

07

EXC. 07

São Paulo
1998

Dissertação a ser apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
como requisito para obtenção do título de
Mestre em engenharia

**FORMALIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO
DE PEÇAS VISANDO A SUA AUTOMAÇÃO**

MARCOS AURÉLIO DE SOUZA

MARCOS AURÉLIO DE SOUZA

**FORMALIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO
DE PEÇAS VISANDO A SUA AUTOMAÇÃO**

Dissertação a ser apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
como requisito para obtenção do título de
Mestre em engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Prof. Dr. Oswaldo Horikawa

São Paulo
1998

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Oswaldo Horikawa, cuja paciência e presteza permitiram que o trabalho chegasse a um fim e cujas orientações permitiram a este fim alguma qualidade.

A minha esposa e filha que acompanharam todas as etapas desta jornada, sentindo muito mais as angustias do que participando dos prazeres que este tipo de atividade proporciona.

A todos os amigos que com incentivos, críticas e sugestões contribuíram para o término desta tarefa.

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600010166

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
3	1.1	DEFINIÇÃO DO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO
3	1.2	A IMPORTÂNCIA DA AUTOMAÇÃO DO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO
4	1.2.1	O planejamento da fixação e a integração projeto e fabricação
7	1.3	OBJETIVO DO TRABALHO
8	2	AS PESQUISAS NA ÁREA DE FIXAÇÃO
13	2.1	O NOVO ENFOQUE DA FIXAÇÃO
14	2.1.1	O desenvolvimento de dispositivos de fixação flexíveis
15	2.1.2	As pesquisas em planejamento automático da fixação
15	2.1.2.1	Seleção automática de componentes
16	2.1.2.2	Definição da orientação da peça e posição dos elementos de forma automática
21	2.1.2.3	Sistemas para análise da configuração da fixação
24	2.2	DEFICIÊNCIAS NAS ABORDAGENS SOBRE PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO
28	3	A INTER-RELAÇÃO ENTRE AS TAREFAS DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO E DA FIXAÇÃO
28	3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS
28	3.2	OS MACROS ASPECTOS DO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO
38	3.3	ESTRUTURA DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO PARA ATENDER AO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO
38	3.3.1	Sistemas de coordenadas a serem utilizados
38	3.3.2	Seleção da matéria prima
41	3.3.3	Seleção do modelo da peça baseado em "feature" e seleção do processo de fabricação
48	3.3.3.1	Seleção de processos de fabricação para as "features"
50	3.3.3.2	Zona de exclusão
51	3.3.3.3	Relações de dependência entre "features"
55	3.3.4	Geração da matriz de remoção
59	4	A ESTRUTURA DO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO

4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	59
4.2	O BANCO DE DADOS DOS ELEMENTOS DE FIXAÇÃO	60
4.2.1	<i>Classificação dos elementos de um sistema modular de fixação</i>	63
4.2.1.1	Elementos localizadores e de sujeição	65
4.2.1.2	Elementos de base e auxiliares	74
4.2.2	<i>Critérios de seleção para os elementos de fixação</i>	78
4.2.2.1	Bases e elementos auxiliares	78
4.2.2.2	Critérios de seleção para localizadores e elementos de sujeição	80
4.3	O FUNCIONAMENTO BÁSICO DA ESTRUTURA PARA PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO	83
4.3.1	<i>Seleção das "features" candidatas a serem usadas</i>	84
4.3.2	<i>Orientação e posicionamento da peça</i>	88
4.3.2.1	Obtenção do plano primário e seus localizadores	89
4.3.2.2	Obtenção do plano secundário e seus localizadores	94
4.3.2.3	Obtenção do plano terciário e seu localizador	97
4.3.3	<i>Obtenção dos planos de fixação e seus sujeitadores</i>	100
4.3.4	<i>Seleção dos principais elementos auxiliares</i>	106
5	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA ESTRUTURA	113
5.1	SELEÇÃO DA MATÉRIA PRIMA	114
5.2	O MODELO DA PEÇA BASEADO EM "FEATURES" E A MATRIZ DE REMOÇÃO	115
5.2.1	<i>O modelo baseado em "feature"</i>	115
5.2.2	<i>Obtenção das informações para a "feature"</i>	118
5.2.3	<i>Matriz de remoção</i>	126
5.3	SELEÇÃO DAS "FEATURES" CANDIDATAS A SEREM USINADAS NA PRIMEIRA MONTAGEM	127
5.4	OBTEÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DO DISPOSITIVO PARA A PRIMEIRA MONTAGEM	128
5.5	A CONFIGURAÇÃO DO DISPOSITIVO PARA A SEGUNDA MONTAGEM	143
5.6	A CONFIGURAÇÃO DO DISPOSITIVO PARA A TERCEIRA MONTAGEM	148
5.7	A CONFIGURAÇÃO DO DISPOSITIVO PARA A QUARTA MONTAGEM	154
5.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A ESTRUTURA	160
6	CONCLUSÃO	163

