de CAD através de padrões reconhecidos, como IGES, STEP, DXF, etc.;
- ⇒ na segunda, o sistema de CAF poderia ser desenvolvido valendo-se dos recursos gráficos do próprio sistema de CAD, atuando, porém, como um subprograma à parte; este coordenaria a troca de informações entre os módulos de cálculo de tensões de fixações e o baseado em conhecimento, além de interagir com o sistema de CAPP.

A segunda solução, embora particularizada, parece ser a mais vantajosa, uma vez que agilizaria a execução do projeto, além de compartilhar dos desenvolvimentos alcançados pelo sistema de CAD escolhido quanto à modelação geométrica de peças e a aspectos de computação gráfica.

Uma outra vantagem adicional seria a de que todo o tratamento de informações gráficas seria feito em um único ambiente, aumentando assim a performance do conjunto como um todo, e eliminando-se a chance de erro ou perda parcial de informações na interface dos diferentes módulos.

Independentemente da solução adotada ao nível do modelador geométrico, será imprescindível que sejam respeitadas as colocações aqui expostas.

5. A INTER-RELAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS COMPUTACIONAIS

A fixação de um determinado componente mecânico a ser usinado está diretamente relacionada com a seqüência de operações definida para a peça em questão, o que, por sua vez, acabará por determinar a disposição final dos elementos de apoio, localização e sustentação a serem selecionados pelo sistema de CAF.

Assim sendo, uma determinada seqüência de operações definida pelo CAPP poderá não ser viabilizada na prática, existindo a impossibilidade de fixar-se a *peça em processo* confiavelmente na máquina.

Além dos problemas de acesso de todas as ferramentas (listadas no *plano de processo*) à *peça em processo*, um outro problema pode inviabilizar a seqüência de operações definida, que é a dos elevados esforços de corte resultantes da usinagem, os quais poderão comprometer a fixação para a usinagem e a obtenção da precisão geométrica dos elementos usinados.

Um exemplo claro disso encontra-se na fabricação de carcaças de discos flexíveis, as quais, embora demandem pequenos esforços de usinagem, em função do tipo de material e do sobrematerial envolvido, freqüentemente apresentam

deformações posteriores à usinagem, indicando que o par processo/fixação necessitaria ser revisto.

A solução para tal problema poderia ser a alteração da posição dos elementos de fixação e localização da peça. Uma outra solução seria uma alteração nos parâmetros de corte estipulados.

Desta forma, o dimensionamento de um processo de fabricação não poderá ser executado exclusivamente no sistema de CAPP como inicialmente pensado, mas sim, será resultado de repetidas interações entre este e o sistema de CAF, objetivando-se encontrar uma solução mais otimizada para o problema.

Assim, os próximos tópicos definirão a conexão do módulo de cálculo de esforços de fixação e do sistema de CAF, bem como o conjunto de informações a serem intercambiadas entre o sistema de CAPP e o sistema de CAF.

5.1 Conexão com um módulo de cálculo dos esforços de fixação

A conexão com um módulo de cálculo dos esforços relativos à fixação deverá viabilizar o correto dimensionamento dos elementos de fixação, garantindo que os mesmos resistam aos esforços gerados pela usinagem. Esse módulo, via de regra, utiliza uma ferramenta computacional baseada no Método dos Elementos Finitos.

Igualmente, essa conexão permitirá a avaliação de eventuais deformações na *peça em processo*, as quais podem ser resultantes dos altos esforços de usinagem ocasionados pelos parâmetros de corte definidos no *plano de processo*, ou por elevadas solicitações resultantes impostas pelos elementos de fixação.

Desta forma, garantir-se-á a precisão geométrica e dimensional da *peça em processo*, bem como, em conexão com o sistema de CAPP, viabilizar-se-á uma melhor definição dos parâmetros de corte pelo sistema de geração de *planos de processos*.

A combinação desses fatores, respeitadas as especificações de projeto da *peça em processo*, viabilizará a simulação de ciclos “*realísticos*” de fabricação, e a conseqüente determinação de seus custos totais, reduzindo desta forma a necessidade de onerosos testes e verificações junto à máquina-operatriz, colaborando assim para a redução do tempo total de introdução de um novo produto no mercado.

No que se refere ao programa baseado no Método de Elementos Finitos a ser adotado, não pertence ao escopo deste trabalho tecer maiores comentários sobre o mesmo. No entanto, quando da implementação de um sistema de CAF, haverá que se considerar os seguintes tópicos:

- ⇒ o protocolo e o formato de transmissão de dados relativos aos esforços previstos no CAPP, para o módulo de cálculo de rigidez da fixação;
- ⇒ o formato de resposta do módulo de cálculo de tensões de fixação para o sistema de CAF, de forma que este possa, baseado em *regras de conhecimento*, decidir, por exemplo, pela interposição de um suporte compensador de deformações oriundas da usinagem;
- ⇒ a possibilidade de agregar *regras de conhecimento* ao módulo de cálculo de tensões de fixação, como forma de qualificar-se o dimensionamento dos esforços reativos de sujeição. Neste caso, o

próprio sistema de cálculo poderia varrer o modelo geométrico da *peça em processo* na busca de posições alternativas e ótimas para a aplicação desses esforços reativos.

5.2 Informações do CAPP para o CAF.

Uma vez elaborado o *plano de processo*, com as operações de fabricação definidas pelo sistema de CAPP, este deverá examinar a possibilidade de execução do conjunto de operações de usinagem especificadas no que refere-se à viabilidade de fixação da *peça em processo*.

Neste contexto, as informações expostas a seguir deverão ser transferidas do sistema de CAPP para o sistema de CAF.

5.2.1 Seqüência de operações.

Deve-se transferir a *seqüência* de operações a serem executadas na máquina (às quais estão associadas as respectivas fixações a serem analisadas) para o CAF, juntamente com as *características* de fixação associadas a essas operações.

Adicionalmente, em conjunto com o modelo geométrico da ferramenta de corte em questão, transfere-se a definição das áreas de acesso a serem respeitadas e utilizadas pelo conjunto de *regras de conhecimento* existentes no CAF para a alocação dos elementos de fixação.

5.2.2 Máquina selecionada.

O sistema de CAPP informa ao sistema de CAF a máquina a ser utilizada, com a descrição desta em termos de dimensões da mesa, cursos, pontos de referência, bucha central e rasgos de chaveta para guia de dispositivos, etc.

Evidentemente é necessário existir modelos das máquinas em bases de dados, aos quais o sistema de CAPP tem acesso. Eventualmente, essas bases de dados poderiam ser consultadas diretamente pelo sistema de CAF.

5.2.3 Ferramentas de corte utilizadas.

O sistema de CAPP informa ao sistema de CAF as especificações das ferramentas de corte em especial, seus modelos geométricos. Também são repassadas ao sistema de CAF as áreas de acesso utilizadas pelas ferramentas de corte. Esta informação é particularmente útil quando do teste de interferências a ser realizado por simulação computacional da operação de fabricação, que utiliza os modelos geométricos da peça e das ferramentas (de corte e de fixação).

5.2.4 Esforços de corte calculados.

Estes valores serão utilizados posteriormente pelo módulo de cálculo de esforços elementos finitos para o dimensionamento e posicionamento dos elementos de fixação e dos suportes destinados a eliminarem possíveis deformações mecânicas na *peça em processo*.

5.2.5 Eixos principais de orientação da peça.

Eixos principais de orientação da peça são aqueles eixos relacionados com a atuação de uma ferramenta de usinagem nas diferentes *formas características* a serem produzidas com a citada ferramenta dentro da fixação em estudo. Desta forma, um fresamento em faceamento será definido por um eixo perpendicular ao plano da *forma característica* em questão, assim como, no caso de uma furação, o eixo prioritário coincidirá com o próprio eixo de simetria do furo a ser usinado.

A consideração destas informações quando da especificação da fixação reduzirá em muito as possibilidades de posicionamento da *peça em processo* a serem testadas pelo sistema, viabilizando desta maneira um processamento mais rápido por parte do sistema de CAF.

A figura 28 contém dois exemplos da utilização da informação relativa aos eixos prioritários de orientação da peça para a determinação do posicionamento espacial da *peça em processo*.

Na figura 29, observe-se que a combinação entre as *características de processo* a serem atendidas nesta sujeição e os respectivos eixos prioritários de orientação da peça conduziram à única posição viável para o posicionamento da carcaça em questão

5.2.6 Estágio de acabamento das *características* na respectiva etapa de fabricação.

Esta informação permite que conheça-se a configuração geométrica da *peça em processo* em cada etapa da fabricação. Isto inclui o seu dimensionamento, os valores de tolerância dimensional inerentes, as tolerâncias geométricas e o estado de acabamento superficial de cada *forma característica* componente da *peça em processo*. Porém, observe-se que as *formas características* presentes no modelo geométrico da peça acabada podem não estar presentes nas etapas iniciais e intermediárias do processo de fabricação.

Esta informação será utilizada pelo CAF para a determinação das prováveis posições de alocação dos grampos, suportes e localizadores do *kit* modular de sujeição.

Na figura 30, observa-se o conjunto de elementos modulares selecionados para a localização e sujeição de peças brutas de fundição.

Na figura 31, em contraste a figura anterior, observa-se o conjunto de elementos modulares selecionados para a localização, suporte e fixação de uma peça pré-usinada.

5.2.7 Referências de fixação.

São referências adotadas pelo sistema de CAPP para a garantia das tolerâncias especificadas no projeto da *peça em processo*. Assim, uma face usinada poderá ser utilizada como superfície de apoio para a próxima fixação, como forma de garantir-se

o paralelismo/perpendicularismo especificado entre esta e as próximas usinagens a serem executadas.

Na figura 32, observa-se que a peça à direita ainda não foi usinada, o que significa, que somente na segunda fixação, indicada à esquerda na foto, o sistema de CAF poderá alocar um localizador ao diâmetro indicado.

Igualmente, ocorrerão situações em que o sistema de CAPP determinará, por exemplo, que um furo já usinado seja utilizado como referência para as próximas usinagens a serem executadas, como forma de garantir a posição destas ao citado, independentemente deste ser utilizado, ou não, como ponto de referência na programação CNC. Neste caso, o sistema de CAF, baseado nesta informação, deverá selecionar um pino localizador que seja adequado à dimensão do furo, e, a partir daí, os demais elementos necessários à constituição do *kit* de fixação.

Na figura 33, observa-se a utilização, pelo sistema de CAF, de um furo já usinado e previamente definido pelo CAPP como *ponto zero* para a programação CNC, como passo inicial para a alocação dos elementos de fixação modular.

5.3 Transferência de informações do sistema de CAF para o sistema de CAPP.

No sentido de implementar-se o ciclo de informações na busca de soluções, o sistema de CAF retorna informações ao sistema de CAPP sobre a viabilidade de obtenção da fixação desejada para o conjunto de operações solicitadas, utilizando-se, para tanto, dos componentes modulares constantes na *base de dados*.

Observe-se, que não se afasta em princípio a hipótese de que algumas operações de usinagem planejadas pelo sistema de CAPP não sejam exequíveis com a utilização de uma única fixação. Este seria, por exemplo, o caso da obstrução do acesso de uma determinada ferramenta pelo elemento de fixação, ou mesmo a impossibilidade de, com os elementos padrões existentes na *base de dados*, fixar-se a peça de modo a atender o conjunto de operações especificadas.

Nestes casos, caberá ao sistema de CAF informar a ocorrência dessa situação ao sistema de CAPP, o qual deverá optar entre remover da lista de operações aquelas que apresentem problemas, ou, apoiado em sua *base de conhecimento*, por exemplo, adotar ferramentas especiais de usinagem que venham a viabilizar o inicialmente proposto.

Na figura 34, pode-se observar a inviabilização da usinagem de uma *forma característica* da peça pela disposição dos elementos de fixação selecionados.

Um outro ponto a ser considerado é o da possibilidade de que os parâmetros de usinagem selecionados pelo sistema de CAPP, embora de máxima produtividade, gerem esforços de corte muito elevados, os quais, após análise pelo módulo de cálculo de esforços, indicariam uma tendência à geração de deformações permanentes na *peça em processo* - ou a uma provável falta de rigidez no conjunto de fixação.

Caso esses problemas não possam ser resolvidos pelo sistema de CAF através da adição de suportes compensadores ou encostos adicionais, caberá ao sistema de CAPP a redefinição dos parâmetros de usinagem. Esta redefinição poderá ser feita mediante a utilização de parâmetros de corte mais adequados, pela interposição de

ferramentas mais positivas, como por exemplo, a substituição das fresas de facear de 90 graus por fresas de 45 graus, ou mesmo, pela busca de uma nova seqüência de operações que venha a garantir uma melhor rigidez e/ou estabilidade geométrica e dimensional da *peça em processo*.

Na figura 35, pode-se verificar a interposição de um suporte compensador como forma de garantir a rigidez necessária para a usinagem da peça em questão.

Viabilizadas todas as operações de fabricação, o sistema de CAF repassará ao sistema de CAPP a informação de que todos os requisitos de fixação foram atendidos, bem como quantas fixações foram necessárias para tanto. De posse desta informação, o sistema de CAPP, segundo os critérios armazenados em sua própria base de *regras de conhecimento*, decidirá pela aceitação ou não das diferentes propostas do sistema de CAF.

Finalmente, na hipótese de que ocorram operações que não possam ser executadas com a utilização de fixações-padrão da *base de dados*, caberá ao sistema de CAF informar isso ao sistema de CAPP, para que o mesmo possa decidir pela eventual reformulação das operações de fabricação, adicionando-se um novo conjunto de operações a ser realizado numa n-ésima fixação, ou numa n-ésima máquina. Eventualmente, até mesmo a revisão da especificação da peça (em termos de projeto original) poderá vir a ser necessária.

6. RESULTADOS POTENCIALMENTE ESPERADOS NA ESTRUTURAÇÃO E INTEGRAÇÃO DO CAF

A fim de fixar melhor os conceitos anteriormente expostos, neste capítulo será efetuada uma espécie de *antevisão* dos resultados esperados a partir da estruturação do CAF e de sua integração com os demais sistemas propostos. Isso deve-se à necessidade de haver uma certa avaliação preliminar da aplicação dos conceitos introduzidos. Não se trata, porém, ainda, de uma verificação experimental, pois a implementação computacional requerida para tanto não foi efetuada no âmbito deste trabalho.

Portanto, iremos aqui averiguar *superficialmente* a utilização, a interligação e o funcionamento dos diferentes componentes do sistema de CAF anteriormente descritos. Para tanto, serão analisados os diferentes processos necessários à seleção assistida de elementos de fixação, bem como todos os testes a serem realizados pelo sistema com o intuito de garantir o perfeito funcionamento do conjunto de fixação.

Assim, conforme descrito no fluxograma a seguir, o sistema proposto deverá atingir os seguintes objetivos:

- ⇒ determinar a orientação espacial da *peça em processo*;
- ⇒ interagir com o sistema de CAPP para a determinação dos esforços de usinagem em cada elemento geométrico da *peça em processo* (a análise poderá ser particularizada para cada *forma característica*);
- ⇒ interagir com os módulos de cálculo de tensões para a determinação dos esforços reativos de fixação;
- ⇒ baseado nos esforços calculados, selecionar os elementos modulares na *base de dados*;
- ⇒ testar prováveis interferências no acesso das ferramentas de corte à *forma característica*;
- ⇒ verificar os esforços de fixação via módulo de cálculo de esforços, para cada posição viável, como forma de evitar-se alterações geométricas e dimensionais na *peça em processo*;
- ⇒ interagir com o sistema de CAPP para aceitar ou rejeitar a seqüência de operações especificadas por este;
- ⇒ documentar o conjunto de soluções viáveis para acesso de outros sistemas computacionais.

Assim, conforme descrito no fluxograma a seguir, o sistema proposto deverá atingir os seguintes objetivos:

- ⇒ determinar a orientação espacial da *peça em processo*;
- ⇒ interagir com o sistema de CAPP para a determinação dos esforços de usinagem em cada elemento geométrico da *peça em processo* (a análise poderá ser particularizada para cada *forma característica*);
- ⇒ interagir com os módulos de cálculo de tensões para a determinação dos esforços reativos de fixação;
- ⇒ baseado nos esforços calculados, selecionar os elementos modulares na *base de dados*;
- ⇒ testar prováveis interferências no acesso das ferramentas de corte à *forma característica*;
- ⇒ verificar os esforços de fixação via módulo de cálculo de esforços, para cada posição viável, como forma de evitar-se alterações geométricas e dimensionais na *peça em processo*;
- ⇒ interagir com o sistema de CAPP para aceitar ou rejeitar a seqüência de operações especificadas por este;

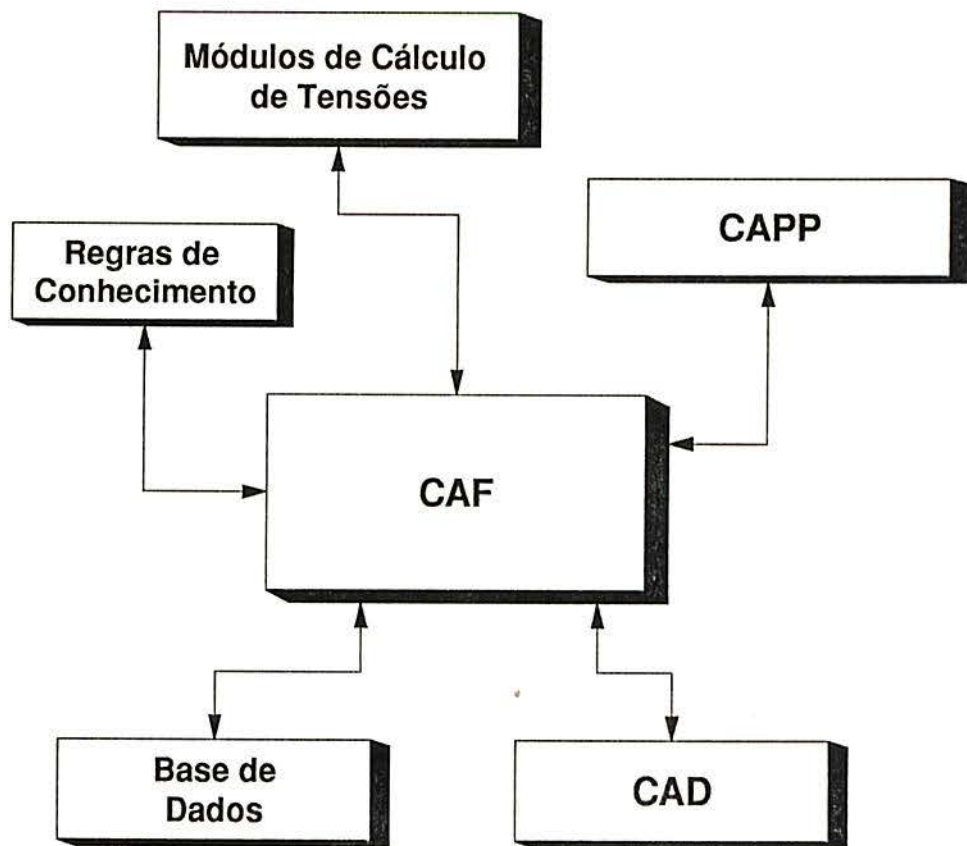
⇒ documentar o conjunto de soluções viáveis para acesso de outros sistemas computacionais.

No que se refere ao módulo de cálculo de tensões citado anteriormente e apresentado no fluxograma a seguir, o mesmo subdivide-se em dois módulos de cálculo, a saber, o *Módulo de Cálculo de Tensões Simplificado* (MCTS) e o *Módulo de Cálculo de Tensões Avançado* (MCTA).

Conforme será visto posteriormente, o MCTS, baseado em equações de equilíbrio, seria destinado à verificação rápida das condições de rigidez do conjunto, supondo-se para tanto que a *peça em processo* é um corpo rígido e indeformável.

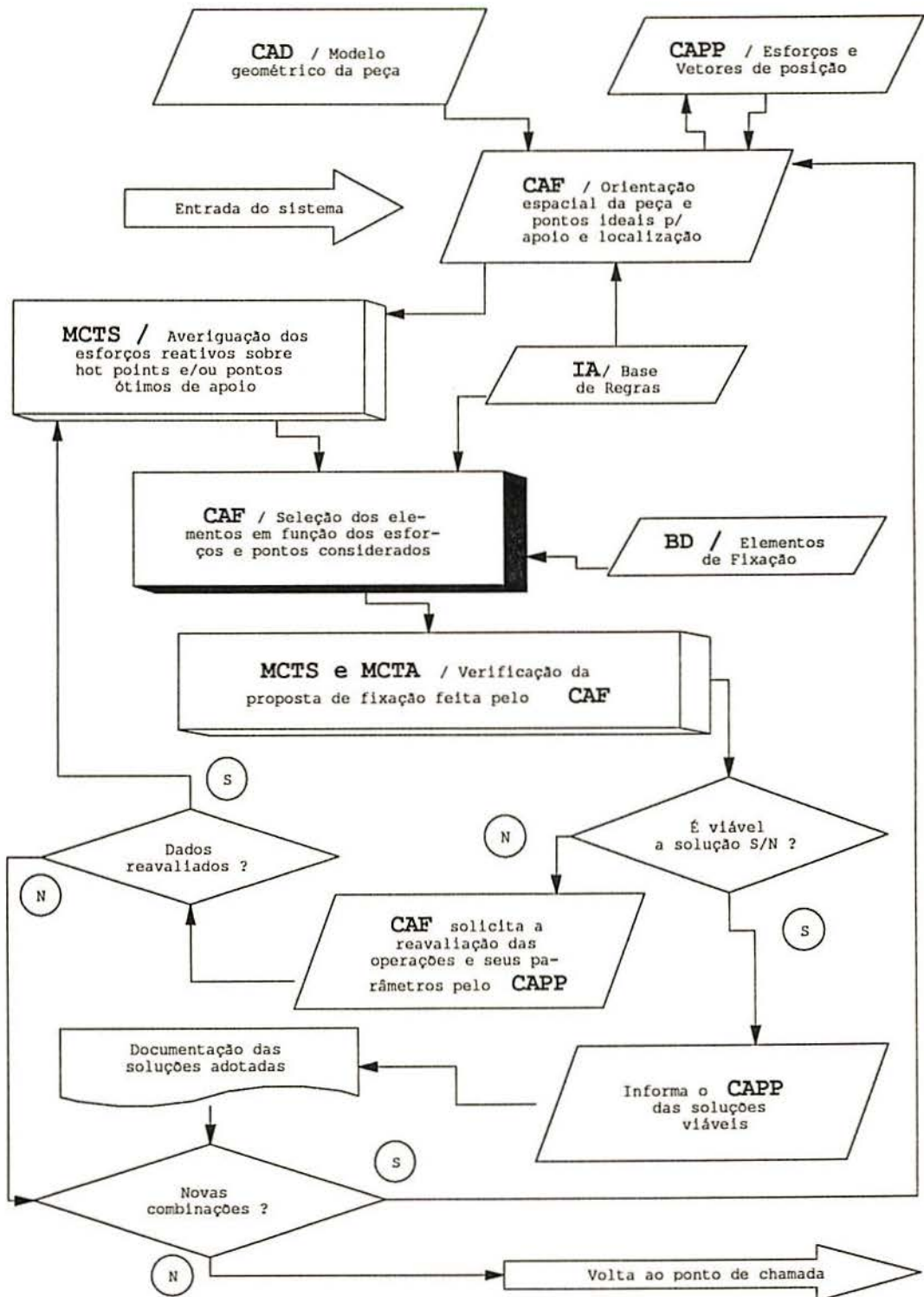
O MCTA por sua vez, seria implementado sobre um módulo de elementos finitos, e se destinaria à verificação da integridade geométrica e dimensional da *peça em processo*.

Neste contexto, o fluxograma a seguir apresenta o relacionamento descrito.



Fluxograma 6-1: Relacionamentos do CAF

Os passos especificados acima, por sua vez, encontram-se descritos em detalhes nos fluxogramas que seguem-se, para melhor detalhar o funcionamento do sistema.



Fluxograma 6-2: Esquema geral de atuação do sistema proposto

6.1 Determinação das prováveis posições de fixação

Dentro do objetivo deste capítulo, faz-se necessário um exame do que pode ser esperado com relação à determinação das prováveis posições de fixação, devido à importância do tópico dentro da análise do tema central proposto neste trabalho.

Observe-se que, de posse do modelo geométrico da peça definido pelo CAD e das operações de fabricação definidas pelo sistema de CAPP, será acionado o sistema de CAF, onde então, baseado nas *regras de conhecimento*, será gerado o posicionamento espacial efetivo para a *peça em processo*.

Para tanto, o sistema de CAF procederá à leitura da informação sobre os eixos principais de orientação da peça (informações do CAPP para o CAF), visando determinar as diferentes orientações possíveis da peça a serem respeitadas para o atendimento das exigências de processo.

Igualmente, essas orientações servirão para restringir as diferentes possibilidades de arranjo espacial dos elementos modulares, e também para garantir o acesso das ferramentas à *peça em processo* nas operações estabelecidas pelo sistema de CAPP.