MODULARES

APÊNDICE B - CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DE ALGUNS ELEMENTOS

APÊNDICE A - DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO FLEXÍVEIS

8	BIBLIOGRAFIA.....	170
8.1	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	170
8.2	BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.....	175
7	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	168

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 CICLO TÍPICO PARA OBTENÇÃO DE UM PRODUTO SEGUNDO ZEID (1991), SALIENTANDO A TAREFA DE PLANEJAMENTO DO PROCESSO COMO ELO ENTRE O PROJETO E A MANUFATURA. 1
- FIGURA 2 TAREFAS PERTENCENTES AO PLANEJAMENTO DO PROCESSO SALIENTANDO O PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO. 2
- FIGURA 3 A MORSA MOSTRANDO AS TRÊS PARTES BÁSICAS DE UM DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO. 10
- FIGURA 4 PRINCÍPIO 3-2-1 APLICADO PARA ORIENTAÇÃO E POSICIONAMENTO DE PEÇAS PRISMÁTICAS. 11
- FIGURA 5 OS TRÊS GRAUS DE LIBERDADES RESTANTES DEVEM SER ELIMINADOS PELOS ELEMENTOS DE SUEIÇÃO. 12
- FIGURA 6 DISPOSITIVOS FLEXÍVEIS: CONCEPÇÕES EM DESENVOLVIMENTO. 14
- FIGURA 7 FORÇA DE ATRITO, VELOCIDADE E CENTRO DE ROTAÇÃO DE UM CORPO EM DESLIZAMENTO. 21
- FIGURA 8 SUPERFÍCIES LÍMITES FORÇA/MOMENTO OBTIDAS PARA UM PONTO SIMPLES DE CONTATO COM ATRITO. 22
- FIGURA 9 SUPERFÍCIES LÍMITES FORÇA/MOMENTO PARA TRÊS PONTOS DE CONTATO COM ATRITO. 23
- FIGURA 10 PROPOSTA DE UMA ABORDAGEM INTEGRADA ENTRE O PLANEJAMENTO DO PROCESSO E DA FIXAÇÃO EM (A) FEITA POR C.-H. CHANG EM (B) FEITA POR SAKURAI. 32
- FIGURA 11 ESTRUTURA PROPOSTA POR CHANG (1992) EM (A) E SAKURAI (1990) EM (B). 32
- FIGURA 12 INTER-RELAÇÃO PROPOSTA PARA AS PRINCIPAIS ATIVIDADES DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO APRESENTADAS DE FORMA PADRONIZADA PARA FACILIDADE DE COMPARAÇÃO. 33
- FIGURA 13 PROPOSTA DE UMA ESTRUTURA PARA AS TAREFAS DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO, QUE SE E O PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO. 36
- FIGURA 14 DIREÇÃO E SENTIDO DOS EIXOS DO SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA MONTAGEM. 37
- FIGURA 15 EXEMPLO DE ATRIBUIÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA DA PEÇA. 41
- FIGURA 16 PARTE DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO, SALIENTANDO A TAREFA DE SELEÇÃO DA MATÉRIA PRIMA. 42
- FIGURA 17 PARTE DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO, SALIENTANDO A TAREFA DE OBTENÇÃO DO MODELO BASEADO EM "FEATURES" E SELEÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO. 44
- FIGURA 18 REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DOS CAMPOS DE DADOS A SEREM ASSOCIADOS A CADA "FEATURE"

48	NA FASE DE PROJETO.....
50	FIGURA 19 O VETOR FERRAMENTA-PEÇA, PARA A EXECUÇÃO DE DUAS "FEATURES" DA PEÇA.....
53	FIGURA 20 PEÇA ACABADA E OS VOLUMES REMOVIDOS PARA SUA EXECUÇÃO.....
54	FIGURA 21 REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DOS CAMPOS DE DADOS A SEREM ASSOCIADOS A CADA "FEATURE".....
54	FIGURA 22 PARTE DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO, SALIENTANDO A TAREFA DE GERAÇÃO DA MATRIZ DE REMOÇÃO.....
55	REMOÇÃO.....
56	FIGURA 23 MATRIZ DE REMOÇÃO PARA AS "FEATURES" DA FIGURA 20.....
57	FIGURA 24 SÍNTESE DO QUE DEVE SER REALIZADO PELAS TAREFAS DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO, PARA ATENDER AO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO PROPOSTO.....
59	FIGURA 25 ESTRUTURA PROPOSTA SALIENTANDO AS TAREFAS A SEREM ANALISADAS NESTE CAPÍTULO.....
61	FIGURA 26 ESTRUTURA, SALIENTANDO O BANCO DE DADOS A SER DESENVOLVIDO.....
62	FIGURA 27 MONTAGEM DE UM DISPOSITIVO MODULAR.....
62	FIGURA 28 O DISPOSITIVO PRONTO.....
67	FIGURA 29 CAMPO 2, TIPOS DE SUPERFÍCIE DE CONTATOS ENTRE OS ELEMENTOS DE FIXAÇÃO E A PEÇA.....
68	FIGURA 30 GRAMPO REDONDO MOSTRANDO O PONTO DE CONTATO.....
71	FIGURA 31 UM ELEMENTO DE SUEIÇÃO HORIZONTAL (SH), MOSTRANDO O SISTEMA DE COORDENADA COM ORIGEM NO PONTO DE CONTATO E O VOLUME DE SEGURANÇA PARA ESTE ELEMENTO.....
72	FIGURA 32 O ENCONTRO DAS LINHAS DE CENTRO DETERMINA O PONTO DE MONTAGEM.....
73	FIGURA 33 SUEITADOR HORIZONTAL.....
75	FIGURA 34 BASE CIRCULAR.....
76	FIGURA 36 PRINCIPAIS ELEMENTOS AUXILIARES.....
78	FIGURA 37 SUPORTE UNIVERSAL MOSTRANDO ONDE SE OBTÉM O CAMPO 4 DE INFORMAÇÃO DESTE TIPO DE ELEMENTO.....
84	FIGURA 38 A ESTRUTURA PROPOSTA SALIENTANDO A TAREFA DE SELEÇÃO DAS "FEATURES" A SEREM USINADAS.....
89	FIGURA 39 A ESTRUTURA PROPOSTA SALIENTANDO O GRUPO DE TAREFAS NECESSÁRIAS PARA DEFINIÇÃO DO PLANO PRIMÁRIO E SEUS LOCALIZADORES.....
92	FIGURA 40 REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS POTENCIAIS PONTOS DE APOIO NA SUPERFÍCIE PRIMÁRIA.....