Essas orientações são expressas em forma de vetores, permitindo ao sistema determinar nos planos XY, XZ e YZ, definidos pelos eixos da máquina operatriz, a posição espacial mais adequada para a peça em questão.

Exemplificando, suponhamos que uma determinada peça possua 5 furos com orientações quaisquer. O sistema buscará então determinar uma orientação resultante

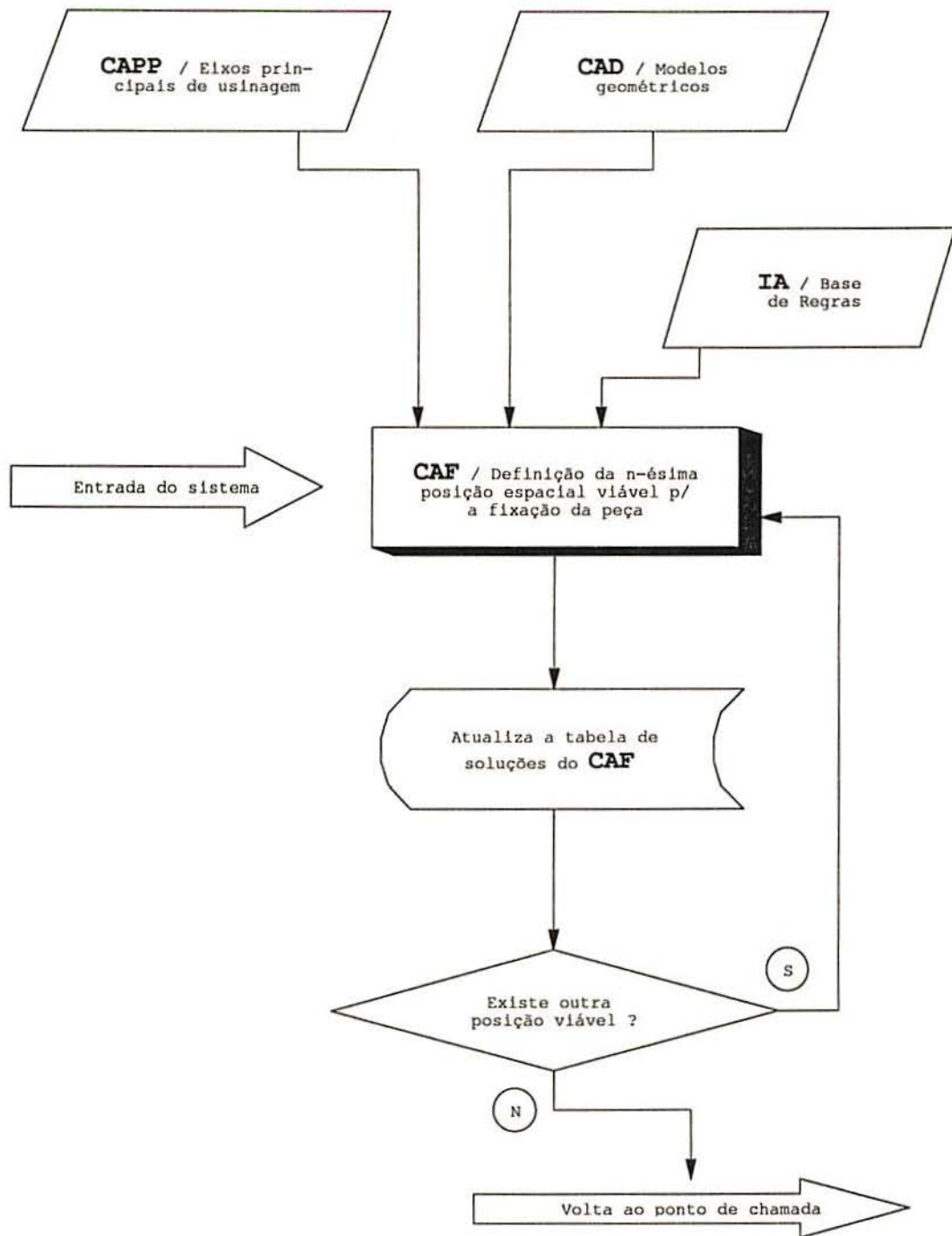
na qual estes vetores sejam paralelos ao vetor do eixo Z para o caso de máquinas verticais, e paralelos ao plano XZ para centros de usinagem horizontais.

Nas figuras 28 e 29, são mostradas duas peças com seus respectivos eixos prioritários de usinagem associados. Desta forma, o sistema de CAF poderá identificar as diferentes posições viáveis de sujeição da peça em função das necessidades de processo.

Finalmente, na figura 36, pode-se observar a disposição da *peça em processo* para a usinagem num centro de usinagem horizontal. Note-se que a peça foi posicionada de forma a garantir o acesso das ferramentas às operações de usinagem especificadas pelo sistema de CAPP.

Definidas todas as orientações espaciais possíveis para o conjunto peça/operações de usinagem pretendidas, o sistema deverá ser capaz, então, de montar uma tabela de soluções para as fixações viáveis, doravante tratada neste trabalho como *tabela de soluções*.

O fluxograma a seguir ilustra o exposto acima.



Fluxograma 6 -3 - Determinação da posição espacial da *peça obra*

Assim, far-se-á posteriormente que, a cada posicionamento espacial viável constante na tabela de soluções, sejam anexadas as diferentes combinações de elementos modulares identificadas. Desta forma, o sistema deverá manter controle sobre as diferentes possibilidades de sujeição, bem como de cada etapa do processo em que uma determinada solução foi descartada.

A seguir, o sistema de CAF deverá acionar o módulo de cálculo de esforços de fixação para a obtenção dos esforços reativos, informação esta a ser utilizada na seleção dos diferentes elementos modulares. Observe-se que, entre os modelos geométricos providos pelo sistema de CAD, encontram-se o projeto do componente mecânico e também sucessivas configurações pelas quais a *peça em processo* irá passar, do estágio de matéria-prima preparada para a usinagem, até alcançar as especificações finais projetadas (isto é, os “desenhos de processo”).

6.2 Determinação dos esforços reativos de fixação

De posse do modelo geométrico da *peça em processo*, da seqüência de operações, das ferramentas de corte necessárias, dos seus parâmetros de usinagem e dos esforços de corte definidos no sistema de CAPP, bem como das diferentes posições da *peça em processo*, determinadas no passo anterior pelo sistema de CAF, este último deverá acionar então o módulo de cálculo de tensões simplificado (MCTS).

Atuando como um programa à parte, neste módulo, será possível determinar, para cada ferramenta de corte definida pelo CAPP, o par momento torçor / força resultante, relativamente ao centro de massa do sistema. Na medida do possível, estes

esforços deverão ser alocados sobre os *hot points* ou sobre os pontos preferenciais definidos no modelo geométrico da peça.

No MCTS, será executada uma análise simples do problema, a qual será baseada em equações de equilíbrio. Para tanto, ao menos nesta etapa, será suposto que a

que

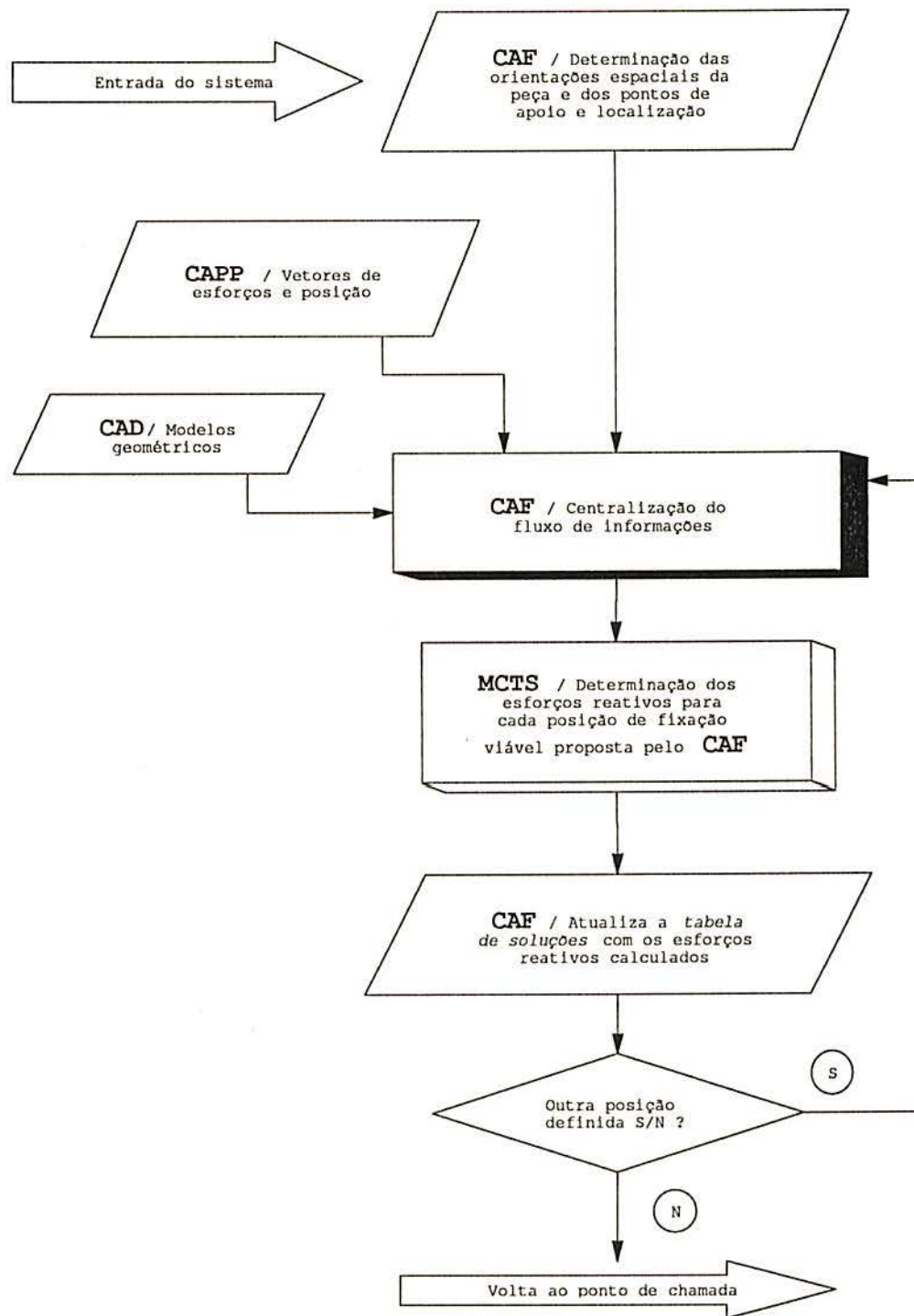
implementadas as funções de cálculo necessárias, ser desenvolvido a partir de *planilhas de cálculo*, o que, para além de simplificar a tarefa de implementação, agilizaria o trabalho computacional.

Desta forma, para cada opção constante na *tabela de soluções*, o sistema deverá poder cadastrar diferentes possibilidades de alocação de esforços resultantes, como forma de orientar posteriormente o sistema de CAF na seleção e alocação dos elementos modulares de fixação.

A utilização do MCTS neste ponto, ao invés do MCTA, prende-se ao fato de que, em função das características do primeiro, seria possível realizar-se, ainda que de forma aproximada, uma rápida exclusão das opções constantes na tabela de soluções que não atendam às especificações mínimas de rigidez de um conjunto.

Conforme será visto posteriormente, o MCTA somente será ativado na avaliação das soluções aprovadas pelo MCTS, economizando-se assim em tempo de processamento, haja visto as características do MCTA.

O fluxograma a seguir ilustra o exposto.



Fluxograma 6-4: Determinação das esforços reativos de fixação

Definidos os esforços reativos resultantes, estes deverão ser repassados ao sistema de CAF, para que seja consultada a *base de dados*, a fim de serem selecionados os elementos de fixação que atendam às solicitações especificadas.

Para tanto, o sistema de CAF deverá ser capaz de definir, baseado em *regras de conhecimento*, para cada orientação viável da peça, diferentes combinações de elementos modulares, de modo a atender as exigências de processo, rigidez e acesso das ferramentas a todas as zonas de trabalho.

6.3 Seleção e alocação automática dos elementos de fixação

Para a seleção automática dos elementos de fixação viáveis, serão necessárias as seguintes informações:

- ⇒ disposição espacial da peça definido pelo CAF;
- ⇒ *hot points* para fixação, *características* de apoio e modelos geométricos da peças definidos no sistema de CAD;
- ⇒ módulos dos esforços a serem suportados pelos elementos de fixação calculados pelo módulo de cálculo de tensões simplificado (MCTS);
- ⇒ os vetores dos esforços resultantes calculados (com a sua localização assim definida);
- ⇒ estado das *características* de processo nesta etapa de fabricação, informado pelo sistema de CAPP.

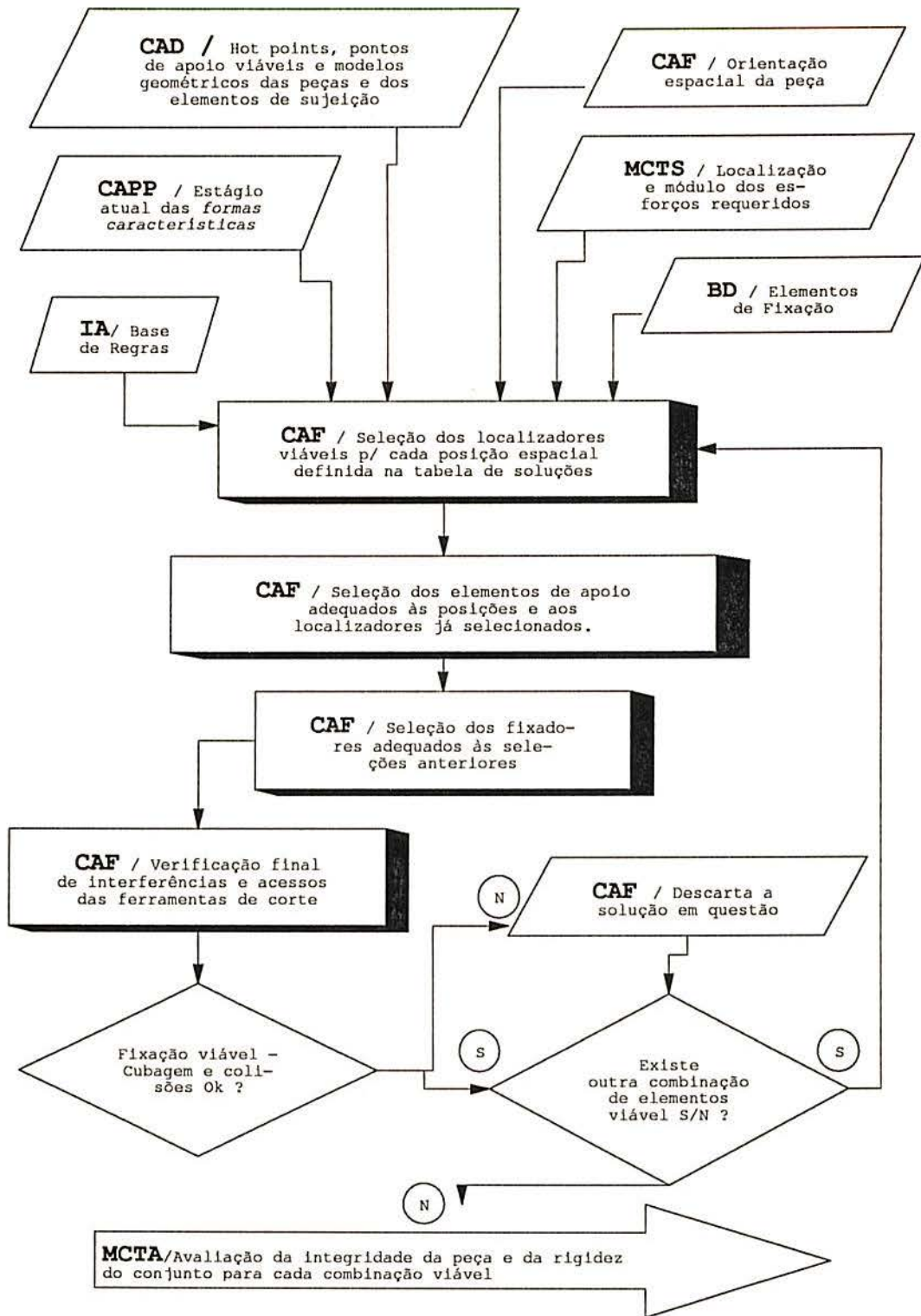
De posse dessas informações, o sistema de CAF deverá então selecionar as diferentes combinações de elementos de fixação viáveis para a *peça em processo*. Esses conjuntos, posteriormente, serão submetidos aos módulos de cálculo de tensões simplificado e avançado (MCTS e MCTA) para conferência final da viabilidade técnica de sua utilização.

Como exemplo, observe-se que na figura 29, em função das especificações de processo a serem atendidas, a tampa mostrada possui uma única posição viável para sua fixação.

Um outro exemplo das restrições a serem consideradas na definição dos fixadores pode ser visualizado na figura 32. Nesta são mostradas restrições a serem atendidas quando da sujeição da *peça em processo*.

As figuras 37 e 38 por sua vez apresentam o resultado de seleções de elementos modulares executadas e que atenderam as diferentes condições de controna impostas pelo conjunto peça - elementos de sujeição - operações a serem executadas.

Na seqüência, o fluxograma indica os passos a serem desenvolvidos para tanto.



Fluxograma 6-5: Etapas de seleção dos elementos modulares

6.3.1 Seleção e alocação de localizadores

Baseado no conjunto de *regras de conhecimento* armazenadas, o sistema de CAF deverá iniciar a análise pela disposição dos localizadores, conforme as exigências do CAPP, os quais, por si só, via de regra, restringem em muito as possibilidades de movimento da peça. Para tanto, o sistema identificará as *características* de referência da peça em questão (*hot points*, pontos opcionais, referências de processo, dados do modelo geométrico), pesquisando na *base de dados* os elementos de fixação que melhor se adequam à esta (ex.: localizadores cônicos para pontos de referência diametral). Não necessariamente haverá uma única solução; desta forma, o sistema armazenará as diferentes possibilidades na tabela de soluções, para posterior teste de opções.

Definidos os elementos viáveis, o sistema buscará alocar os mesmos nos *hot points* definidos no modelo geométrico do sistema de CAD. Na hipótese de não existirem *hot points* viáveis, o sistema vasculhará as *características* de processo passíveis de serem utilizadas. Na eventualidade da não disponibilidade destas, o modelo geométrico será varrido em busca dos pontos de apoio nele descritos.

Definidos os elementos de localização a serem utilizados, o sistema de CAF, novamente guiado por *regras de conhecimento*, deverá checar a necessidade de interposição de elementos adicionais, como bases e extensões, os quais garantiriam a posição espacial de todas as *formas características* a serem usinadas nesta fixação.

Selecionadas as bases e extensões necessárias, o sistema de CAF, baseado nos dados da máquina-operatriz em questão, deverá ser capaz de efetuar o teste da

acessibilidade de todas as ferramentas a todas as *formas características* contidas no modelo da peça definido pelo sistema de CAD.

Na hipótese da inviabilização da usinagem de alguma *forma característica*, conforme a definição das operações efetuada pelo sistema de CAPP, o sistema de CAF imediatamente deveria descartar a fixação em questão. Porém, na hipótese da viabilização de todas as operações de usinagem, o CAF deverá atualizar então a tabela de soluções possíveis, iniciando-se a seguir a etapa de seleção e alocação dos conjuntos de apoio da *peça em processo*.

Um exemplo dos elementos localizadores para furos brutos e com dimensão de ajuste pode ser encontrado nas figuras 2 e 3.

6.3.2 Seleção e alocação dos elementos de apoio

Definidos os pontos e os elementos de localização, o sistema deverá iniciar, para cada solução de posição e localização, a definição de conjuntos de elementos de apoio, bem como de suas posições de alocação. Nesta etapa, o sistema deverá definir tantas combinações quantas forem viáveis, objetivando-se assim aumentar as alternativas à disposição do usuário. Para tanto, o sistema deverá ser capaz de identificar e manipular a informação relativa às *formas características* da peça em questão e aos *hot points*, pontos opcionais e referências de processo. Obrigatoriamente deverão ser suportados os esforços resultantes calculados no módulo de cálculo de tensões.

Na hipótese de não existirem *hot points* viáveis, o sistema deverá ser capaz de vasculhar as *características* de processo passíveis de serem utilizadas. Na

eventualidade da indisponibilidade dessas, o modelo geométrico será varrido em busca dos pontos de apoio nele descritos.

A seguir, o sistema deverá pesquisar na *base de dados* quais são os elementos de fixação que melhor adequam-se a estas *formas características*, atualizando, para cada conjunto, a tabela de soluções de fixação.

No que se refere às múltiplas coordenadas possíveis para a alocação dos elementos de fixação selecionados, bem como à agilização da busca de soluções viáveis, far-se-á necessário a definição, por parte do usuário, de um espaçamento mínimo nos eixos X, Y e Z (referentemente ao sistema de coordenadas global), entre posicionamentos viáveis do elemento modular, conforme descrito no capítulo anterior (vide figura 7).

Este espaçamento, eventualmente poderá ser individualizado para cada *forma característica* da peça, permitindo que o sistema possua um menor número de combinações de posições especiais viáveis, viabilizando assim, um processamento mais rápido das soluções. Numa analogia com os sistemas CAD, trata-se do conceito de espaçamento da grade de desenho, comumente denominados como *grid* nestes *softwares*.

Cabe ressaltar, ainda, que esta agilização em nada comprometerá a qualidade das soluções averiguadas, haja visto que alguns milímetros de diferença na posição de alocação de uma superfície fresada, por exemplo, pouca coisa influirão na rigidez final do conjunto modular.

Assim, para cada combinação de posição espacial de fixação e elementos de localização constantes na tabela de soluções, o sistema de CAF deverá definir elementos de apoio, o que, somado aos elementos de fixação a serem selecionados, definirá o conjunto de fixação modular em questão.

6.3.3 Determinação dos elementos e dos pontos de fixação

Selecionados os elementos de localização e apoio, o sistema de CAF acionará novamente o módulo de cálculo de tensões, o qual determinará, para as *formas características* constantes em cada combinação da tabela de soluções, a posição de alocação e os módulos dos esforços de fixação que venham a garantir a rigidez do conjunto em questão.

Caso não seja atingida a rigidez do conjunto com apenas um esforço resultante posicionado sobre uma *forma característica*, o módulo de cálculo de tensões deverá alocar outros tantos vetores de esforços a outras *formas características*, de modo a garantir a rigidez buscada.

Obtida a rigidez do conjunto, e respeitando-se as seleções de elementos anteriormente efetuadas, o sistema de CAF deverá selecionar, na *base de dados*, os elementos de fixação que combinem, em algum nível, *formas características* da peça com *formas características* dos elementos de fixação, bem como venham obrigatoriamente a atender às solicitações de esforços definidas pelo módulo de cálculo de esforços.

Quanto à alocação dos elementos selecionados, a mesma deverá ser feita em consonância com o conceito de *grid* mencionado no tópico anterior, objetivando-se,

com isto, agilizar a definição de todos os elementos modulares, mantendo-se o ganho em qualidade para as soluções averiguadas.

Finalmente, o sistema de CAF deverá selecionar os demais acessórios necessários, atualizando, na seqüência, a *tabela de soluções*.

Finda a etapa de seleção de elementos, caberá ao sistema verificar a exiqüibilidade de cada opção constante na tabela de soluções, inicialmente ao nível do exame das interferências e possibilidades de acesso.

Para as opções aprovadas neste teste, o sistema de CAF deverá proceder então à verificação da rigidez da fixação escolhida, bem como da integridade geométrica e dimensional da *peça em processo*.

6.4 Verificação final das soluções ao nível das interferências geométricas

Definidos os conjuntos de elementos de fixação a serem utilizados, o sistema de CAF, baseado nos dados da máquina, deverá efetuar o teste final da acessibilidade de todas as ferramentas de corte às *formas características* a serem usinadas na fixação em questão.

Este teste poderá justificar-se em função da possibilidade de que, após a interposição de todos os elementos de fixação necessários, a posição assumida por alguma *forma característica* encontre-se fora do curso útil do equipamento, ou mesmo do acesso das ferramentas de corte, necessitando, desta forma, uma nova revisão do modelo. Igualmente, utilizando-se do modelo geométrico, o sistema de

CAF deverá ser capaz de checar a possibilidade de colisão entre elementos da máquina e o conjunto peça/fixação especificado.

Finda a etapa de seleção de elementos de fixação, o sistema de CAF deverá acionar o módulo de cálculo de tensões para a verificação da rigidez de cada opção de fixação constante à tabela de soluções, bem como da integridade geométrica e dimensional da *peça em processo*.

Para tanto, o CAF poderá fazer uso das informações de coordenadas de alocação e esforços máximos admissíveis, conforme mostrado nas figuras 19, 20, 21, 22, 23 e 24.