FIGURA 41 A ESTRUTURA PROPOSTA SALIENTANDO O GRUPO DE TAREFAS NECESSÁRIOS PARA DEFINIÇÃO DO PLANO SECUNDÁRIO E SEUS LOCALIZADORES	95
FIGURA 42 A ESTRUTURA PROPOSTA SALIENTANDO O GRUPO DE TAREFAS NECESSÁRIOS PARA DEFINIÇÃO DO PLANO TERCIÁRIO E SEU LOCALIZADOR.....	98
FIGURA 43 A ESTRUTURA PROPOSTA SALIENTANDO O GRUPO DE TAREFAS NECESSÁRIOS PARA DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS DE SUEIÇÃO.....	101
FIGURA 44 O SUPORTE UNIVERSAL PERMITE A FIXAÇÃO DE UM LOCALIZADOR OU UM SUEITADOR, NA BASE, SEM AFASTÁ-LO DA POSIÇÃO FÍSICA INDICADA PELO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO.....	106
FIGURA 45 DESENHO EM PROJEÇÃO ORTOGONAL DA PEÇA UTILIZADA NO EXEMPLO DE APLICAÇÃO.....	113
FIGURA 46 VISTA EM PERSPECTIVA DA PEÇA.....	114
FIGURA 47 EXEMPLO DE UM POSSÍVEL MODELO DA PEÇA BASEADO EM "FEATURES", DO LADO ESQUERDO AS "FEATURES" DE PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA E DO LADO DIREITO AS DEMAIS "FEATURES".	116
FIGURA 48 MODELO DA PEÇA BASEADO EM "FEATURES" QUE SE ADAPTA MELHOR A ESTRUTURA DO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO PROPOSTA.....	117
FIGURA 49 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA DA PEÇA	118
FIGURA 50 USINAGEM DA "FEATURE" "R1" COM UMA FRESA DE FACEAR.....	120
FIGURA 51 VOLUME DE EXCLUSÃO QUANDO DA APLICAÇÃO DA FRESA DE FACEAR.....	120
FIGURA 52 MATRIZ DE REMOÇÃO PARA O CASO EXEMPLO.....	126
FIGURA 53 ORIENTAÇÃO DA PEÇA PARA A PRIMEIRA MONTAGEM.....	130
FIGURA 54 SUPERFÍCIE PRIMÁRIA MOSTRANDO AS CIRCUNFERÊNCIAS CUOS CENTROS SÃO POTENCIAIS PONTOS DE APOIO DE LOCALIZADORES.....	131
FIGURA 55 SUPERFÍCIE PRIMÁRIA MOSTRANDO OS PONTOS DE APLICAÇÃO DOS LOCALIZADORES PARA A PRIMEIRA MONTAGEM.....	132
FIGURA 56 LEIAUTE DE MONTAGEM DOS LOCALIZADORES PARA A PRIMEIRA MONTAGEM.....	135
FIGURA 57 LEIAUTE FINAL DO DISPOSITIVO PARA A PRIMEIRA MONTAGEM.....	140
FIGURA 58 OUTROS ÂNGULOS DE VISUALIZAÇÃO DO LEIAUTE DO DISPOSITIVO.....	140
FIGURA 59 A FIXAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA NO DISPOSITIVO PARA A PRIMEIRA MONTAGEM.....	141
FIGURA 60 OUTROS ÂNGULOS DE VISUALIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA FIXADA NO DISPOSITIVO PARA A PRIMEIRA MONTAGEM.....	141
FIGURA 61 A PEÇA DEPOIS DE USINADA NA PRIMEIRA MONTAGEM.....	142

FIGURA 62 A PEÇA DEPOIS DE USINADA NA PRIMEIRA MONTAGEM VISTA POR OUTRO ÂNGULO	142
FIGURA 63 A MATÉRIA PRIMA PARA A SEGUNDA ETAPA DE USINAGEM VISTA EM DOIS ÂNGULOS	
DIFERENTES.....	143
FIGURA 64 NESTA SEGUNDA ETAPA, FORAM ELEITAS PARA SEREM USINADAS AS "FEATURES" "R5", "R7", "R8", "R11" E "R12".....	144
FIGURA 65 O LEIANTE DE MONTAGEM DOS ELEMENTOS LOCALIZADORES E DE SUEIÇÃO, PARA A SEGUNDA MONTAGEM, VISTO DE VÁRIOS ÂNGULOS.....	145
FIGURA 66 A MONTAGEM DO DISPOSITIVO PARA O SEGUNDO "SET-UP" COM OS SUPORTES UNIVERSAIS E OS CALÇOS DE ALTURA.....	146
FIGURA 67 A MONTAGEM DO DISPOSITIVO PARA O SEGUNDO "SET-UP" COM OS SUPORTES UNIVERSAIS E OS CALÇOS DE ALTURA VISTA DE OUTROS ÂNGULOS.....	147
FIGURA 68 A MATÉRIA PRIMA MONTADA NO DISPOSITIVO PARA A SEGUNDA SEQUÊNCIA DE USINAGEM, VISTA DE DOIS ÂNGULOS.....	147
FIGURA 69 A PEÇA JÁ USINADA NA SEGUNDA MONTAGEM, VISTA DE VÁRIOS ÂNGULOS.....	148
FIGURA 70 A MATÉRIA PRIMA PARA A TERCEIRA ETAPA DE USINAGEM.....	149
FIGURA 71 NESTA TERCEIRA ETAPA, SERÁ USINADA A "FEATURE" "R6" E A PEÇA COM SEU SISTEMA DE COORDENADA DEVERÃO SER ROTACIONADOS DE 90 ° COM RELAÇÃO AO EIXO Y.....	149
FIGURA 72 O LEIANTE DE MONTAGEM DOS ELEMENTOS LOCALIZADORES E DE SUEIÇÃO, PARA A TERCEIRA MONTAGEM, VISTO DE DOIS ÂNGULOS.....	151
FIGURA 73 A MONTAGEM DO DISPOSITIVO PARA O TERCEIRO "SET-UP" COM OS SUPORTES UNIVERSAIS E OS CALÇOS DE ALTURA.....	152
FIGURA 74 A MONTAGEM DO DISPOSITIVO PARA O TERCEIRO "SET-UP" COM OS SUPORTES UNIVERSAIS E OS CALÇOS DE ALTURA VISTA DE OUTROS ÂNGULOS.....	153
FIGURA 75 A MATÉRIA PRIMA MONTADA NO DISPOSITIVO PARA A TERCEIRA SEQUÊNCIA DE USINAGEM, VISTA DE DOIS ÂNGULOS.....	153
FIGURA 76 A PEÇA JÁ USINADA NA TERCEIRA MONTAGEM.....	154
FIGURA 77 A MATÉRIA PRIMA PARA QUARTA ETAPA DE USINAGEM.....	155
FIGURA 78 NESTA QUARTA ETAPA, SERÃO USINADAS AS "FEATURES" "R3" E "R6" SENDO QUE A PEÇA COM SEU SISTEMA DE COORDENADA DEVERÃO SER ROTACIONADOS DE 90 ° COM RELAÇÃO AO EIXO X. 155	
FIGURA 79 O LEIANTE DE MONTAGEM DOS ELEMENTOS LOCALIZADORES E DE SUEIÇÃO, PARA A QUARTA	

MONTAGEM.....	156
FIGURA 80 A MONTAGEM DO DISPOSITIVO PARA O QUARTO "SET-UP" COM OS SUPORTES UNIVERSAIS E OS CALÇOS DE ALTURA.....	158
FIGURA 81 A MONTAGEM DO DISPOSITIVO PARA O QUARTO "SET-UP" COM OS SUPORTES UNIVERSAIS E OS CALÇOS DE ALTURA, VISTA DE OUTROS ÂNGULOS.....	159
FIGURA 82 A MATÉRIA PRIMA MONTADA NO DISPOSITIVO PARA A QUARTA SEQUÊNCIA DE USINAGEM, VISTA DE DOIS ÂNGULOS.....	159
FIGURA 83 A PEÇA JÁ USINADA NA QUARTA E ÚLTIMA MONTAGEM.....	160