6.5 Verificação final das soluções ao nível dos esforços

Para a verificação da viabilidade técnica de cada fixação constante à tabela de soluções, no que se refere à integridade geométrica e dimensional da *peça em processo*, o sistema de CAF deverá fornecer as seguintes informações ao módulo de cálculo de tensões de fixação:

- ⇒ posições espaciais relativas da montagem do conjunto;
- ⇒ conteúdo dos *kits* de fixação constantes na tabela de soluções;
- ⇒ disposição espacial e módulo dos vetores de esforços exercidos pelas sucessivas posições de cada ferramenta de corte;

- ⇒ disposição espacial e módulo dos vetores de esforços exercidos pelos elementos de fixação, bem como o valor do *coeficiente de atrito* entre estes e a *peça em processo*;
- ⇒ disposição espacial e módulo dos vetores de esforços máximos toleráveis pelos elementos de fixação para cada configuração selecionada;
- ⇒ modelos geométricos da *peça em processo*;
- ⇒ modelos geométricos dos elementos de fixação selecionados.

As opções constantes na tabela de soluções, uma a uma, deverão ser então analisadas no módulo de cálculo de tensões simplificado (MCTS). Neste módulo será executada uma análise simples do problema, que será baseada em equações de equilíbrio. Para tanto, ao menos nesta etapa, será suposto que a *peça em processo* é um corpo rígido indeformável.

A interposição desta etapa justifica-se na medida em que a mesma poderá agilizar a definição de quais opções constantes da *tabela de soluções* não cumprem os mínimos requisitos de rigidez potencialmente esperados do conjunto, devendo, portanto, serem abandonadas de imediato.

Conforme dito anteriormente, em função das características do MCTS, o mesmo poderá, desde que implementadas as funções necessárias, ser desenvolvido a

partir de *planilhas de cálculo*, o que além de simplificar a tarefa de implementação, agilizará a seleção das opções inviáveis.

Definidas quais opções foram aprovadas no módulo de cálculo de tensões simplificado (MCTS), as mesmas serão então submetidas ao módulo de cálculo de tensões avançado (MCTA), o qual deverá ser baseado no método de elementos finitos.

No MCTA serão determinadas as deformações que sofrerá a *peça em processo* sob a ação dos diferentes esforços atuantes, bem como as condições de rigidez de fixação do par conjunto modular/peça.

Na hipótese de uma combinação não satisfazer às exigências de rigidez especificadas, o sistema deverá ser capaz de analisar o tipo de problema detectado, determinando, conforme o caso (deformação excessiva na peça em operação ou falta de rigidez na fixação), a melhor solução viável.

Na eventualidade de detectar-se alguma possibilidade de deformação na *peça em processo*, o CAF deverá providenciar a interposição de suportes, os quais destinar-se-ão a eliminar eventuais deformações geométricas e dimensionais nesta. Um exemplo de um suporte compensador pode ser visualizado na figura 35.

O processo de seleção e disposição destes suportes assemelhar-se-á à seleção dos demais elementos modulares, principalmente no que se refere à verificação de prováveis *interferências* com a peça em processo ou mesmo com os demais elementos de fixação selecionados anteriormente.

Eliminadas as possibilidades de interferência, o conjunto deverá ser submetido novamente ao MCTA para uma verificação complementar da seleção ao nível dos esforços.

Na eventualidade de detectar-se a falta de rigidez no conjunto de fixação, o sistema deverá ser capaz de buscar dispor outros elementos que venham atender às solicitações calculadas. Igualmente nesta etapa são válidas as considerações feitas nos parágrafos anteriores a respeito de prováveis interferências e necessidade de reavaliação a nível de esforços das seleções a serem efetuadas.

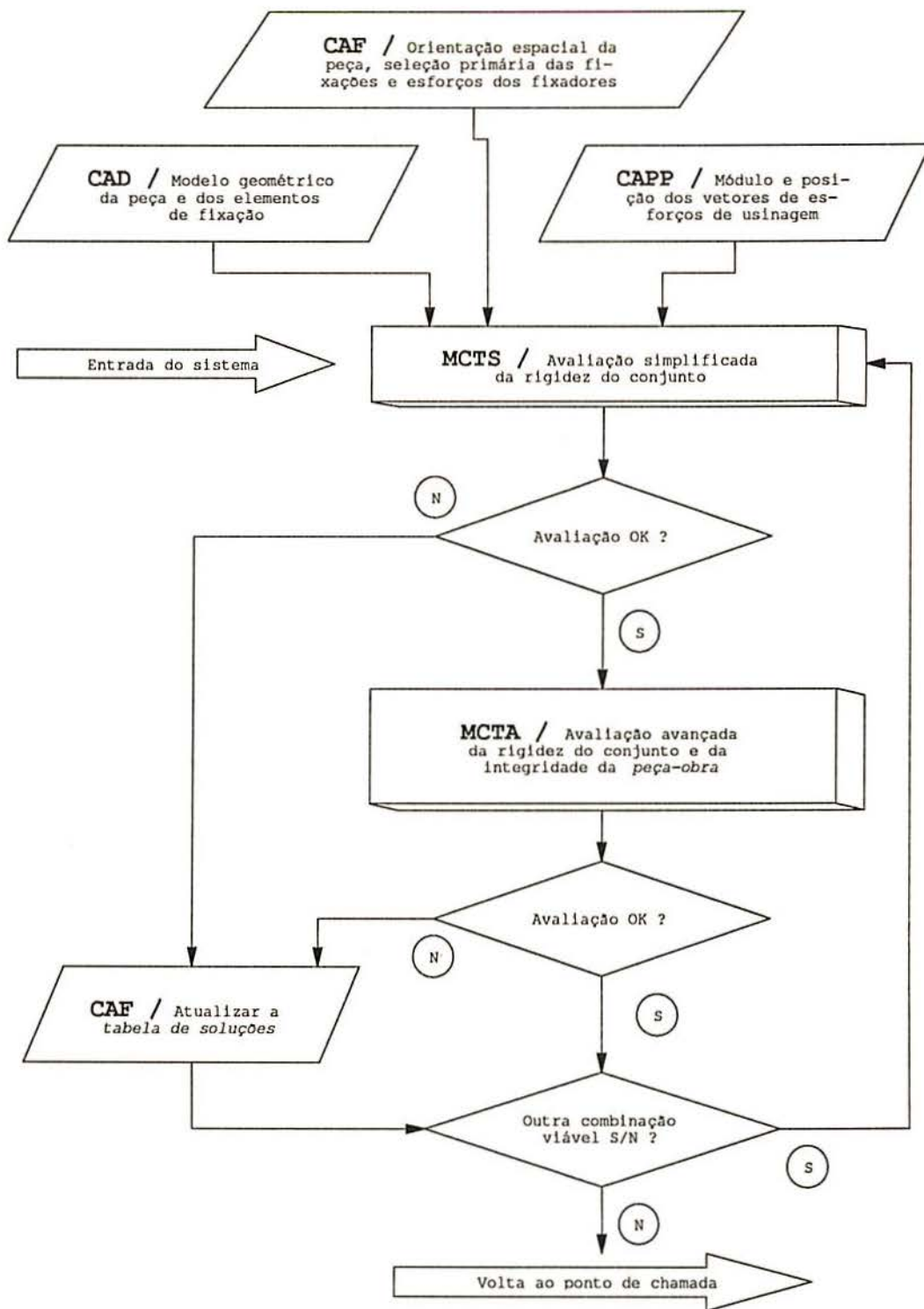
Na hipótese de alguma restrição ter sido notada, e de que o CAF não tenha conseguido solucioná-la mediante a adição de outros elementos modulares, o mesmo deverá então informar ao sistema de CAPP, para que este proponha uma seqüência alternativa de operações, ou altere o plano de ferramentas proposto, por exemplo, interpondo ferramentas de corte especiais.

Não havendo maiores restrições após esta etapa, caberá ao sistema de CAF informar ao sistema de CAPP que a seqüência pretendida é viável, emitindo a seguir um relatório com a lista das diferentes combinações aprovadas e seus respectivos elementos, além dos desenhos de documentação relativos aos planos de fixação gerados.

A condição final de aceite de uma determinada solução deverá ser dada pela verificação, no módulo de cálculo de tensões avançado, da integridade da *peça em processo*, bem como da rigidez da fixação especificada, respeitando-se o coeficiente de segurança especificado.

Como referencial técnico para o aceite da solução em análise, o tópico 2.7 dessa dissertação fornece alguns parâmetros que poderão ser incluídos na base de conhecimento do sistema de CAF, como forma de possibilitar a automatização do processo de seleção de opções de fixação.

O fluxograma a seguir resume o exposto, bem como, nos próximos tópicos, serão analisadas com maiores detalhes as prováveis deformações a serem experimentadas pelo conjunto.



Fluxograma 6-6: Seleção e alocação automática dos elementos de fixação

6.5.1 Viabilidade técnica do conjunto modular de fixação

Nesta etapa, o sistema deverá verificar a viabilidade, ao nível dos esforços e das prováveis deformações a serem produzidas na *peça em processo*, de todas as opções restantes na *tabela de soluções*.

Na hipótese do não atendimento das exigências da rigidez de fixação relativamente aos esforços a serem gerados quando da usinagem, o módulo de cálculo de tensões avançado (MCTA) ainda deverá ser capaz de especificar os módulos, as orientações e pontos de aplicações dos vetores de esforços resultantes a fim de permitir serem especificados os neutralizadores da falta de rigidez detectada.

Isto posto, o sistema de CAF deverá buscar, para cada um dos vetores resultantes especificados, caracterizar os elementos de fixação necessários para a neutralização do esforço resultante.

Para tanto, o sistema de CAF, baseado em *regras de conhecimento*, e nas diferentes *formas características* de fixação especificadas, deverá pesquisar, na *base de dados*, elementos fixadores, que, para cada *forma característica* relacionada com a fixação (através dos *hot points* ou pontos opcionais), venham a conferir rigidez ao conjunto em questão. A seguir, o sistema de CAF deverá atualizar a tabela de soluções e retornar ao módulo de cálculo de tensões, para análise da solução.

Na hipótese de o problema não ser assim resolvido, o sistema deverá tentar interpor um *n-ésimo* elemento ao conjunto em questão, como forma de solucionar o problema detectado.

Esgotadas as possibilidades de interposição de elementos neutralizadores adicionais ao conjunto proposto, as quais estão ligadas às diferentes combinações possíveis presentes na *base de dados* de elementos de fixação, o sistema de CAF então deverá iniciar um processo de busca de elementos que exerçam um esforço maior sobre a *peça em processo* (através de um escalonamento dos elementos de fixação).

No entanto, a adoção de esforços maiores sobre uma peça poderá comprometer as tolerâncias geométricas e dimensionais desta, sendo, pois, necessário avaliar essas implicações no módulo de cálculo de tensões avançado, conforme descrito anteriormente. Na hipótese de que, mesmo após esgotadas as possibilidades de escalonamento, o conjunto continue a apresentar falta de rigidez, será descartado o conjunto de elementos de fixação em questão. O sistema de CAF deverá buscar então a próxima combinação de elementos descrita na *tabela de soluções*, solicitando a avaliação dessa pelo *módulo de cálculo de tensões avançado* (MCTA).

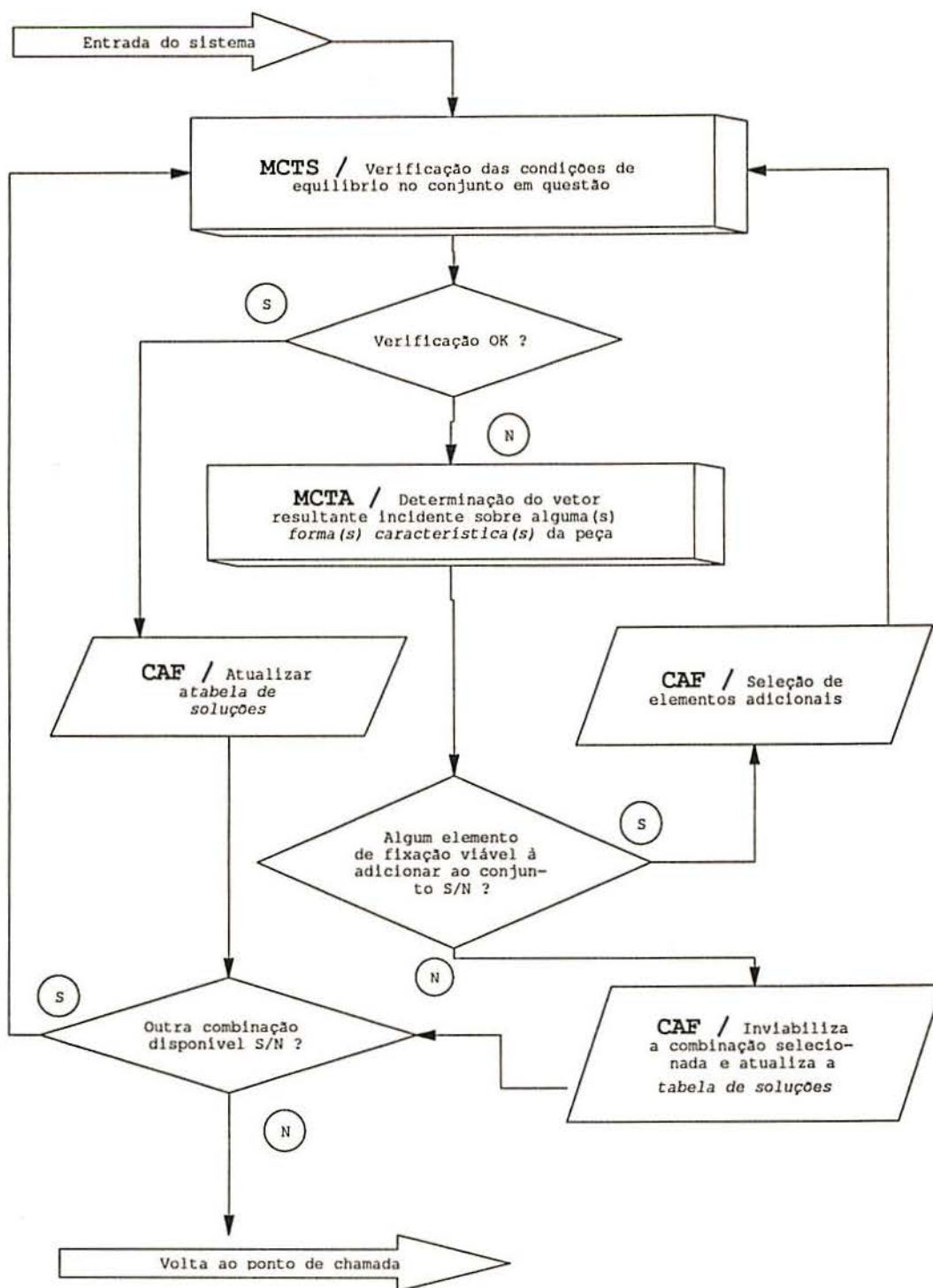
Este procedimento será repetido até que sejam esgotadas todas as opções descritas na *tabela de soluções*. Caso não haja uma solução viável, deverá ser então acionado o sistema de CAPP para a reavaliação da geometria das ferramentas e/ou parâmetros de usinagem dimensionados, conforme mencionado anteriormente.

Na hipótese da análise numérica revelar que a rigidez resultante é satisfatória, o sistema deverá atualizar a *tabela de soluções*, seguindo então para a verificação da rigidez do próximo conjunto descrito na tabela de soluções.

Nessas análises, o MCTA deverá emitir, para cada solução oferecida pelo sistema de CAF, um “relatório de desempenho”. Este relatório conterá informações sobre a rigidez final do conjunto frente aos esforços dimensionados pelo sistema de CAPP, bem como da opção de sujeição que garanta as menores alterações geométricas e dimensionais na *peça em processo*. Desta forma, as soluções que forem viabilizadas serão repassadas ao sistema de CAF, para posterior envio ao sistema de CAPP. Atendidos os requisitos especificados, o sistema de CAF deverá buscar outra combinação viável de elementos para o atendimento dos requisitos de processo, até que sejam esgotadas todas as diferentes combinações possíveis.

Isto será feito como forma de oferecer ao engenheiro de processos o maior número de opções tecnicamente viáveis na seleção das fixações que mais se adequem ao processo em questão.

O diagrama a seguir ilustra o exposto acima.



Fluxograma 6-7: Verificação do conjunto modular de fixação

6.5.2 Precisão geométrica e dimensional da *peça em processo*

Definida a viabilidade do conjunto modular de fixação, restará então ao sistema certificar-se de que todas as exigências de precisão geométrica e dimensional serão atingidas quando da usinagem da peça. Isto significa dizer que, uma vez fixada a peça no conjunto modular definido, a mesma poderá ser usinada, não sendo esperada a mínima possibilidade de comprometimento de suas exigências pelo conjunto de fixação.

Assim, na hipótese da detecção de uma deformação excessiva na *peça em processo*, provocada por esforços de usinagem e/ou fixação, o sistema de CAF inicialmente deverá buscar interpor suportes compensadores que venham a atender aos requisitos de fixação impostos.

Para tanto, o MCTA retornará ao sistema de CAF para que este determine a utilização desses elementos, mediante as seguintes informações:

- ⇒ regras armazenadas na base de conhecimento;
- ⇒ localização da deformação e prováveis pontos de compensação fornecidos pelo módulo de cálculo de tensões avançado;
- ⇒ suportes compensadores armazenados na *base de dados* de elementos de fixação.

Caso não exista na *base de dados* algum suporte que possa eliminar as deformações detectadas na *peça em processo*, o sistema então deverá inviabilizar a combinação em questão.

Havendo suportes que possam atender às condições de rigidez especificadas, o sistema deverá incluí-los na *tabela de soluções*, e então retornar à averiguação das tensões de fixação para a verificação da performance da solução adotada.

Caso persistam as deformações no ponto detectado, o sistema deverá buscar alocar outro suporte compensador. Na eventual indisponibilidade de algum suporte compensador, será descartada a opção da *tabela de soluções*.

Na hipótese da deformação ter mudado de posição, o sistema de CAF então deverá retornar ao passo de busca de suportes de apoio, mantendo o suporte compensador selecionado na tabela de soluções de fixação, procurando definir outro suporte compensador que venha a eliminar, por completo, as deformações na peça. Na inviabilidade desta opção, o sistema deverá descartar a solução em questão.

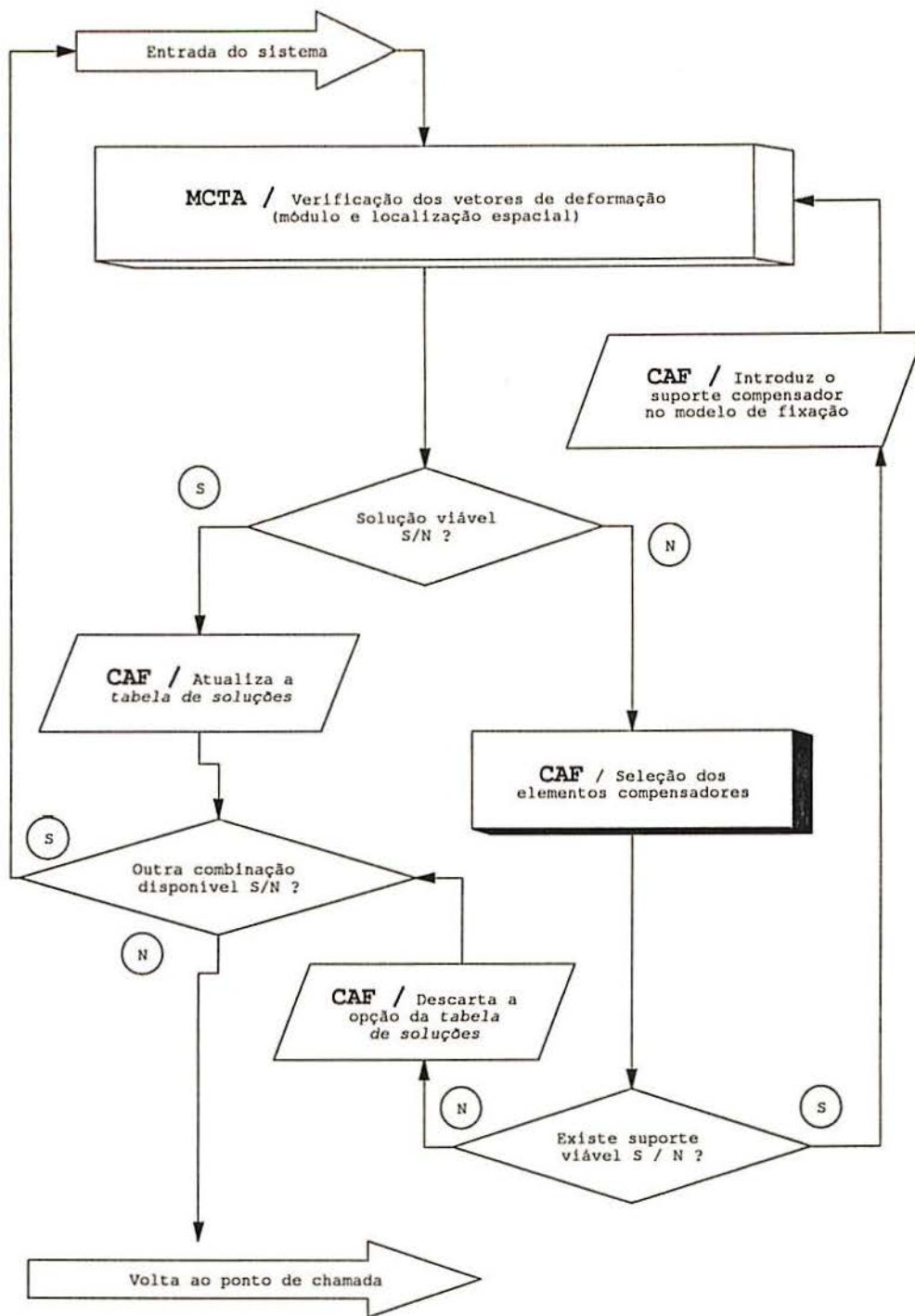
Estando a deformação eliminada, o sistema deverá atualizar a *tabela de soluções*, partindo a seguir para a verificação da rigidez do conjunto em questão.

Estando a rigidez aprovada, o sistema deverá passar a avaliar a próxima opção constante na *tabela de soluções*.

Finda esta etapa, o sistema de CAF deverá iniciar o processo de documentação da fixação especificada, transmitindo posteriormente ao sistema de CAPP as informações tratadas no tópico anterior.

Na figura 39, encontra-se um exemplo de detalhamento gráfico do conjunto modular selecionado, podendo-se ainda verificar na figura 40 a montagem do citado conjunto.

O diagrama a seguir ilustra o exposto.



Fluxograma 6-8: Identificação de prováveis deformações na *peça em processo*.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com o intuito de colaborar com o aumento da *flexibilidade* fabril, para uma maior integração entre as tecnologias CAE/CAD/CAPP/CAM, e para a redução dos tempos de *set up* de equipamentos, esta dissertação concentrou-se na área de *seleção e especificação automática de conjuntos modulares de elementos de fixação* para equipamentos de usinagem. A sua utilização apresenta, conforme mencionado, claras vantagens sobre as fixações dedicadas, embora seu uso ainda não esteja totalmente disseminado na indústria mundial. Dentre os motivos para tanto, cite-se a dificuldade de montar-se rápida e manualmente os *kits* modulares de fixação de modo a que *atendam* às exigências do processo.

Assim, no capítulo 3 deste trabalho, foi feita uma revisão bibliográfica do estado da arte com relação à especificação de fixações em geral, bem como das tendências seguidas por pesquisadores e empresas no equacionamento deste problema. Igualmente, este capítulo contém um apanhado da importância estratégica das fixações modulares no cenário competitivo atual.

Observou-se, conforme visto na revisão bibliográfica, que os trabalhos desenvolvidos focalizam apenas uma parcela da questão inteira, constatação esta que

acabou orientando este trabalho para a busca de uma solução definitiva e integrada que viesse a contemplar as diferentes fases do problema em análise.

Desta forma, o capítulo 4 deste trabalho versa sobre a incorporação, mediante o uso da *Tecnologia das Características*, de informações relativas à fixação às peças em processo e aos elementos modulares de fixação, como forma de viabilizar o seu posterior reconhecimento e tratamento computacional pelos diferentes sistemas listados no capítulo 6.

Neste sentido, o conjunto de informações a serem trocadas entre os sistemas de CAPP e de CAF descritas no capítulo 5 constitui uma primeira tentativa de melhor detalhar os parâmetros a serem observados com vistas à avaliação da exequibilidade de uma determinada seqüência de operações definida pelo sistema de CAPP, sempre sob a supervisão de sistemas baseados em *regras de conhecimento*.

Relativamente ao conteúdo destes capítulos, as informações nele descritas foram definidas pelo autor deste trabalho, haja visto que a bibliografia consultada não detalhava com clareza o conjunto de dados necessário. Para tanto, o autor utilizou-se de consultas a experientes projetistas de sistemas de fixação dedicados, bem como, à sua própria experiência como *engenheiro de processos de fabricação*.