LISTA DE TABELAS

66	TABELA 1	CAMPOS DE INFORMAÇÃO PARA OS ELEMENTOS LOCALIZADORES E DE SUEIÇÃO.
66	TABELA 2	VALORES A SEREM UTILIZADOS NO CAMPO 1 DO CÓDIGO DOS LOCALIZADORES E SUEITADORES.
69	TABELA 3	SIGNIFICADO DOS CAMPOS 3 E 4.
73	TABELA 4	CAMPOS DE INFORMAÇÃO PARA O SUEITADOR HORIZONTAL DA FIGURA 33.
75	TABELA 5	CAMPOS DE INFORMAÇÃO PARA A BASE DA FIGURA 34.
77	TABELA 6	CAMPOS DE INFORMAÇÕES ASSOCIADOS AOS ELEMENTOS AUXILIARES.
81	TABELA 7	RELAÇÃO ENTRE O TIPO DE SUPERFÍCIE DA PEÇA E O TIPO DE CONTATO DO ELEMENTO DE FIXAÇÃO.
81	TABELA 8	CRITÉRIO DE SELEÇÃO PARA O CAMPO 4 DE INFORMAÇÃO DOS LOCALIZADORES E ELEMENTOS DE SUEIÇÃO.
82	TABELA 9	DISPOSITIVO PRÁTICO PARA AUXILIAR A DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS QUE NECESSITAM DE SUPORTE UNIVERSAL.
109	TABELA 10	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R1".
121	TABELA 11	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R2".
122	TABELA 12	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R3".
122	TABELA 13	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R4".
122	TABELA 14	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R5".
123	TABELA 15	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R6".
123	TABELA 16	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R7".
123	TABELA 17	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R8".
124	TABELA 18	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R9".
124	TABELA 19	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R10".
124	TABELA 20	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R11".
125	TABELA 21	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R12".
125	TABELA 22	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R13".
125	TABELA 23	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R14".
125	TABELA 24	DADOS DE FABRICAÇÃO PARA A "FEATURE" "R15".

TABELA 25	CAMPOS DE ESPECIFICAÇÃO DA BASE A SER UTILIZADA NO EXEMPLO.	132
TABELA 26	CAMPOS DE INFORMAÇÃO PARA O LOCALIZADOR VERTICAL PRIMÁRIO SELECIONADO PARA A PRIMEIRA MONTAGEM (E1, E2, E3).	133
TABELA 27	CAMPOS DE INFORMAÇÃO PARA UM DOS LOCALIZADORES SECUNDÁRIOS DA PRIMEIRA MONTAGEM (E4).	134
TABELA 28	CAMPOS DE INFORMAÇÃO PARA UM DOS LOCALIZADORES SECUNDÁRIOS E O TERCIÁRIO DA PRIMEIRA MONTAGEM(E5 e E6).	134
TABELA 29	CAMPOS DE INFORMAÇÃO PARA O SUEITADOR HORIZONTAL A SER UTILIZADO NA PRIMEIRA MONTAGEM (E7 e E8).	135
TABELA 30	TABELA DE COORDENADAS DO PONTO DE MONTAGEM PARA O PRIMEIRO "SET-UP".	136
TABELA 31	VALOR DOS CALÇOS NECESSÁRIOS PARA MONTAGEM DOS ELEMENTOS SOBRE A BASE.	138
TABELA 32	CALÇOS A SEREM UTILIZADOS NA PRIMEIRA MONTAGEM.	139
TABELA 33	PONTOS DE CONTATO ENTRE OS ELEMENTOS E PEÇA PARA A SEGUNDA MONTAGEM.	145
TABELA 34	RELAÇÃO DE CALÇOS NECESSÁRIOS PARA A SEGUNDA MONTAGEM.	146
TABELA 35	PONTOS DE CONTATO ENTRE OS ELEMENTOS E PEÇA PARA A TERCEIRA MONTAGEM.	150
TABELA 36	CAMPOS DE INFORMAÇÃO PARA O BLOCO A SER APLICADO NA TERCEIRA MONTAGEM.	151
TABELA 37	RELAÇÃO DE CALÇOS NECESSÁRIOS PARA A TERCEIRA MONTAGEM.	152
TABELA 38	PONTOS DE CONTATO ENTRE OS ELEMENTOS E PEÇA PARA A QUARTA MONTAGEM.	156
TABELA 39	CAMPOS DE INFORMAÇÃO PARA O BLOCO A SER APLICADO NA QUARTA MONTAGEM.	157
TABELA 40	RELAÇÃO DE CALÇOS NECESSÁRIOS PARA A QUARTA MONTAGEM.	158

RESUMO

Neste trabalho realiza-se um estudo a respeito do planejamento da fixação de peças em operações de usinagem, visando sistematizar sua execução. O objetivo maior desta sistematização é o de criar condições para a automatização do planejamento da fixação.

Resalta-se que esta sistematização diferencia-se das demais existentes, por explorar a inter-relação entre as atividades do planejamento do processo e da fixação.

O resultado final desta sistematização é uma estrutura de tarefas, que realizadas de forma ordenada, conduz a um eficiente plano de fixação de peças em operações de usinagem.