Posteriormente, no capítulo 6, foram apresentadas as relações entre as diferentes soluções de *software* a serem integradas, determinando-se a seqüência de atuação de cada sistema, bem como os testes a serem realizados em cada uma das etapas, como forma de validar-se cada opção de combinação selecionada da *base de dados*. Observe-se, que a citada validação será efetuada sob o ponto de vista da

garantia da integridade geométrica e dimensional da *peça em processo* e da rigidez da fixação especificada sob as condições de usinagem estipuladas pelo sistema de CAPP, bem como, pela certeza do acesso de todas as ferramentas às *formas características* a serem usinadas.

Como uma conclusão geral extraída da realização deste trabalho, pode-se afirmar que a integração dos diferentes sistemas computacionais propostos é fundamental para a operacionalização de um *sistema de fixações assistido por computador*. Neste contexto, sistemas computacionais criados com diferentes propósitos, podem, observados os fluxos de informações descritos no capítulo 6, serem conectados, de forma a fornecerem uma solução confiável e rápida para a definição da montagem de *kits* de fixação modular.

Cabe ressaltar, no entanto, que este trabalho não se encerra em si próprio, mas sim, abre espaço para a execução de outros tantos, noutras áreas, os quais obrigatoriamente encarregar-se-ão de aprofundar e pormenorizar o aqui delineado. Desta forma, o mesmo constitui-se num ponto referencial, buscando traçar rumos a serem trilhados por áreas específicas da *Engenharia de Produção*, da *Engenharia Mecânica* e da *Informática*, de maneira que, em conjunto, estas possam viabilizar a proposta aqui contida ao nível da arquitetura de uma solução exequível para o problema analisado.

Especificamente, na área de *Engenharia de Produção*, uma vez viabilizada a solução proposta, deverão ser realizados estudos para a redução de tempos de *set up* em empresas de manufatura mediante a utilização do sistema de CAF, bem como do

retorno financeiro a ser auferido com tal ferramenta. Igualmente deverão ser analisados os requisitos para a interligação deste com os sistemas de FMS e/ou de escalonamento da produção.

Na área de *Engenharia Mecânica*, deverá proceder-se a uma análise para a estruturação das informações sobre os elementos modulares comercialmente disponíveis, em termos de suas *características*, definido-se simultaneamente os limites de resistência mecânica de cada componente, individualmente, bem como o das diferentes submontagens viáveis. Paralelamente, será necessário implementar-se novos conjuntos de *regras de conhecimento* que venham a garantir, dentro do esquema proposto no capítulo 6, a integridade geométrica e dimensional da *peça em processo*.

A área de *Informática*, por sua vez, deverá analisar a opção pela adoção (ou não) de heurísticas, as quais poderiam reduzir em muito o trabalho de processamento computacional. Adicionalmente, deverá definir as plataformas de *hardware e software* sobre os quais será desenvolvido o CAF.

Neste sentido, uma proposta interessante seria a da execução de uma implementação piloto em ambiente WINDOWS™, utilizando-se *softwares* comercialmente disponíveis para este tipo de ambiente (como bancos de dados, planilhas de cálculo, CAD, ferramentas para desenvolvimento de sistemas especialistas, etc.). A grande vantagem desta opção é a da agilização do processo de desenvolvimento, haja visto que, com as próximas mudanças já anunciadas pela empresa MICROSOFT, responsável pelo desenvolvimento do WINDOWS™,

poderão ser praticamente eliminados, por exemplo, os problemas de intercomunicação entre as diferentes aplicações.

Finalmente, como resultado prático da concretização de um sistema como o proposto, cite-se o aumento do grau de utilização dos recursos empregados na área de usinagem pela empresa, viabilizando, desta forma, ganhos de *produtividade*, através da eliminação dos *tempos ociosos* na preparação dos equipamentos e pela definição de condições operacionais mais severas para as máquinas operatrizes. Estes fatores combinados conduzirão a tempos totais de operação menores, permitindo assim o aumento da velocidade do fluxo de produção e a redução dos gargalos produtivos.

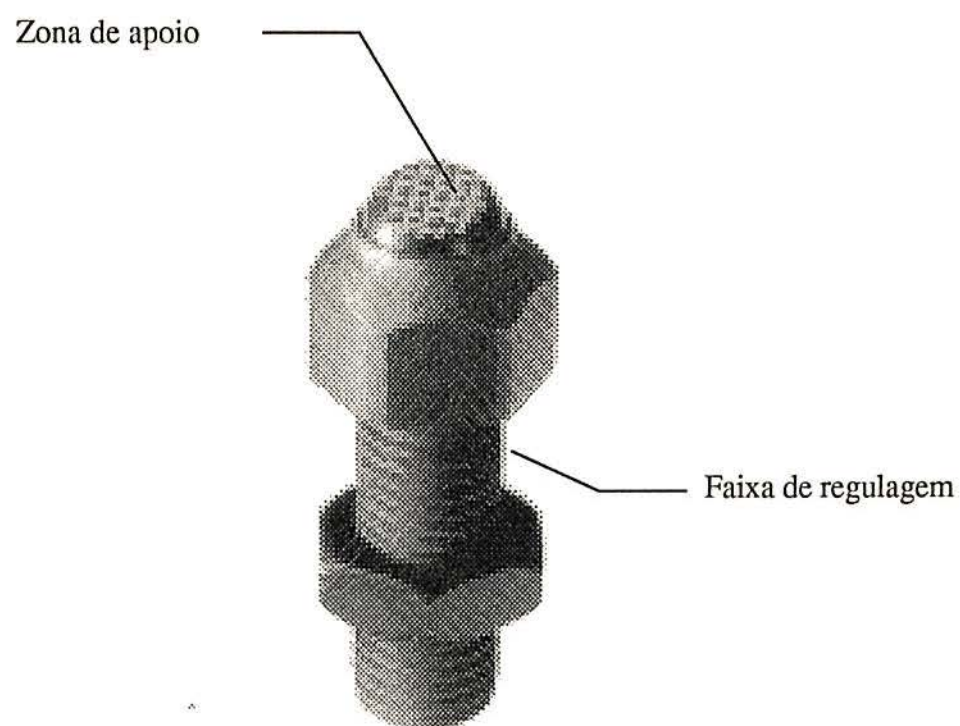


Figura 1 - Suporte regulável p/ assentamento de peças fundidas ou forjadas

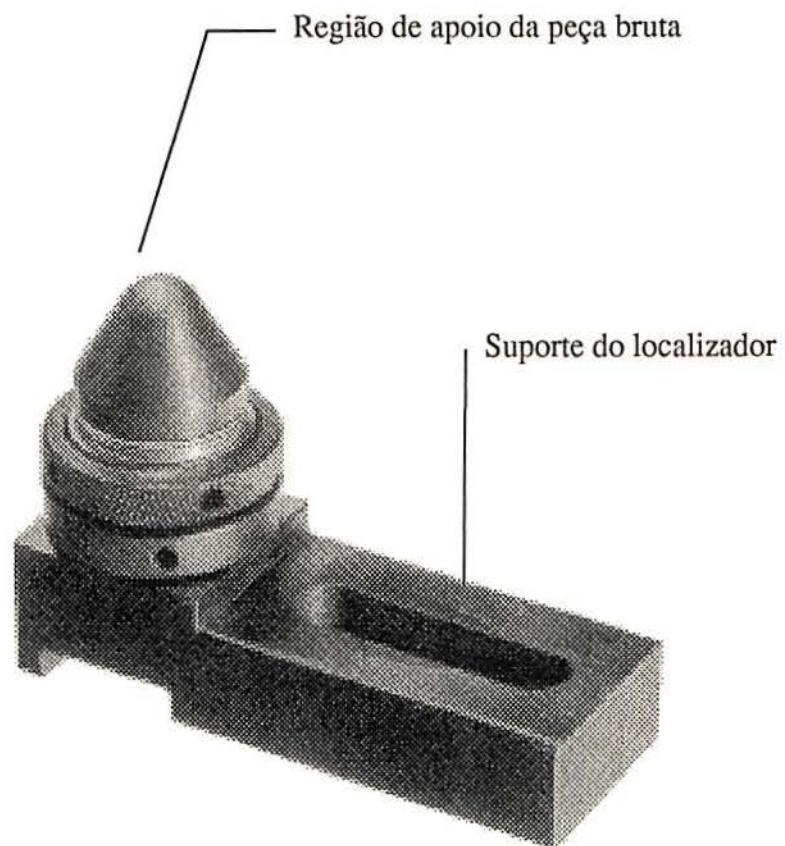


Figura 2 - Localizador cônico p/ assentamento de furos brutos

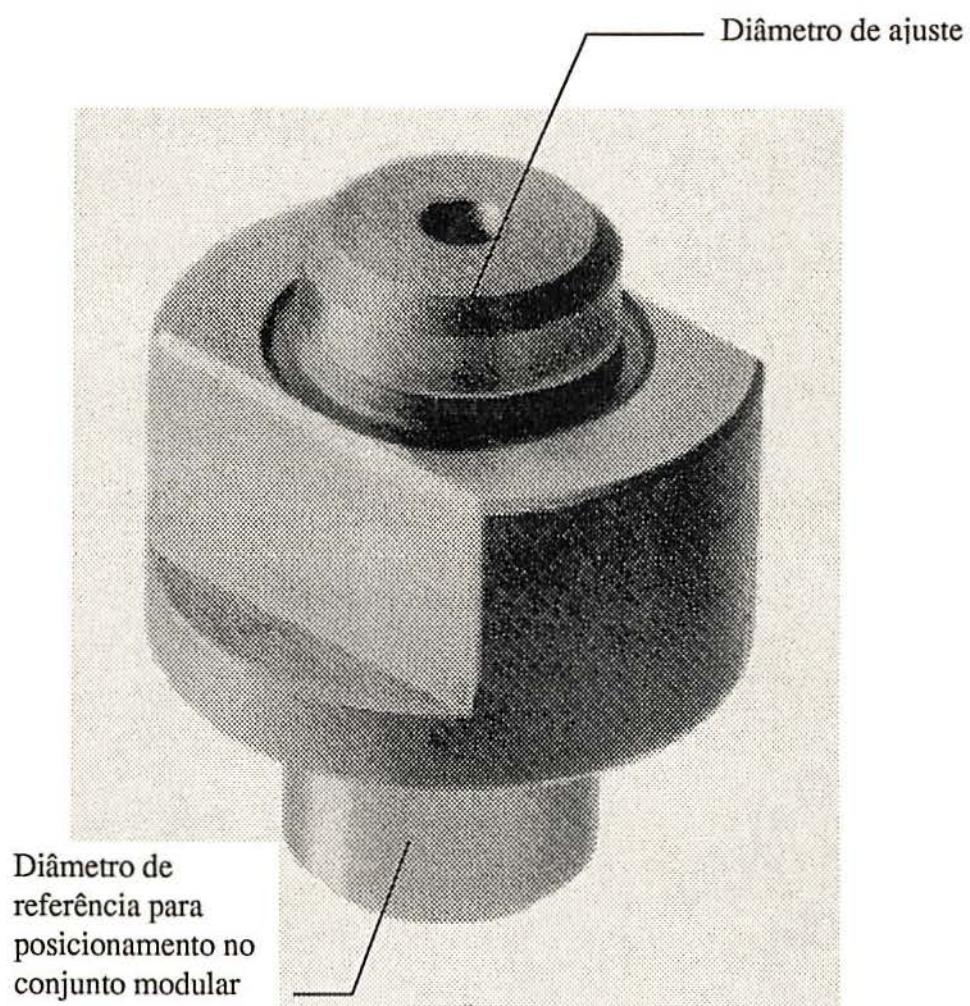


Figura 3 - Localizador de furos usinados com dimensão de ajuste

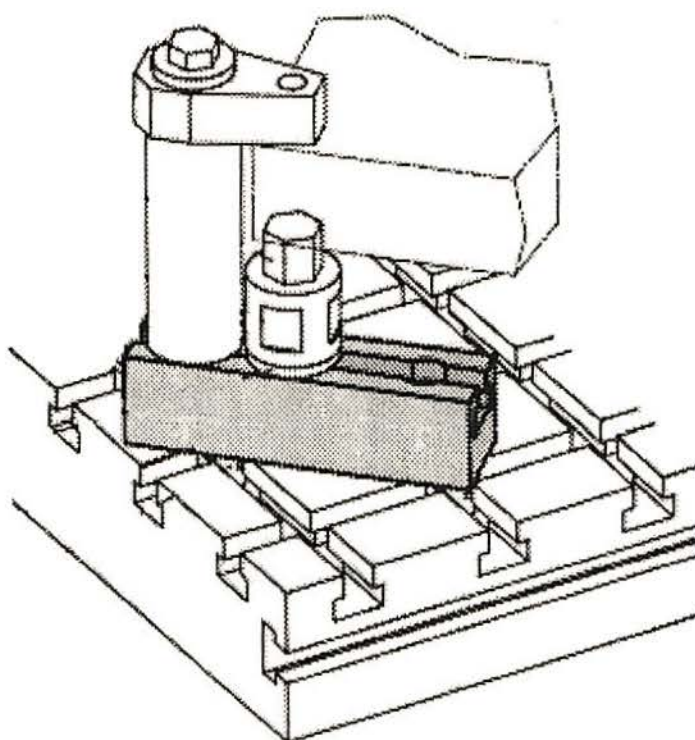


Figura 4 - Representação esquemática da alocação de elementos modulares de fixação

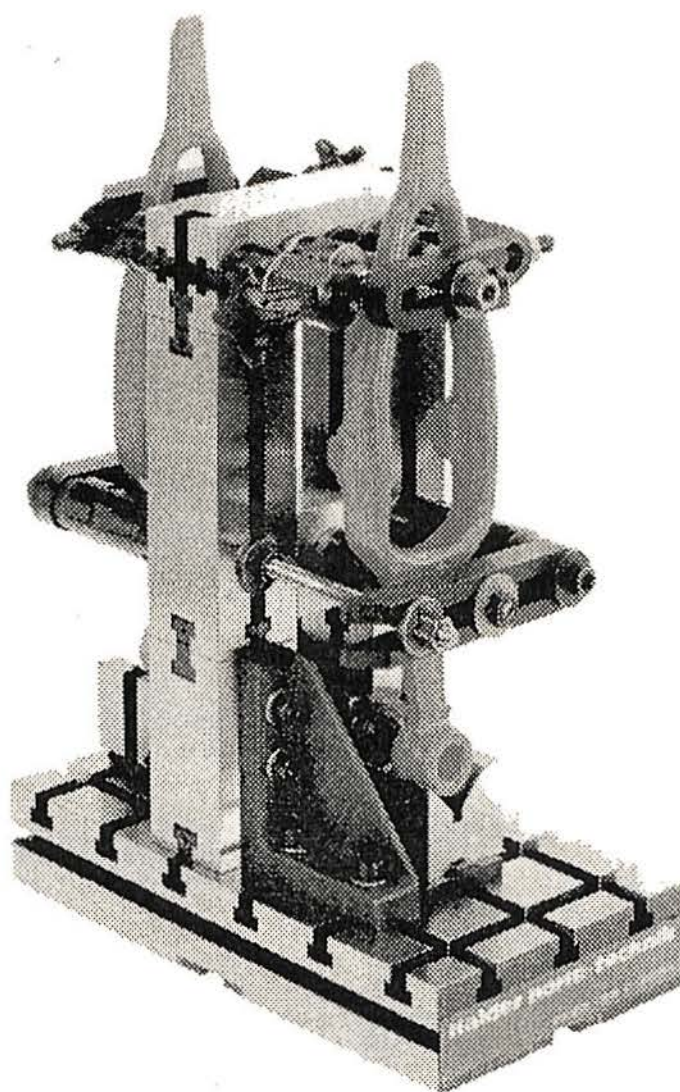


Figura 5 - Exemplo de utilização dos conjuntos modulares de fixação

Especificações:

Grupo = diâmetro

Atribuição = interna

Dimensão = 22 H7

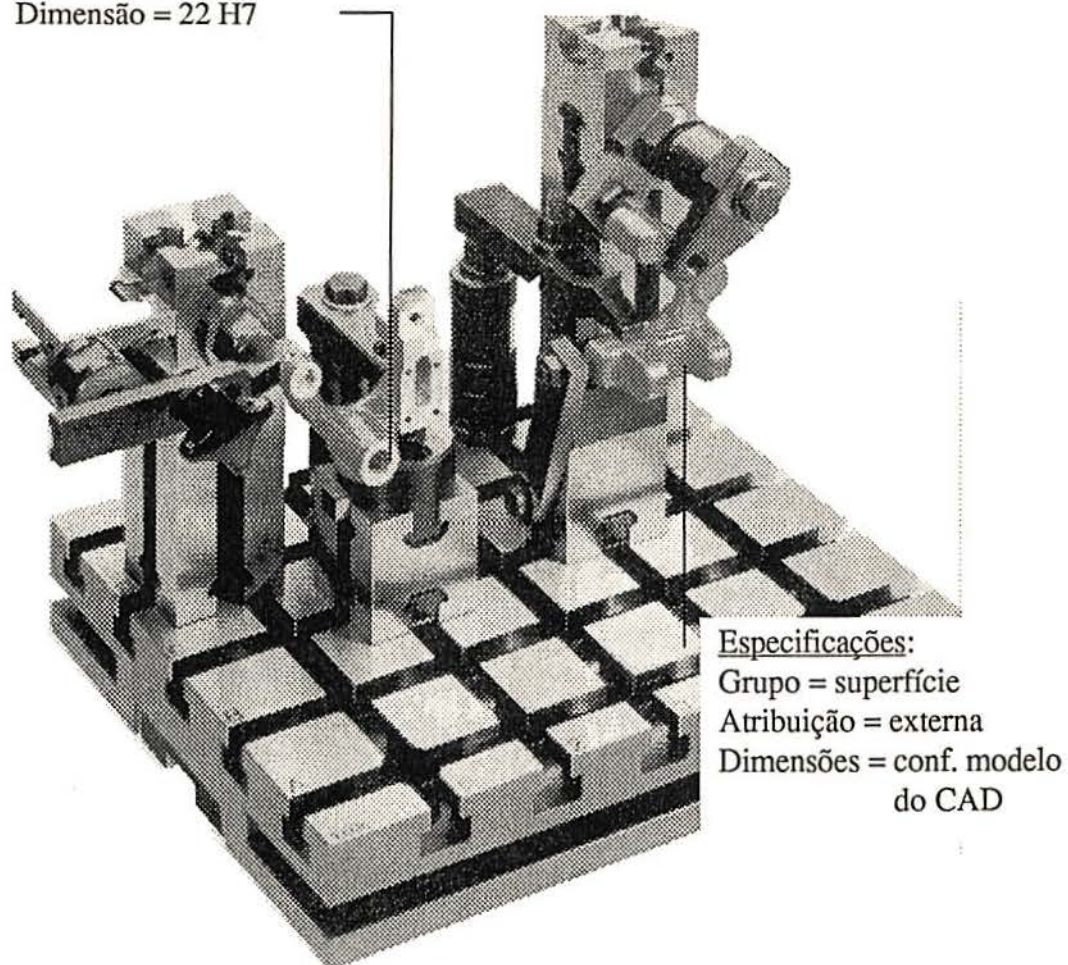


Figura 6 - Especificações de grupo, atribuição e dimensões em uma peça mecânica

Malha de pontos com espaçamento diferenciado em X e Y

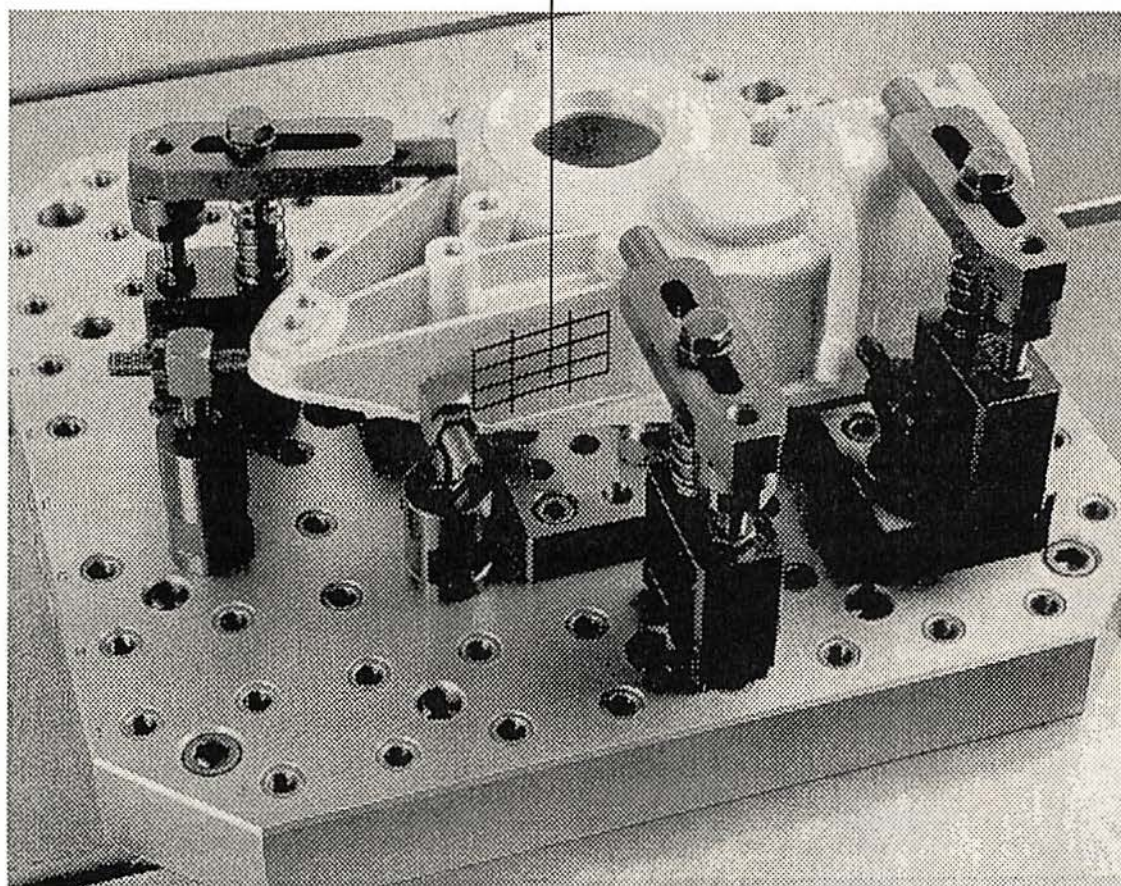


Figura 7 - Malha de pontos associada à *peça em processo*

Pino localizador para posicionamento da peça
relativamente ao do furo previamente usinado

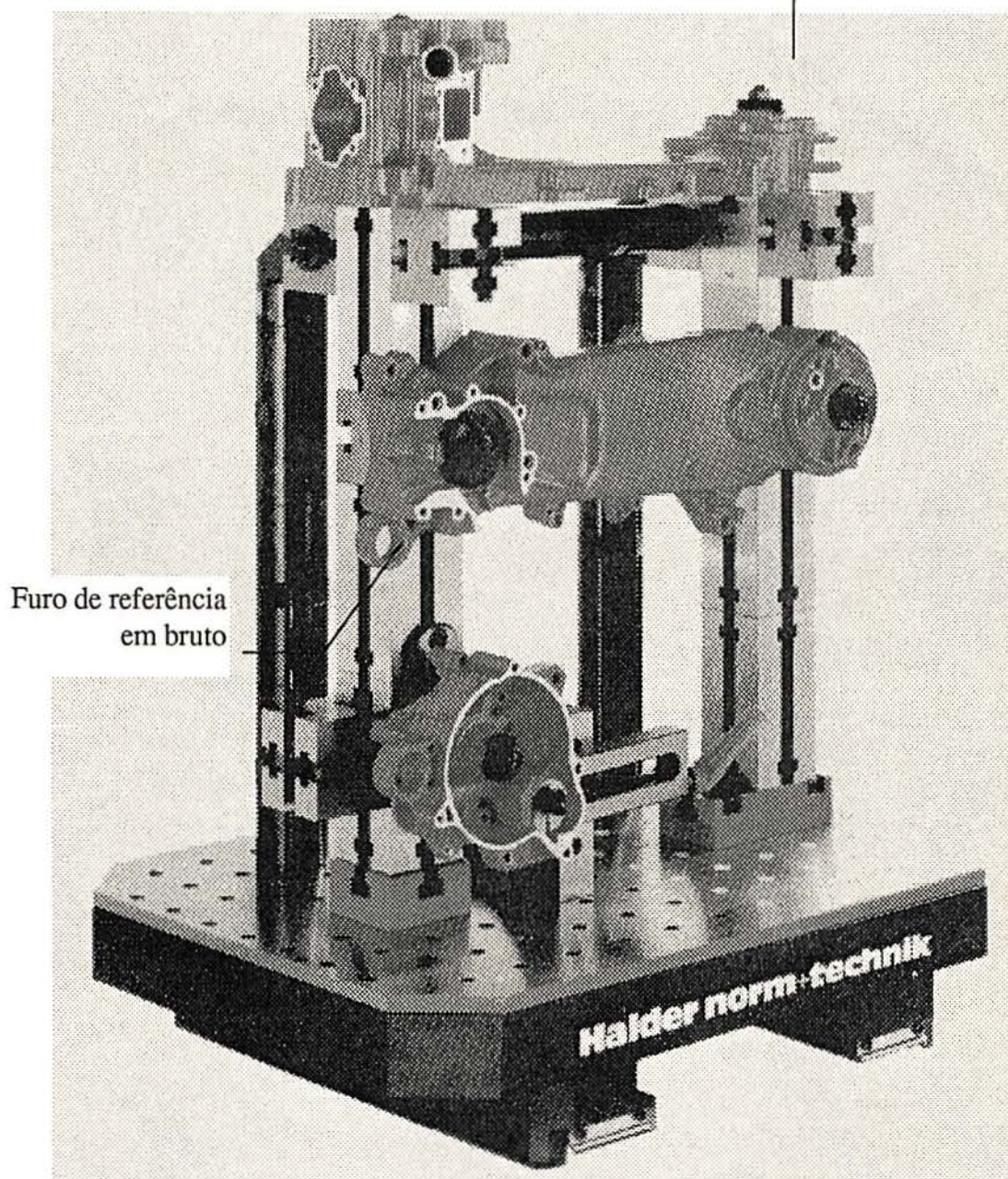


Figura 8 - Guiamento das carcaças pelo furo previamente usinado

Fixação sobre uma face a ser usinada em outra sujeição

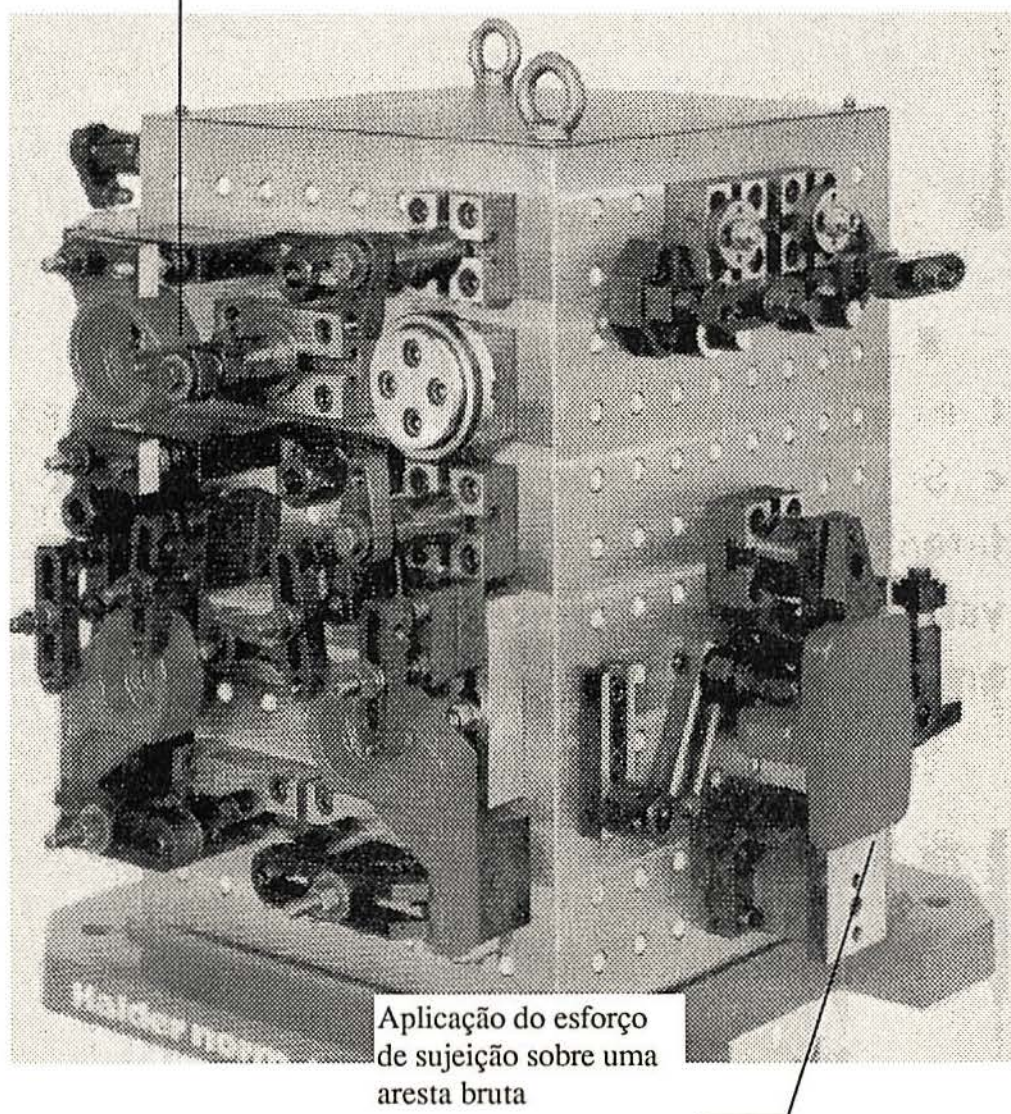


Figura 9 - Sujeição da *peça em processo* por uma aresta bruta

Hot Point - Detalhe construtivo da peça bruta destinado à facilitar a sujeição da mesma. Observe-se que, neste caso em particular, o conceito de *hot point* aplica-se não somente a um ponto específico, mas sim, a um conjunto de pontos dispostos ao longo do anel mostrado.

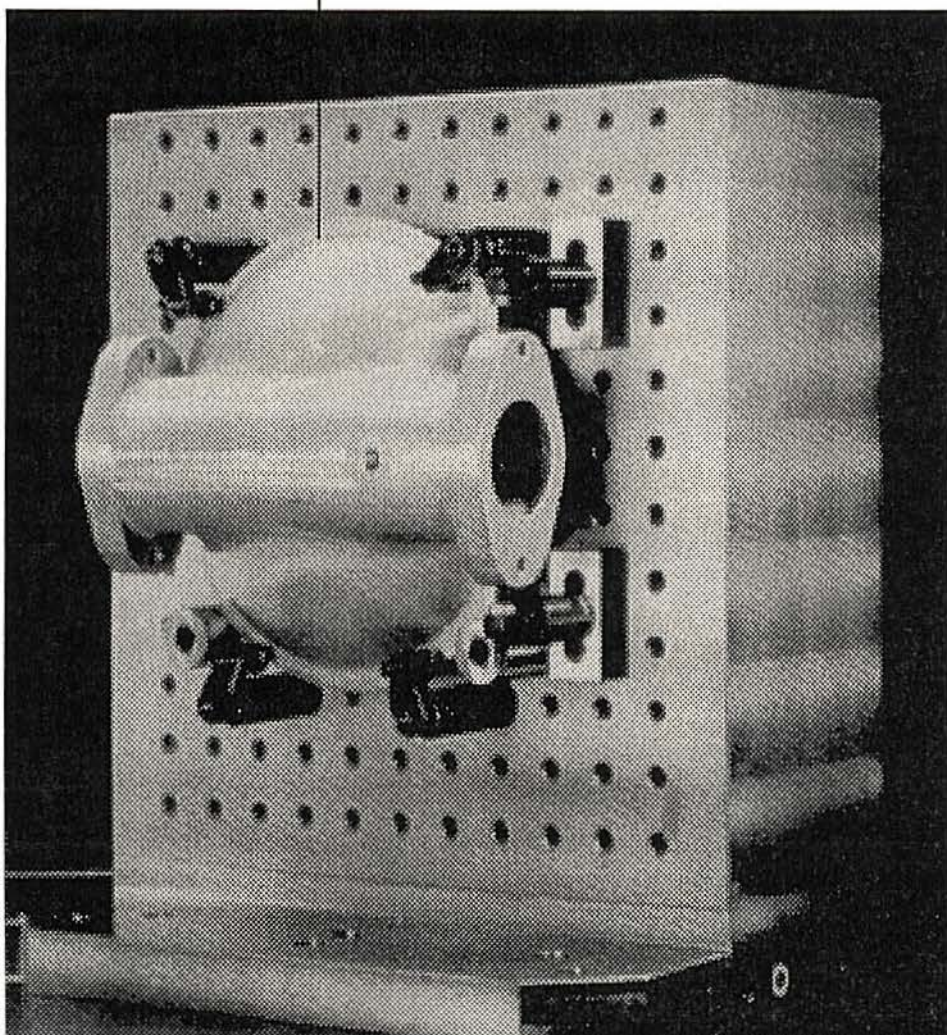


Figura 10 - Visualização do conceito de *Hot Point* numa carcaça

Hot points de fixação localizados
sobre a nervura da *peça em processo*

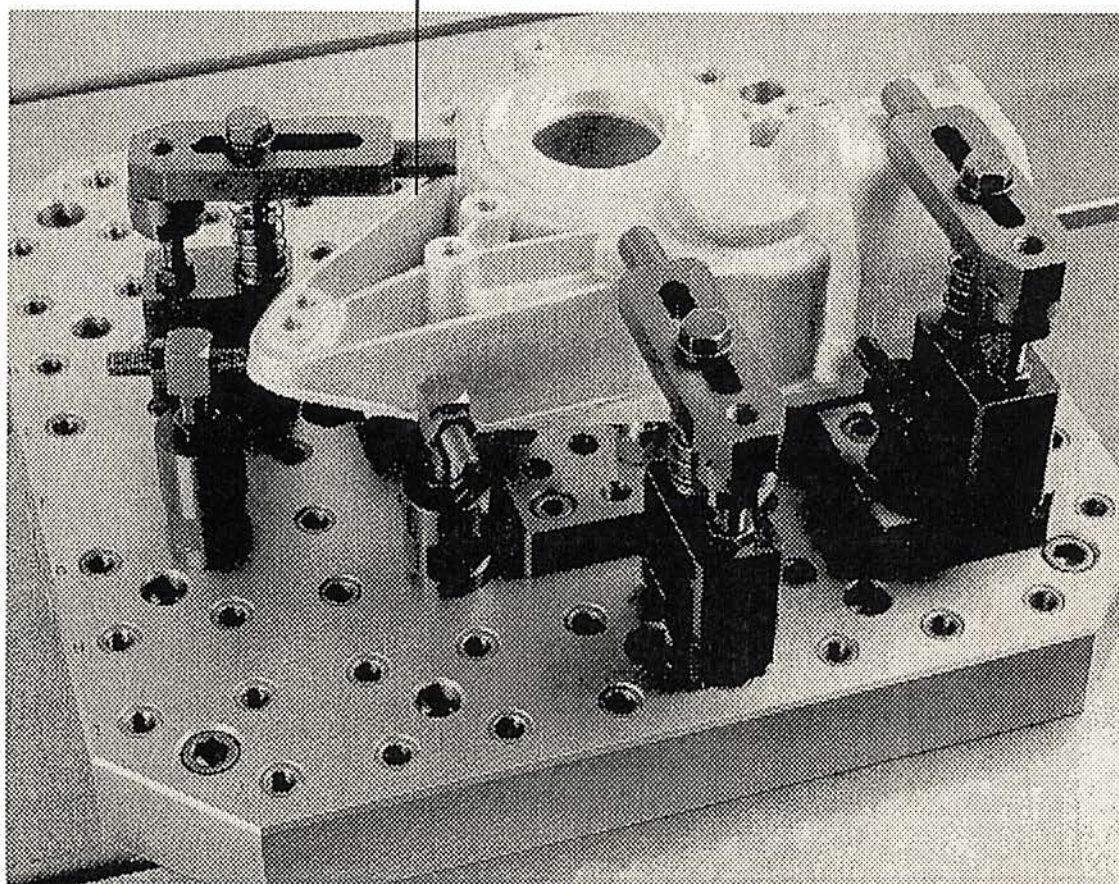


Figura 11 - *Hot Point* sobre uma aresta da *peça em processo*

Diferentes *formas características* de peças
sujeitadas pelo mesmo elemento modular

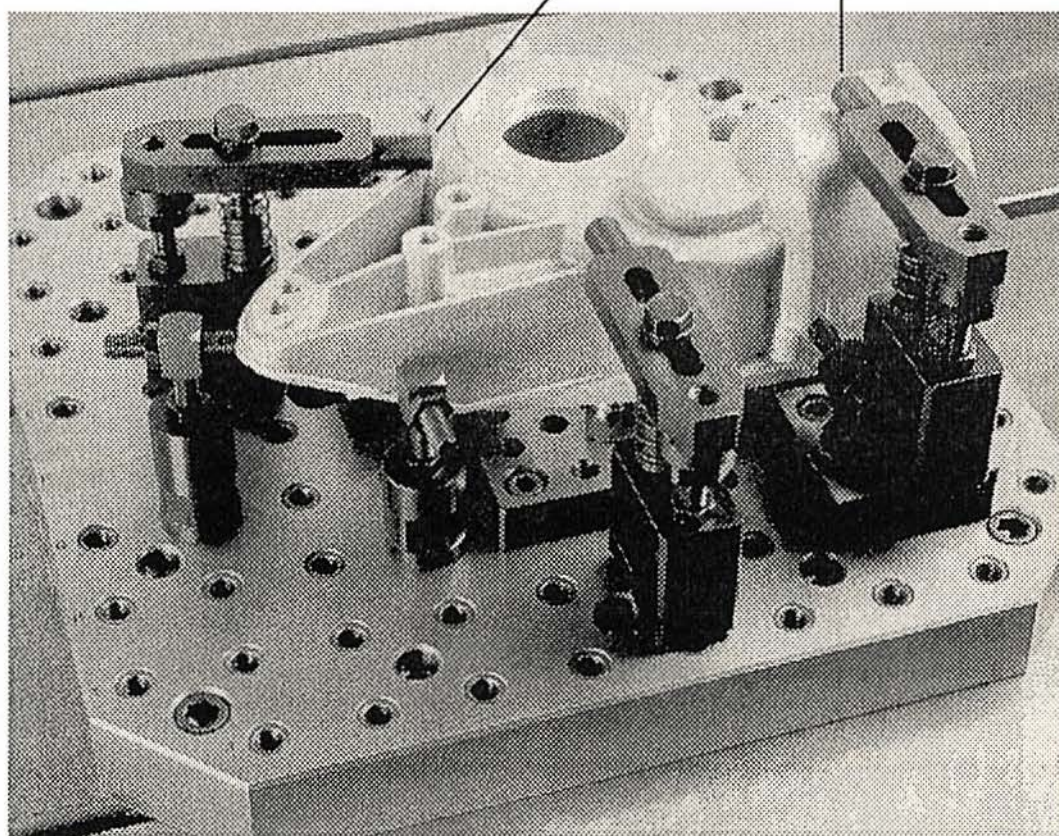


Figura 12 - Conexão entre diferentes *formas características* de peças e fixadores

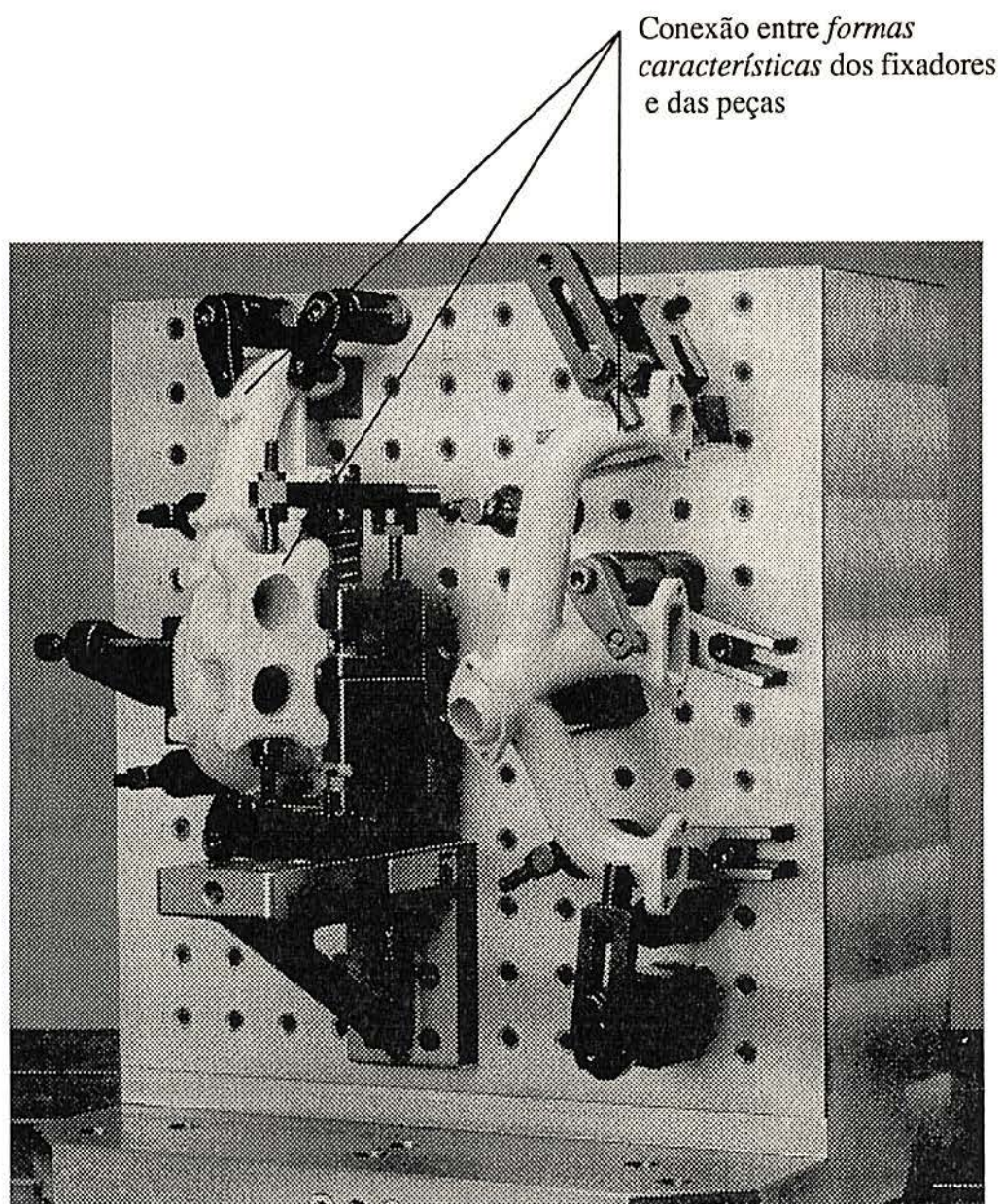


Figura 13 - Conexão entre *formas características* de peças e fixadores

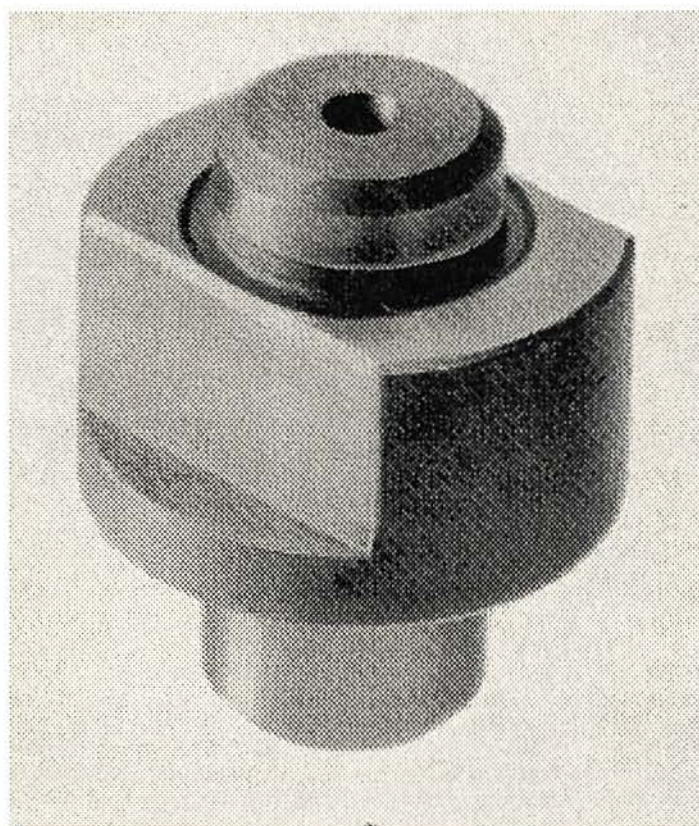


Figura 14 - Localizador de furos pré-usinados

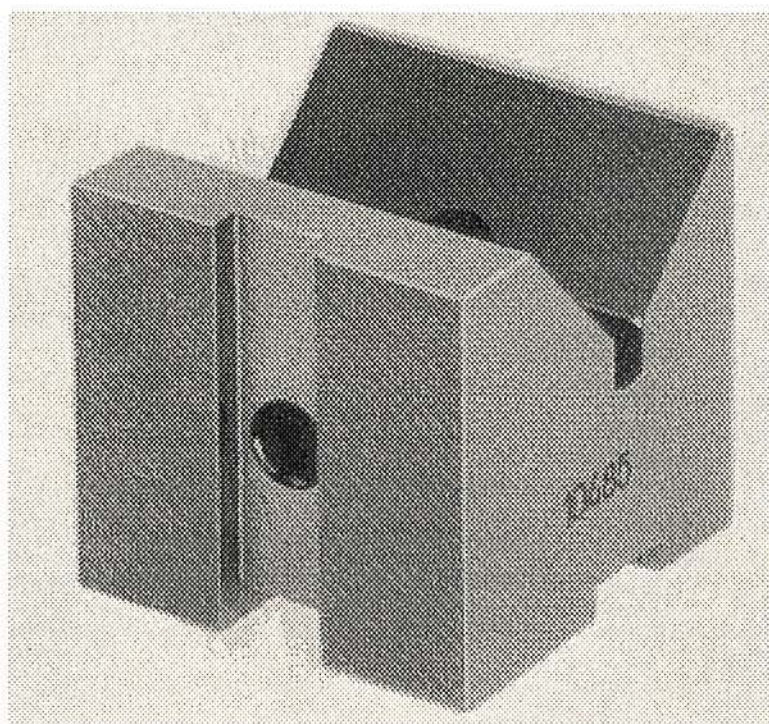


Figura 15 - Base de apoio angular

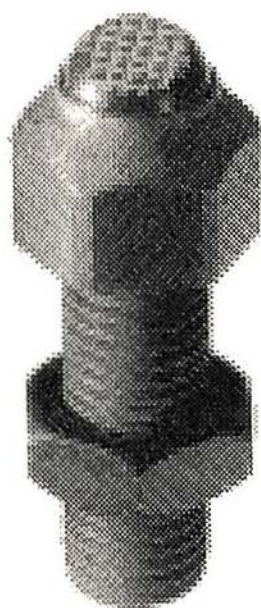


Figura 16 - Suporte de apoio regulável

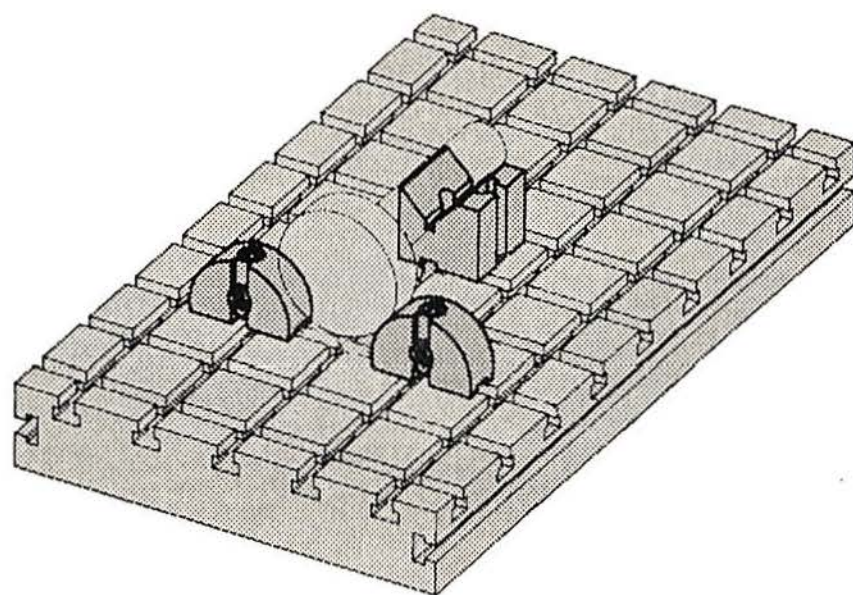


Figura 17 - Exemplo de conexão básica entre *formas características*

Observe-se a viabilidade técnica da conexão entre uma mesma *forma característica* de peça e diferentes elementos modulares de fixação

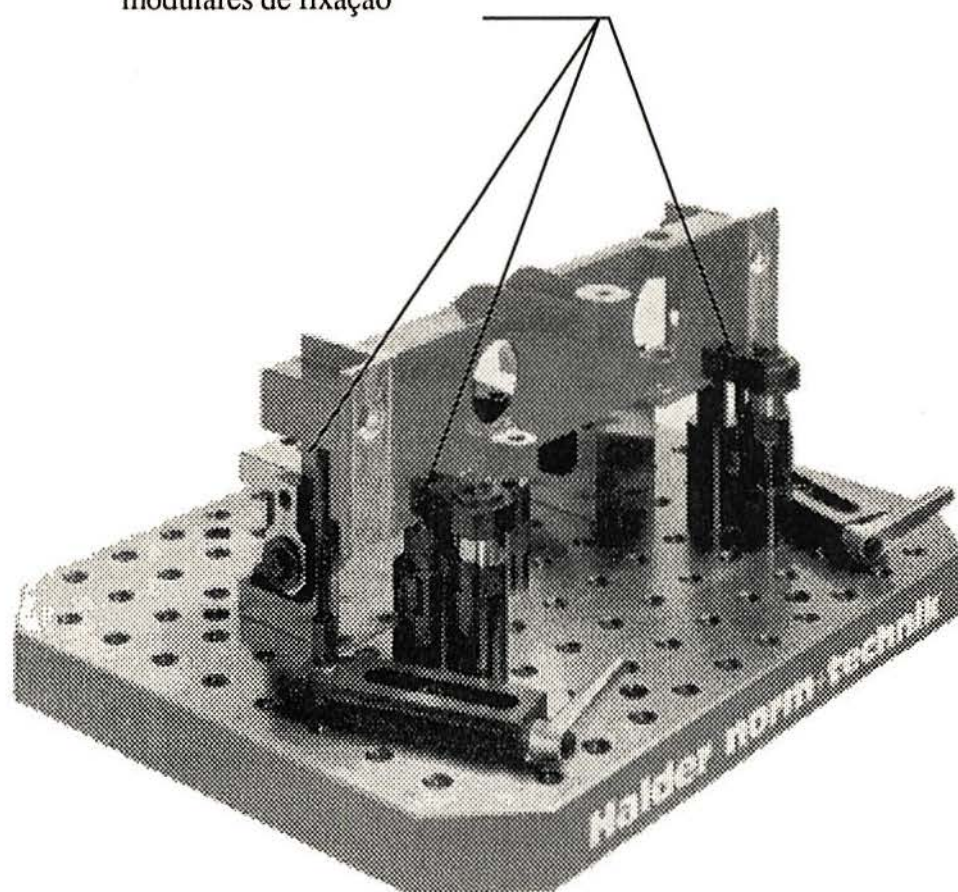


Figura 18 - Diferentes elementos conectados a uma *forma característica de peça*

Sistema de coordenadas de referência
dos elementos de fixação modular

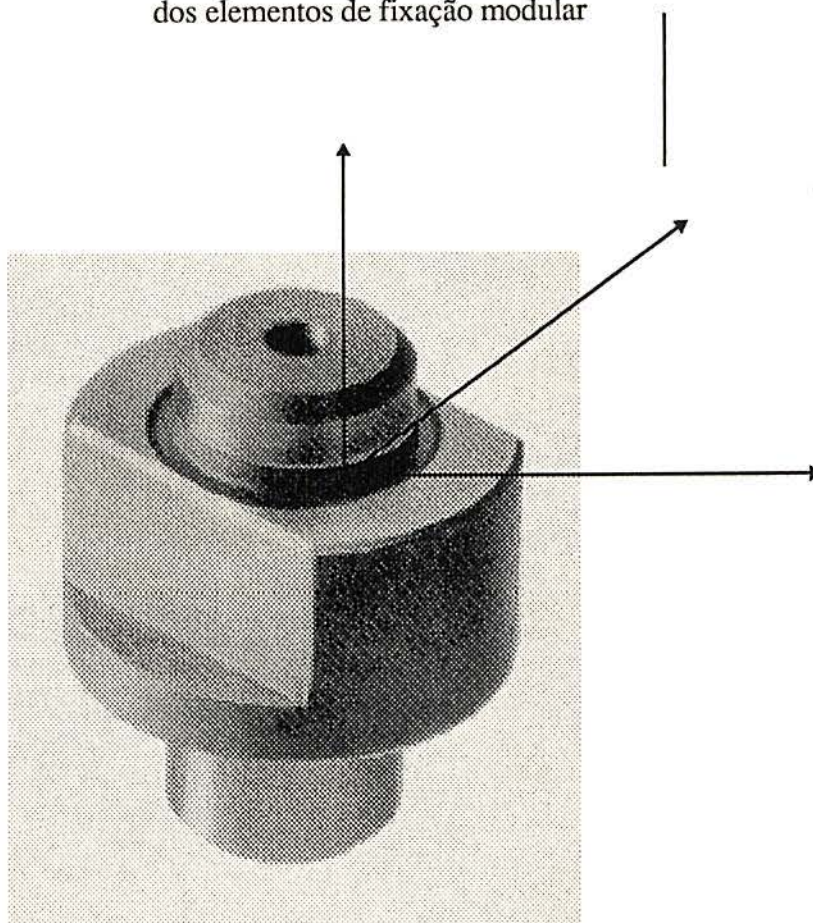


Figura 19 - Sistemas de coordenadas de um localizador

Sistema de coordenadas de referência
de uma *forma característica* de um
elemento de fixação modular

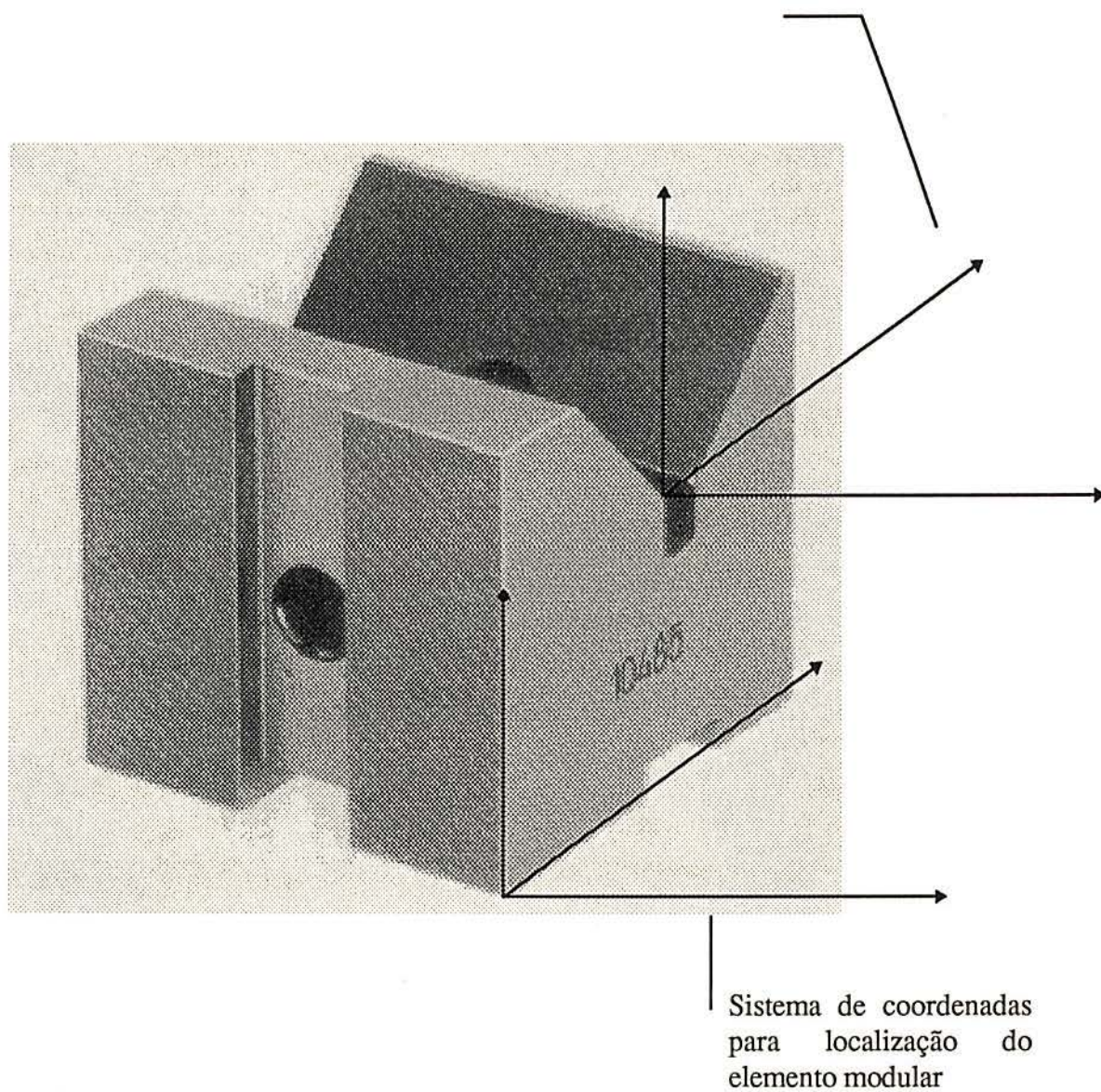


Figura 20 - Sistema de coordenadas numa base prismática

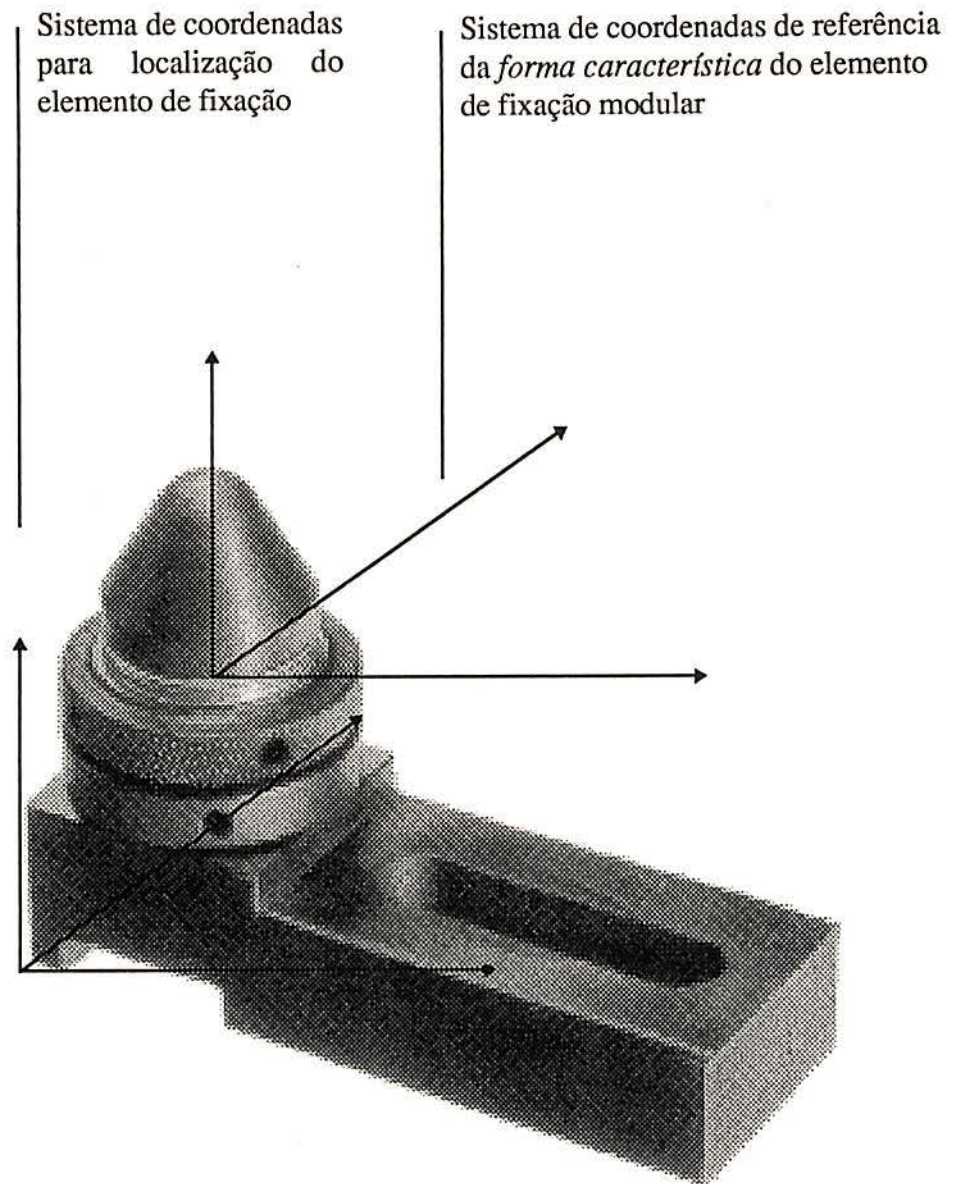


Figura 21 - Sistema de coordenadas num localizador cônico

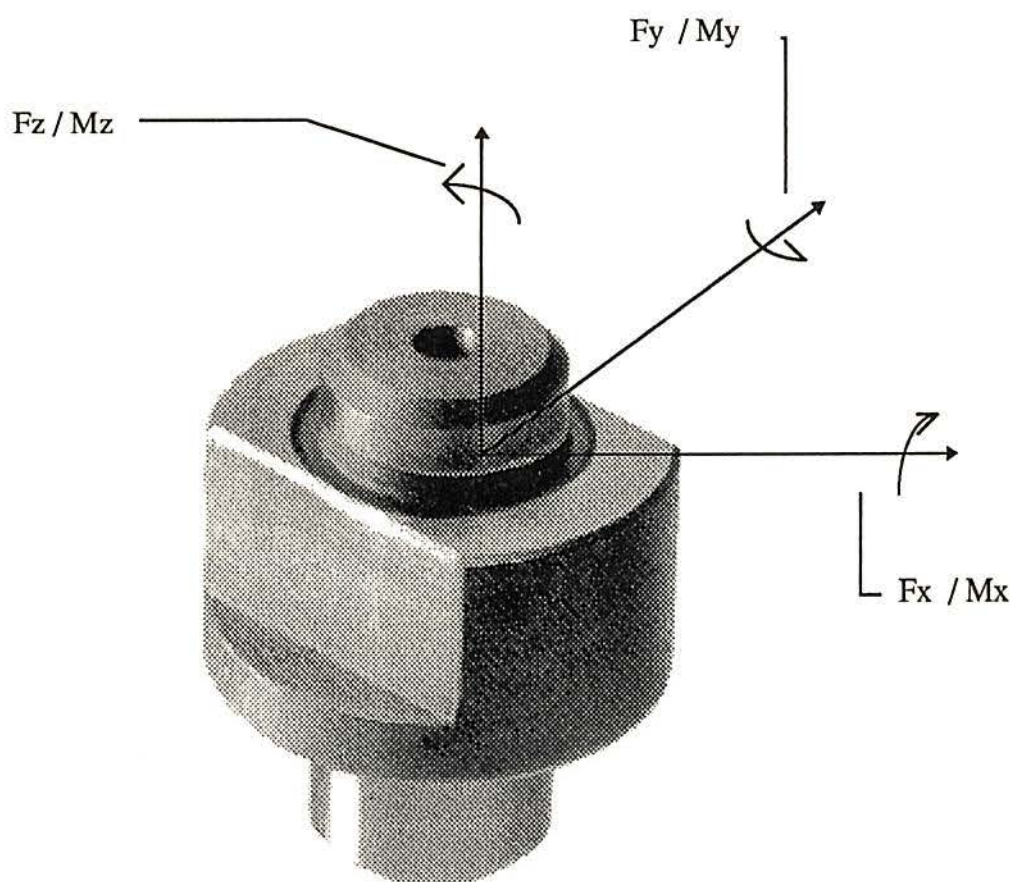


Figura 22 - Representação esquemática dos esforços reativos atuantes sobre um localizador

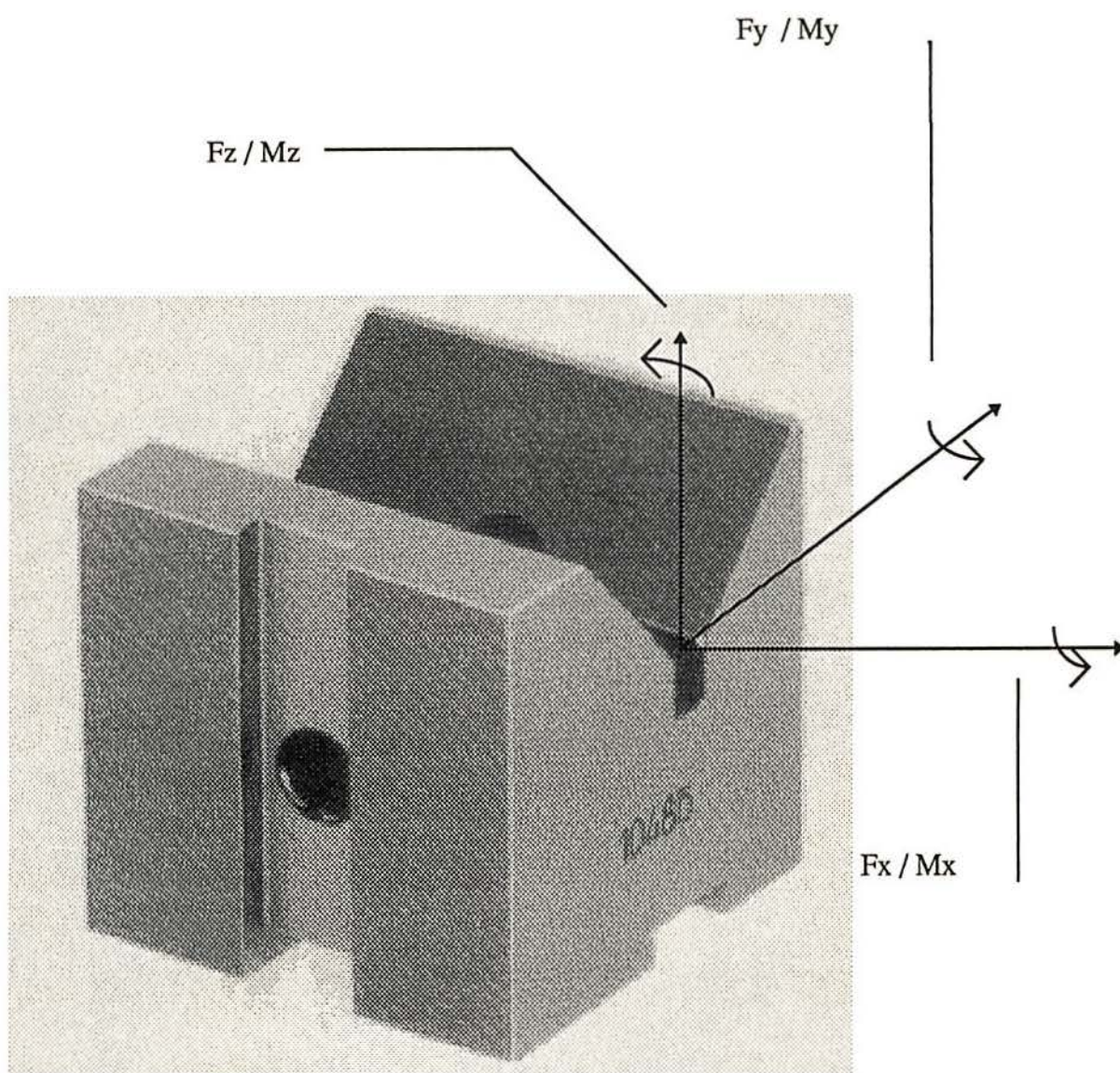


Figura 23 - Representação esquemática dos esforços reativos numa base prismática

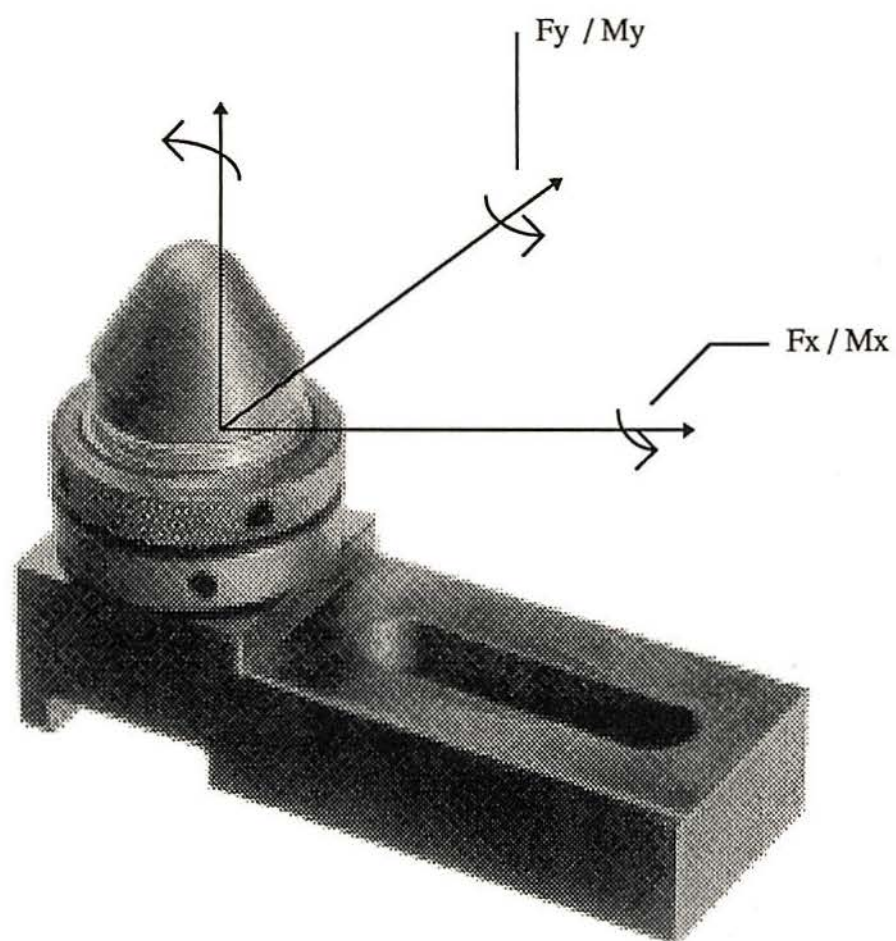
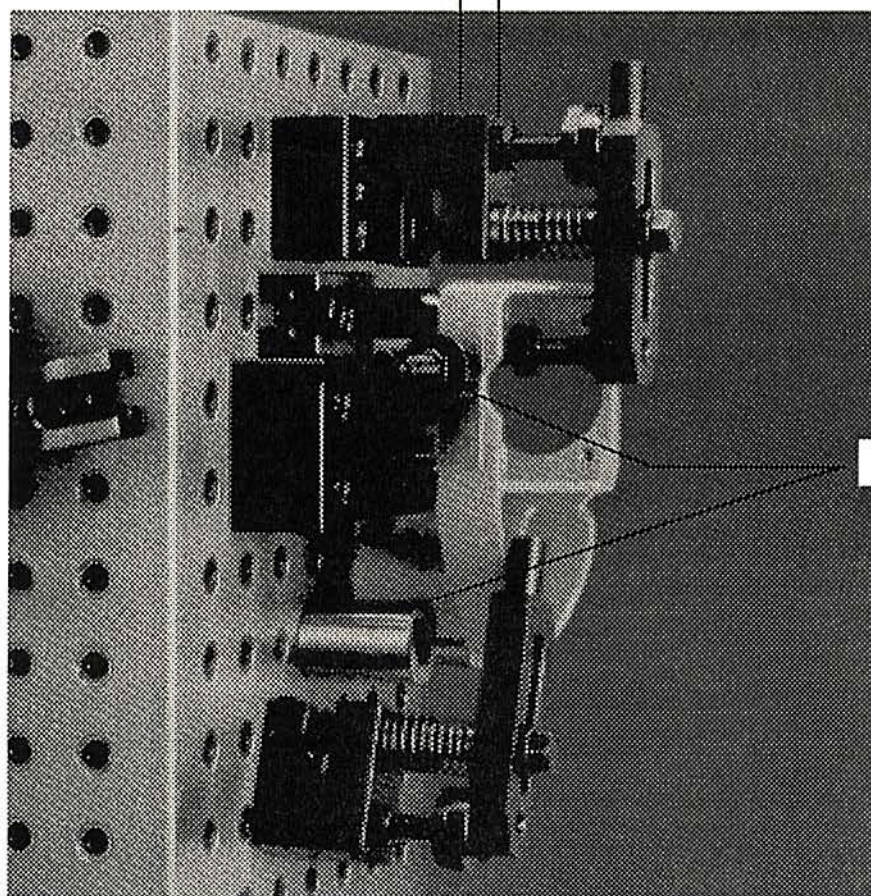


Figura 24 - Representação esquemática dos esforços reativos num localizador cônico

Faixa de atuação do
elemento modular de
sujeição



Localizadores

Figura 25 - Faixa de atuação de um grampo de sujeição modular

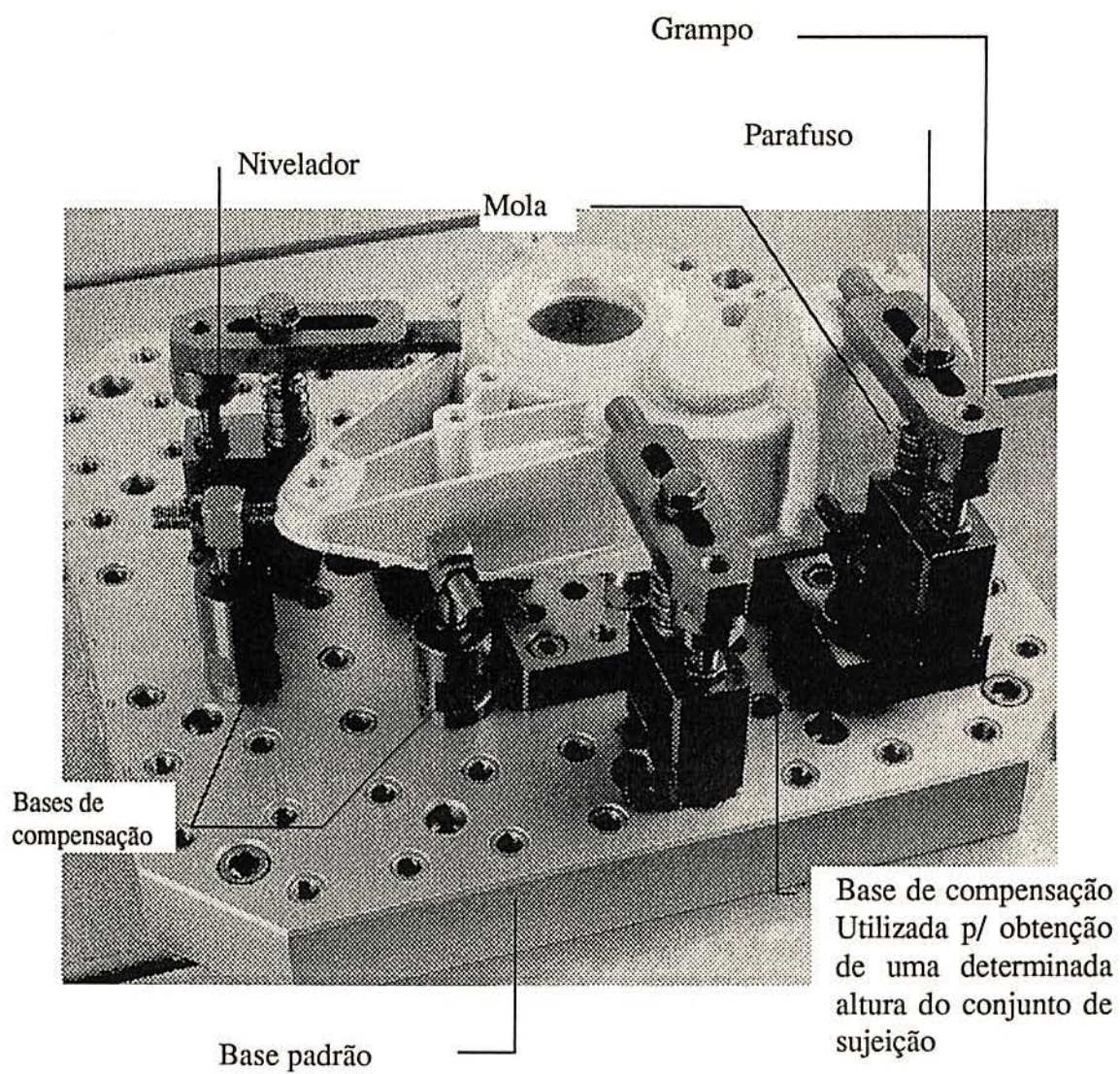


Figura 26 - Acessórios utilizados num conjunto de sujeição modular

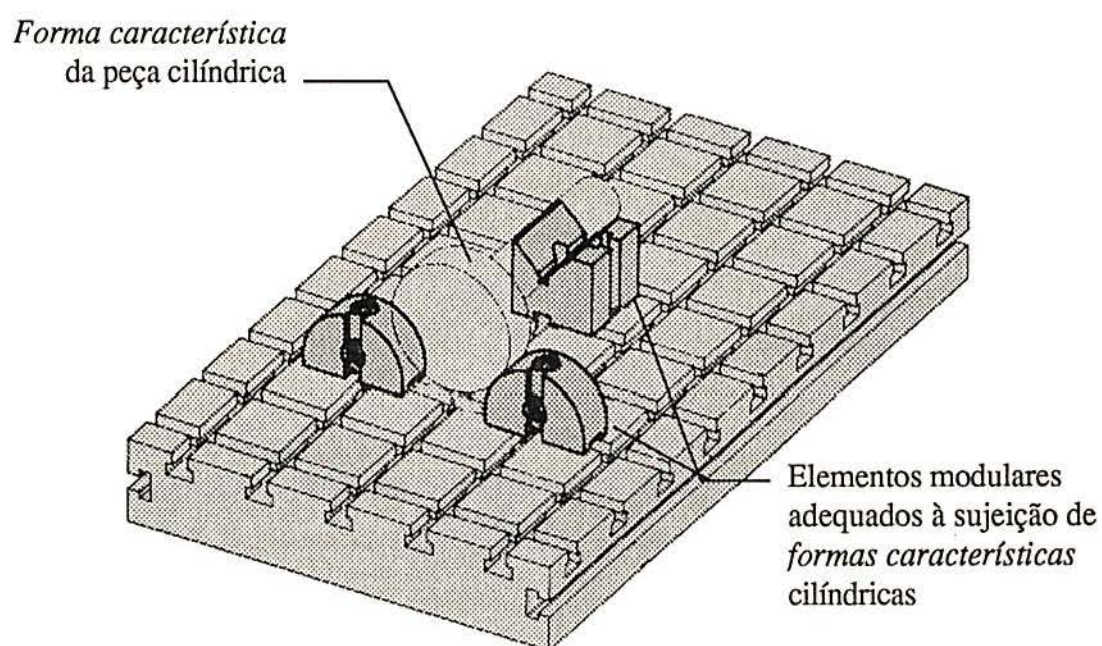


Figura 27 - Conexão entre *formas características* de peças e de elementos de sujeição

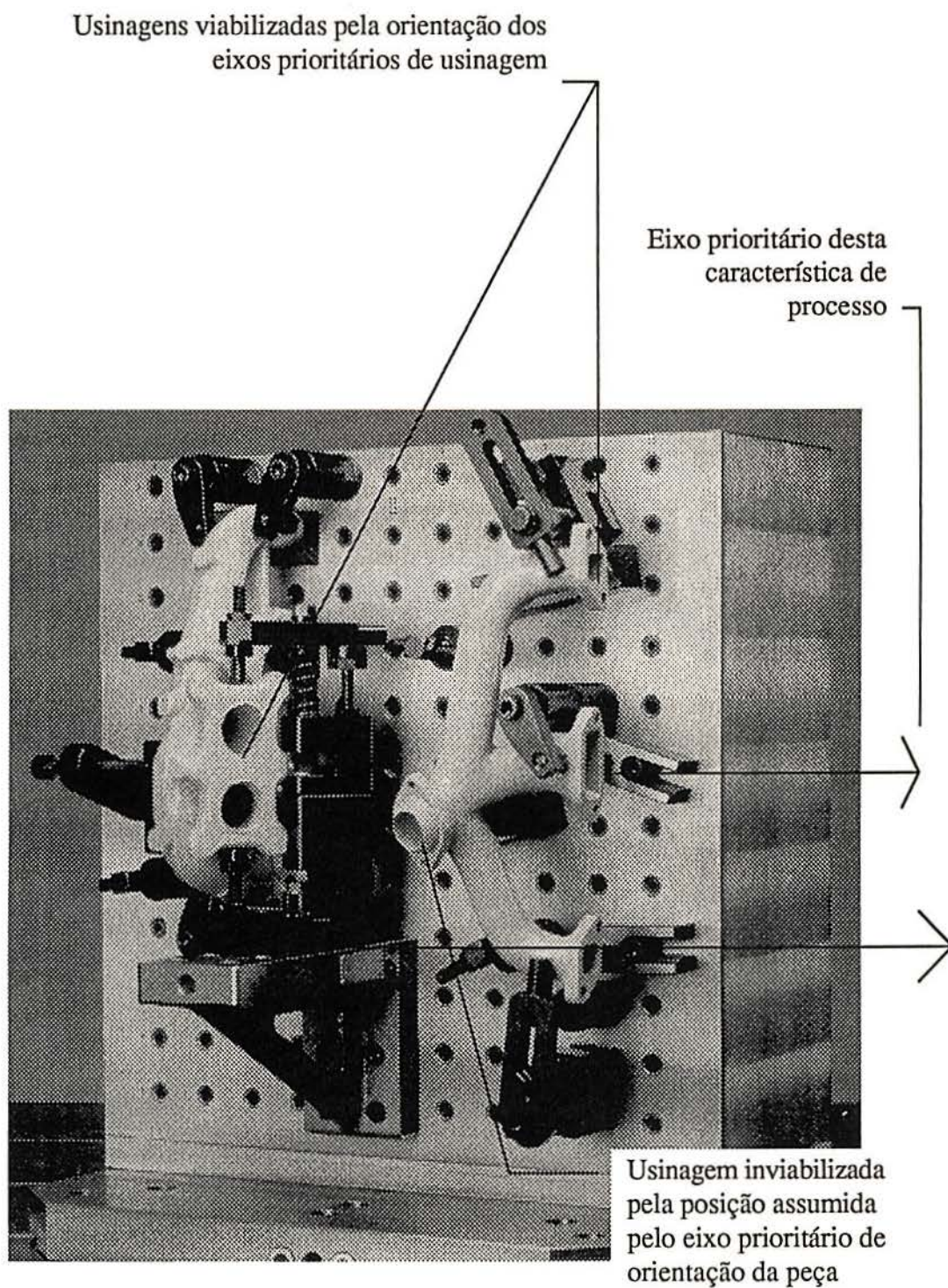


Figura 28 - Utilização dos eixos prioritários no posicionamento de um coletor

A combinação entre as *características de processo* a serem atendidas nesta sujeição e os respectivos eixos prioritários de orientação da peça conduziram à única posição viável para o posicionamento da carcaça em questão

Eixo prioritário
de orientação da
peça

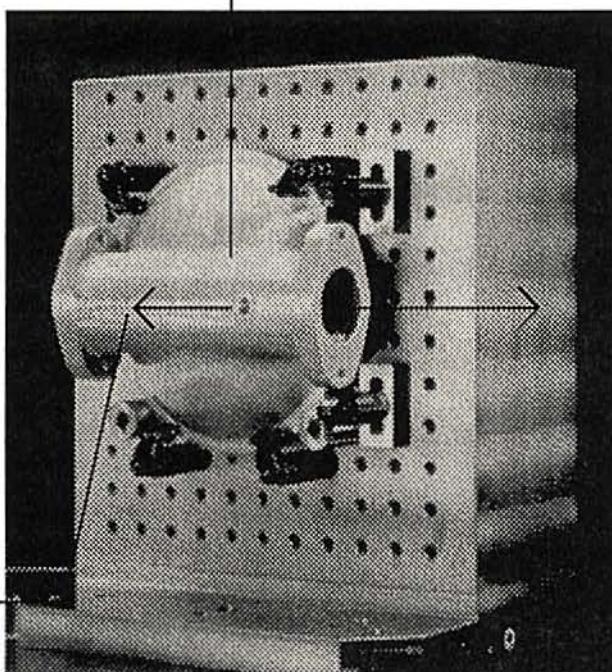


Figura 29 - Utilização dos eixos prioritários no posicionamento de uma carcaça

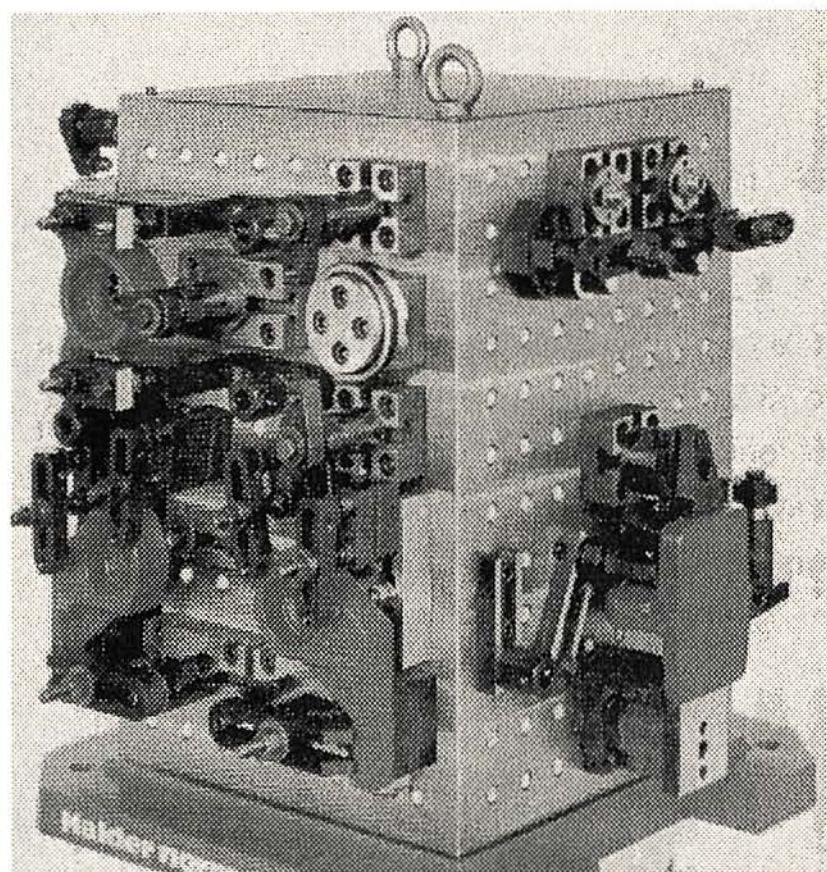
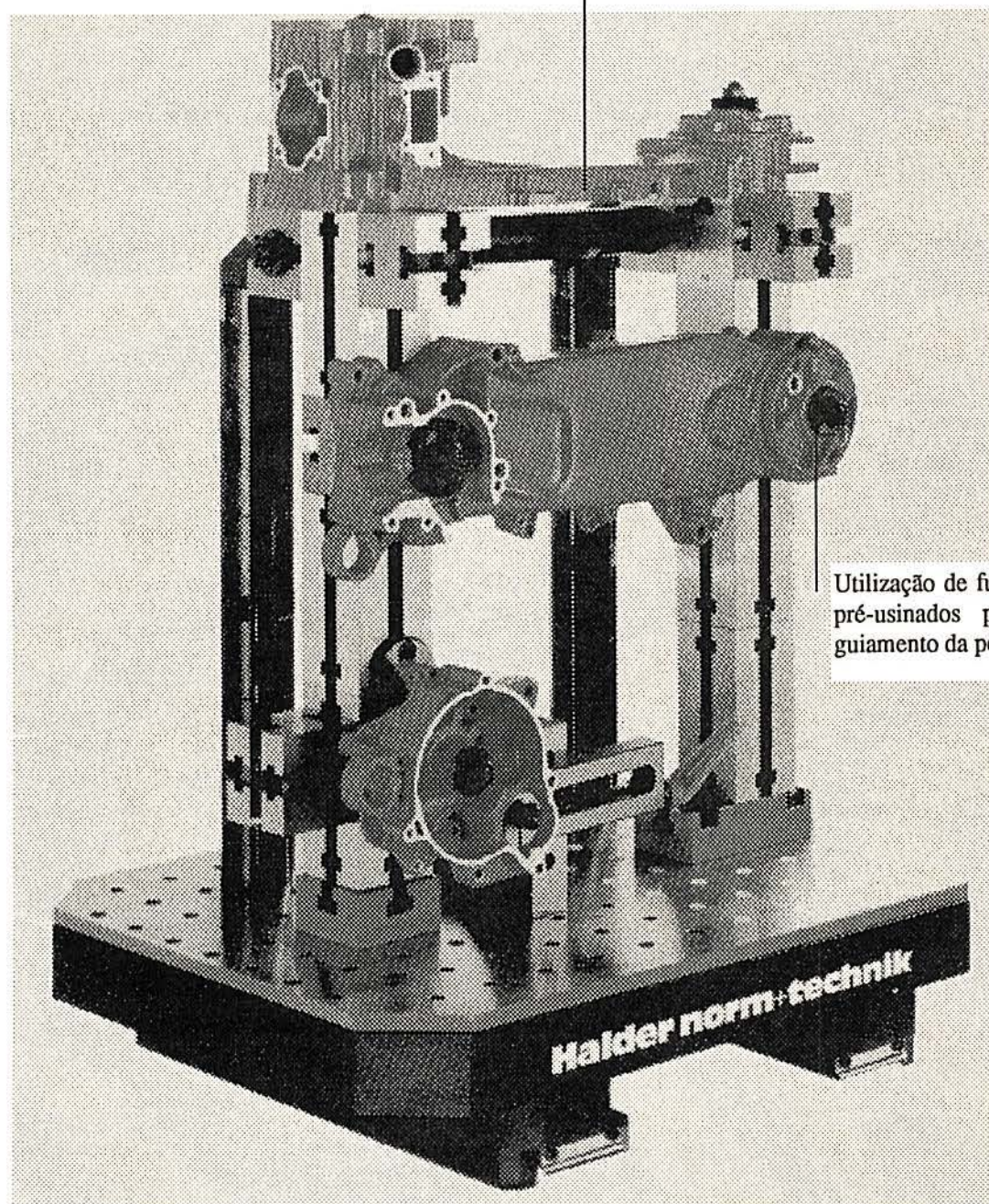


Figura 30 - Sujeição de peças brutas de fundição

Apoio da peça sobre uma face previamente usinada como forma de garantir-se a precisão geométrica e dimensional especificada



Utilização de furos pré-usinados para guiamento da peça

Figura 31 - Sujeição de peças pré-usinadas

Referência de processo e de programação CNC garantida pelo localizador alocado ao furo pré-usinado

Forma característica a ser usinada para referência na 2a. sujeição

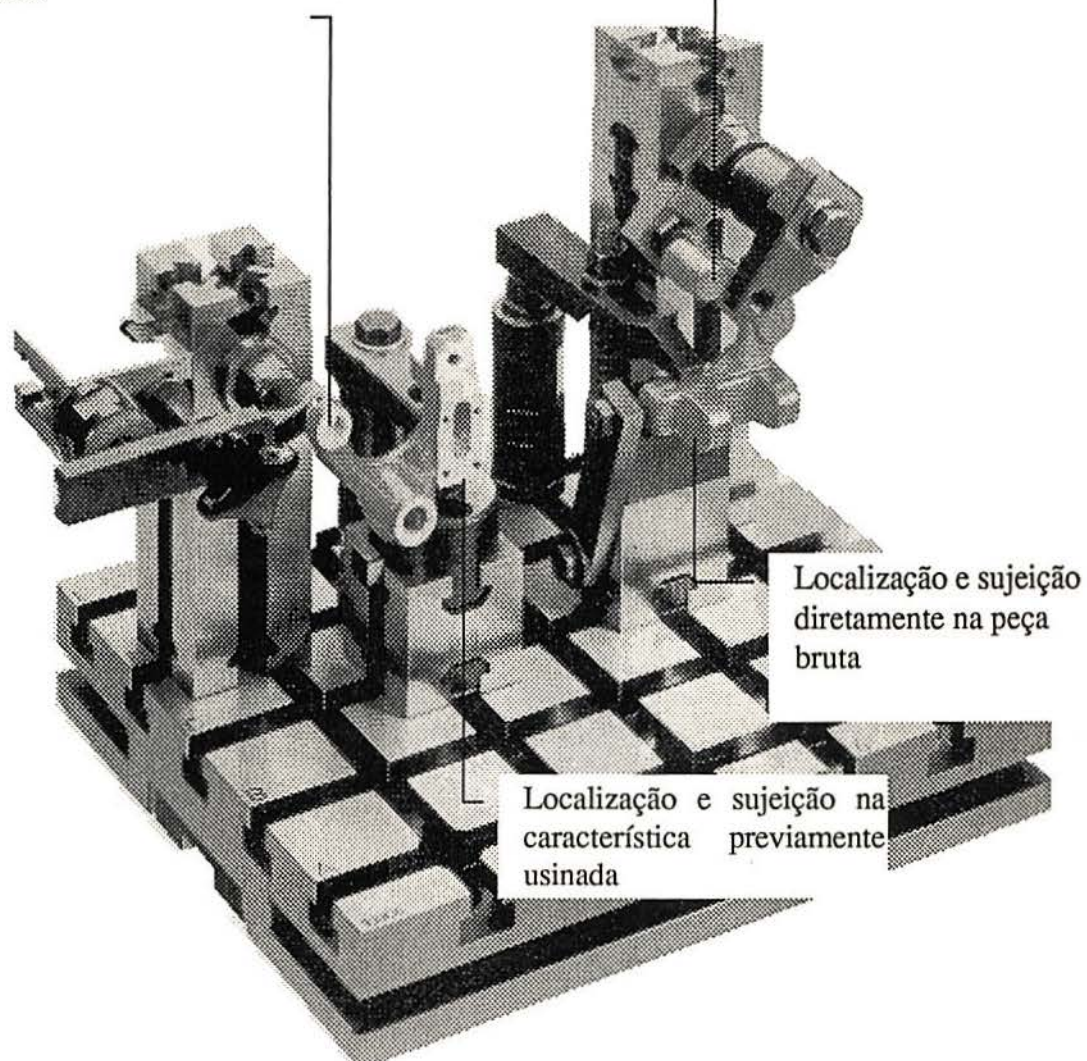


Figura 32 - Referências de fixação em uma peça bruta e uma pré-usinada

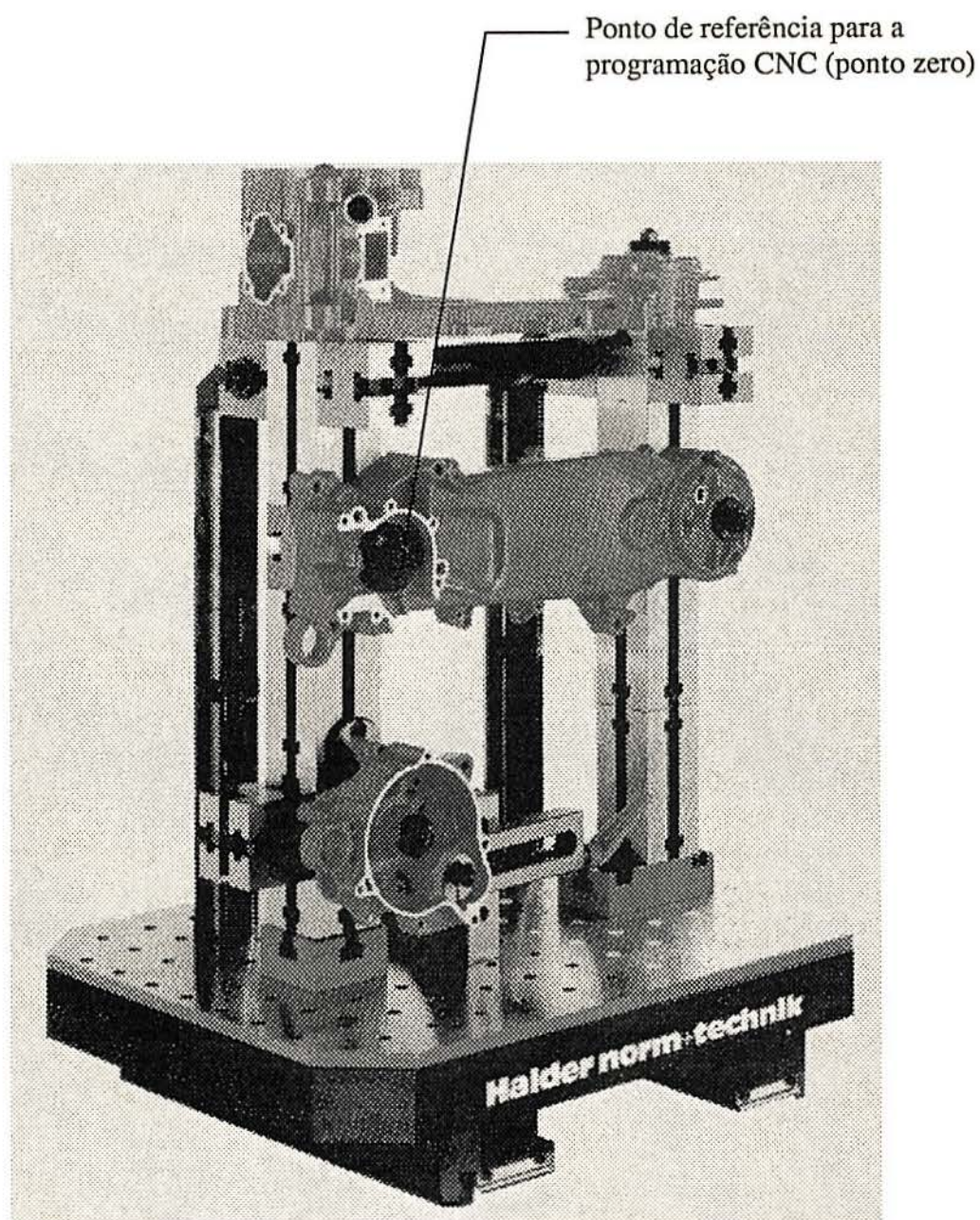


Figura 33 - Referência para a programação CNC em um furo pré-usinado

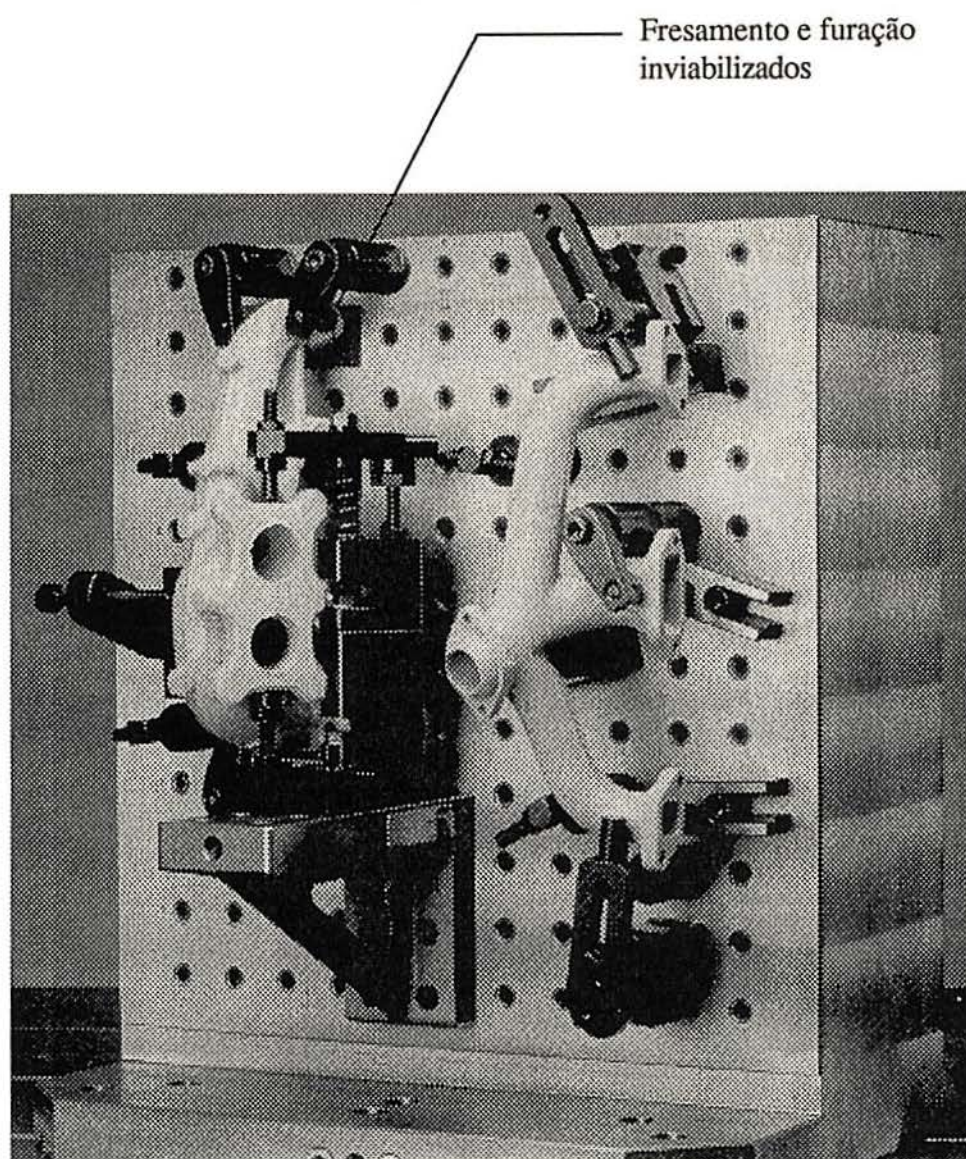


Figura 34 - Inviabilização de uma usinagem pela disposição dos elementos de sujeição

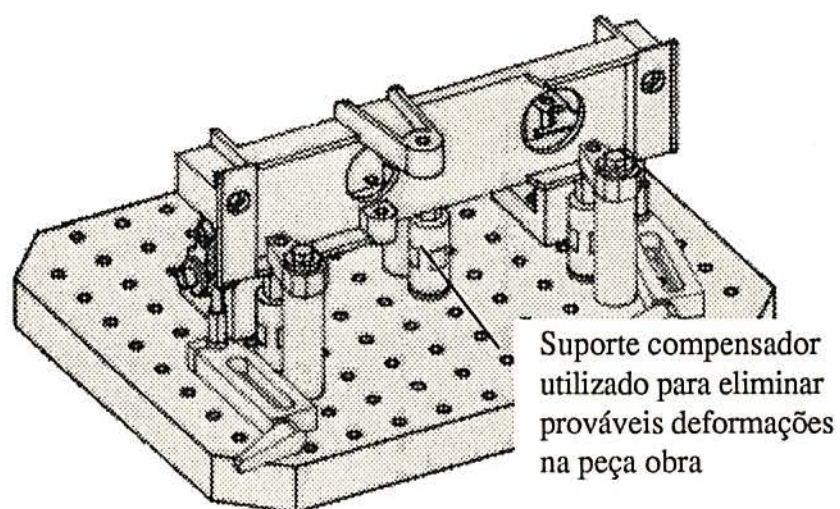


Figura 35 - Interposição de um suporte compensador para maior rigidez do conjunto

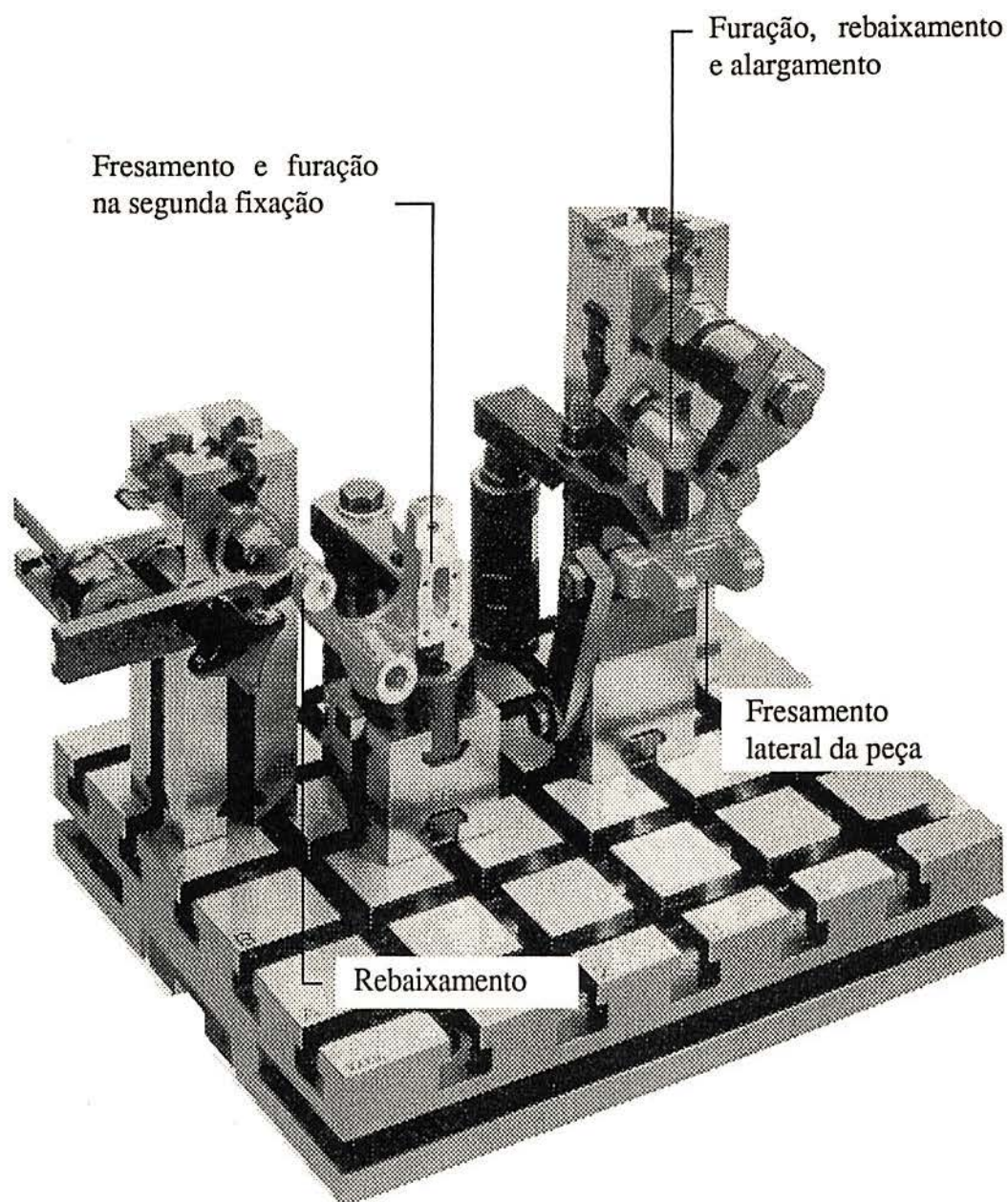


Figura 36 - Posicionamento da peça em função das necessidades de processo

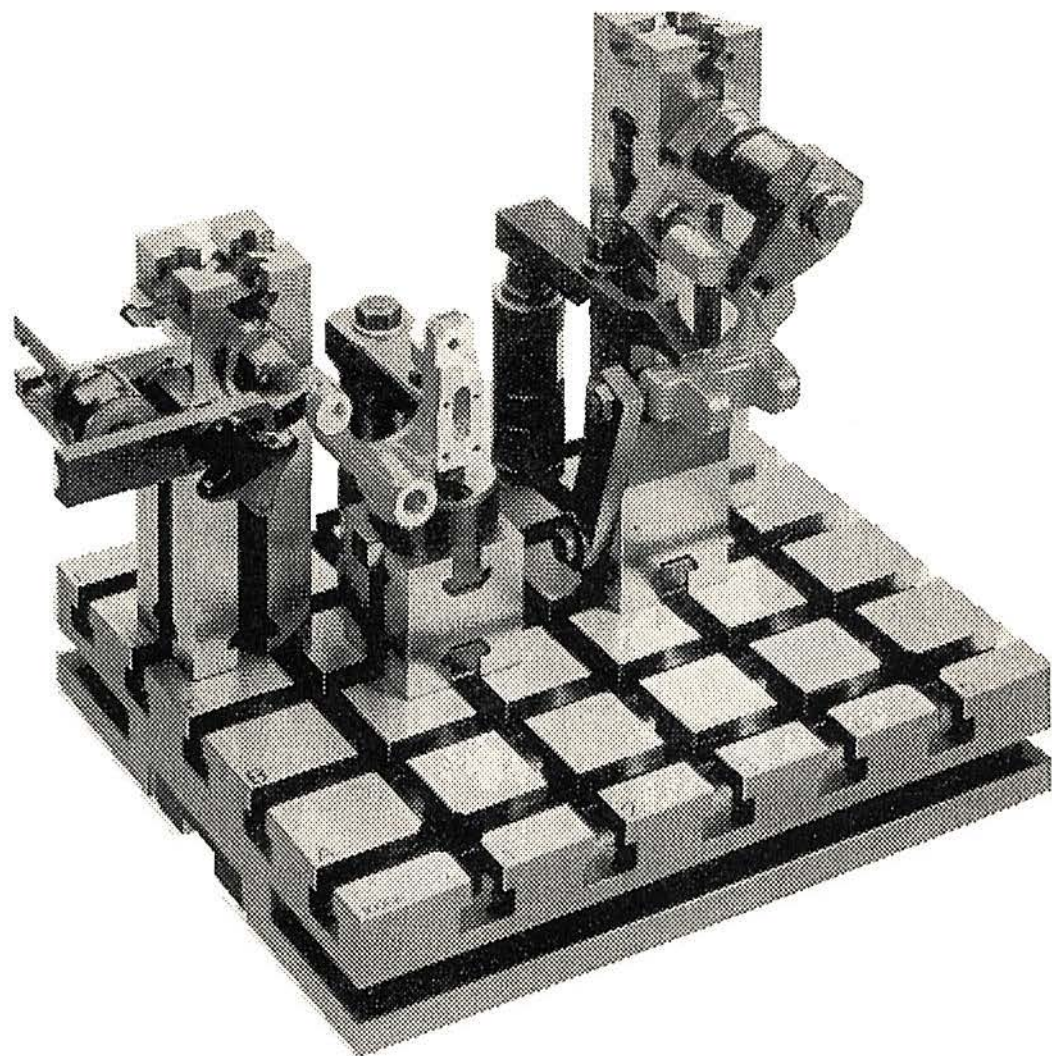


Figura 37 - Exemplo de um conjunto modular selecionado

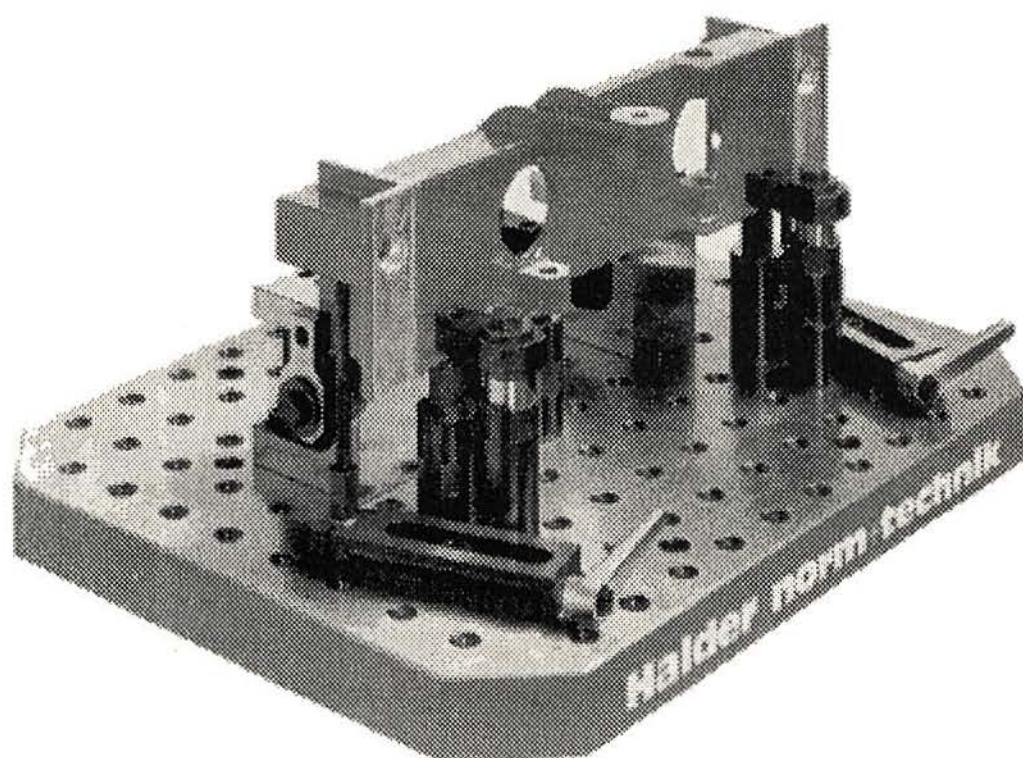


Figura 38 - Exemplo de um conjunto modular selecionado

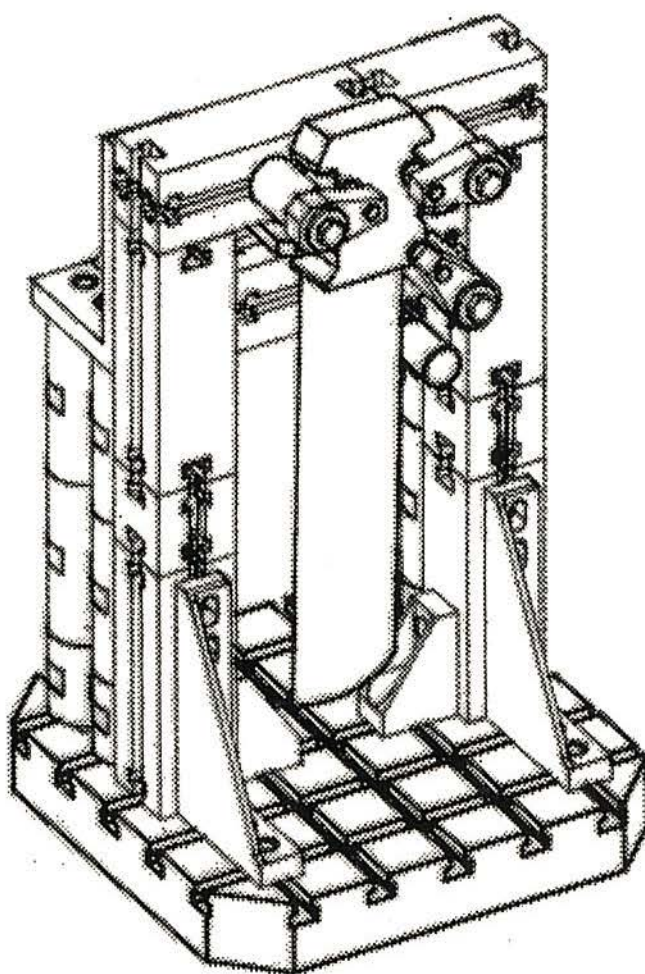


Figura 39 - Detalhamento gráfico de um conjunto modular selecionado

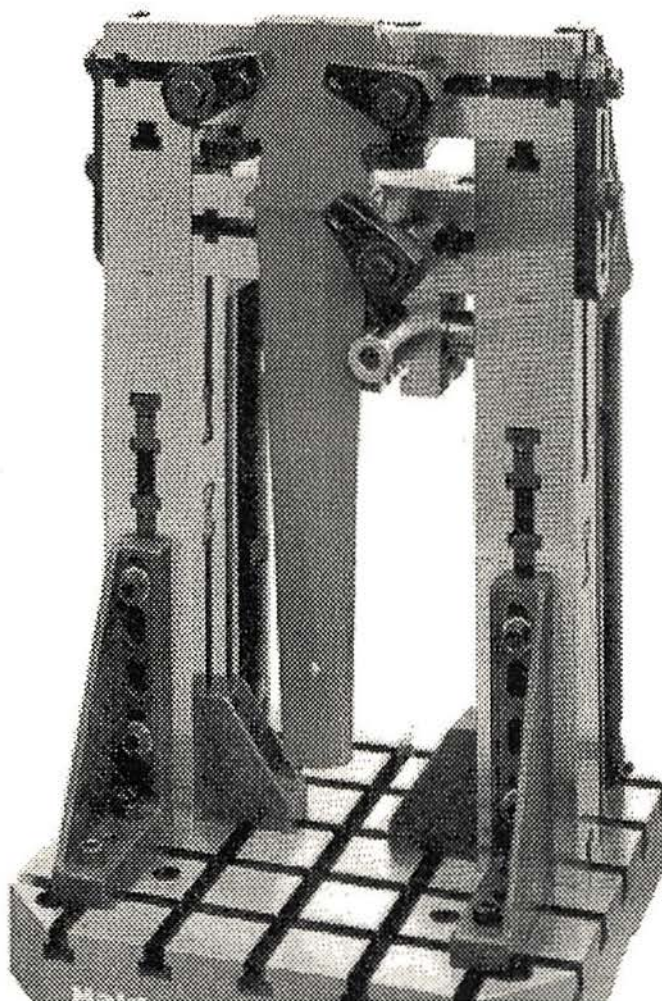


Figura 40 - Conjunto modular de fixação montado

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSELMETTI, B.; BOURDET, P. Optimization of a workpiece considering production requirements. **Computers in Industry**, Amsterdam, v. 21, p. 23-34, May 1993.
- BEARD, T. Managing modular. **Modern Machine Shop**, Cincinnati, v. 63, n. 5, p. 64-73, May 1991.
- BOOTHROYD, G. Design for assembly - the key to design for manufacture. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 2, n. 3, p. 3-11, 1987.
- BUTTERFIELD, W. et al. **Part features for process planning**. Arlington, Tex.: COMPUTER AIDED MANUFACTURING - INTERNATIONAL, 1988. (R-86-PPP-1).
- CABADAJ, J. Theory of computer aided fixture design. **Computers in Industry**, Amsterdam, v. 15, p. 141-147, 1990.
- CAILLAUD, E. et al. Sistema de fixação de peças: um conhecimento especializado. **Máquinas e Metais**, São Paulo, v. 29, n. 346, p. 26-33, nov. 1994.
- CARR LANE MANUFACTURING **Tooling component library for CAD/CAM**. St. Louis, 1993. 35 p.
- CHANG, T. **Expert process planning for manufacturing**. Reading, Mass.: 1990.
- CUNHA, G. **O conceito de projecto orientado à fabricação aplicado ao projeto assistido por computador**. Lisboa, 1995. 334p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Nova de Lisboa.

CUNHA, G.; TEIXEIRA, J. A featured-based model for design and manufacturing knowledge representation. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 12., 1993, Brasília. **Anais** Rio de Janeiro: ABCM, 1993. p.1759-1762.

DIXON, J.; CUNNINGHAM, J.; SIMMONS, M. Research in designing with features. In: WORKSHOP ON INTELLIGENT CAD, 2., 1987, Boston. **Proceedings ...** Amsterdam: IFIP, 1987. p. 137-148.

ENGLERT, P.; WRIGHT, P. Principles for part setup and workholding in automated manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**. v.7, n. 2, p. 147-161. 1991.

EROWA INTER AG. **The best way towards automatic production**. Büron , 1994. 29 p.

ERWIN HALDER KG. **Modular jig and fixture systems**. East Granby, 1993. 48 p.

FERREIRA, P., LIU, C. Generation of workpiece orientation for machining using a ruled-based system. **Robotics & Computer Integrated Manufacturing**, New York, v. 4, n. 3/4, p. 545-555, 1988.

GRIPPO, P.; GANDHI, M.; THOMPSON, B. The computer aided design of modular fixturing systems. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 2, p. 75-88, 1987.

HENDERSON, M.; CHANG, G. FRAPP: automated feature recognition and process planning from solid model data. In: COMPUTERS IN ENGINEERING CONFERENCE, 1988, San Francisco. **Proceedings ...** New York: ASME, 1988. p. 529-536.

IMAO CORPORATION. **Venlic block jig system**. Senbiki-Nishinono, 1992. 45 p.

KOCH, D. **Undedicated fixturing**. Phoenix, Arizona: Society of Manufacturing Engineers/Erwin Halder KG, 1988. 5 p.

KRAUSKOPF, B. **Fixtures for small batch solutions**. East Granby: Erwin Halder KG, 1984. 4p.

LEE, J.; HAYNES, L. Finite element analysis of flexible fixturing systems. **Journal of Engineering for Industry**, New York, ASME, v. 109, 1987.

LIOU, F.; SUEN, D. The development of a feature-based fixture process planning system for flexible assembly. **International Journal of Advanced Manufacturing Systems**, v. 11, n. 2, 1991.

LUBY, S.; DIXON, J.; SIMMONS, M. Creating and using a features data base. **Computers in Mechanical Engineering**, p. 25-33, Nov. 1986.

MÁRKUS, A.; RUTTKAY, Z.; VÁNCZA, J. Automating fixture design - from imitating practice to understanding principles. **Computers in Industry**, New York, v. 14, p. 99-108, 1990.

MILLER, P. **Modular assembly speeds fixture building**. East Granby: Erwin Halder KG, 1983. 4p.

MILLER, P. **Modular components build fixtures fast**. East Granby: Erwin Halder KG, 1986. 3p.

NNAJI, B.; ALLADIN, S.; LYU, P. A framework for a ruled-based expert system fixturing system for face milling planar surfaces on a CAD system using flexible fixtures. **Journal of Manufacturing Systems**, v.7, n. 3, p. 193-207, 1990.

PHAM, D.; NATEGH, M.; LAZARO, A. A knowledge-based jig and fixture designer's assistant. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 4, p. 26-45, 1989.

PHAM, D.; LAZARO, A. Expert system for jig and fixture design. In: **MANUFACTURE and planning**, [S.l.: s. n., 199_] p. 467-478.

SHAH, J. Conceptual development of form features and feature modelers. **Research in Engineering Design**, v. 2, p. 93-108, 1991.

SHAH, J.; MILLER, W. A structure for supporting geometric tolerances in product definition systems for CIM. **Manufacturing Review**, v. 3, n. 1, p. 23-31, Mar. 1990.

SCHNEIDER, K. Vom Schon-Hammer zum Kombi-Spanner. **NC Fertigung**, Wuppertal, n. 7, p. 102-104, Juli 1990.

ROSA, E. **New Modeller - conceitos para um ambiente integrado de desenvolvimento de produtos para sistemas CAE/CAD/CAM**. Florianópolis: GRANTE, 1992. 86p. Apostila técnica

UNGER, M.; RAY, S. Feature-based process planning in the AMRF. In: **COMPUTERS IN ENGINEERING CONFERENCE**, 1988, San Francisco. **Proceedings ...** New York: ASME, 1988. p. 563-569.

VEREIN DEUTSCH INGENIEURE **Rationelle Vorrichtungskonstruktion - methoden und hilfsmittel**. Düsseldorf: VDI, 1983. 301p.