As formas de realização das principais tarefas são delimitadas, indicando-se os potenciais caminhos para sua realização.

Os desenvolvimentos são realizados tendo como domínio de aplicação a fresagem de peças prismáticas em máquinas de três eixos.

Ao final, aplica-se a estrutura em uma peça representativa deste domínio e apresenta-se os resultados obtidos com esta aplicação.

ABSTRACT

In this work a study regarding the fixture planning of parts machining is made and this task aims to systematize its execution. The main objective of this systematization is to produce conditions for automation of the fixture planning.

It is emphasized that this systematization differs from the existing ones in exploring an interrelation between the planning activities of the fixture planning and the process planning.

The final result of the proposed systematization is a task framework, which accomplished in a methodical manner leads to an efficient scheme of parts fixation in machining operations.

The ways to perform the main tasks are delineated here and the potential paths for its accomplishment are show.

The developments are made considering the domain of application a milling of prismatic parts in machines with three axes.

Finally the developed systematization is applied in a part representative of this field of action and the results obtained in this application are show.

A obtenção de um produto, segue normalmente um ciclo bem definido de atividades, dependendo da natureza do desenvolvimento, algumas destas atividades podem sofrer variações, mas de forma geral o ciclo para obtenção de um produto tem a forma apresentada na Figura 1.

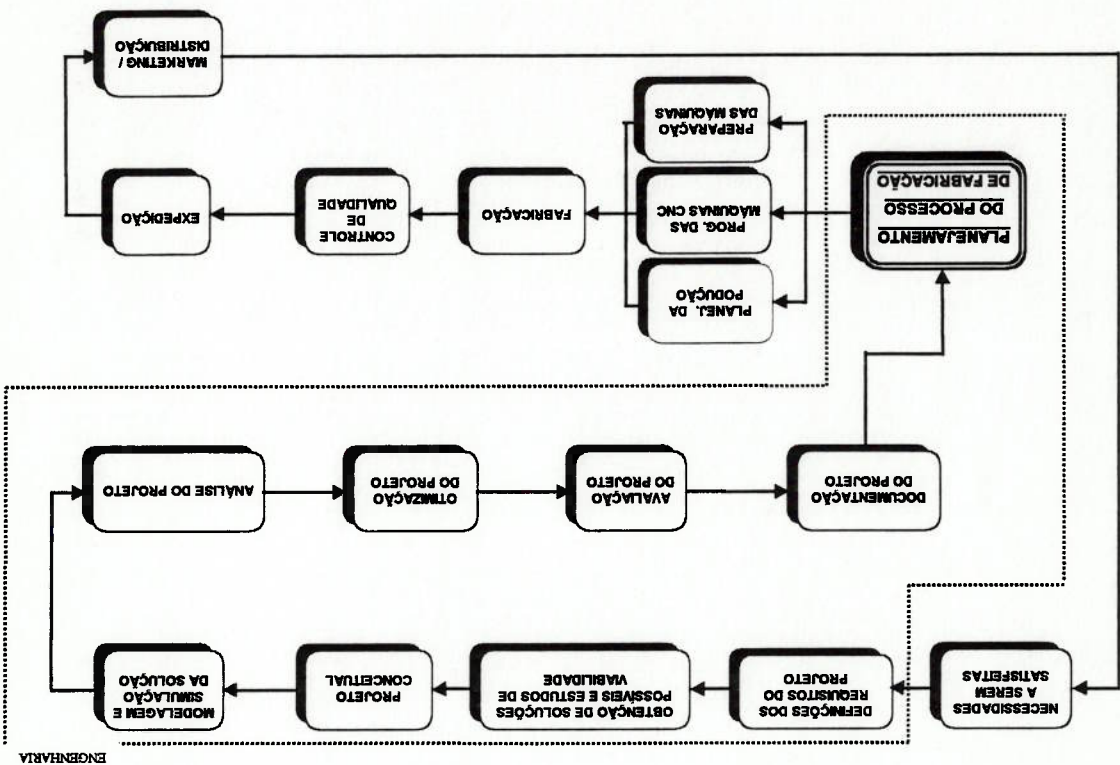


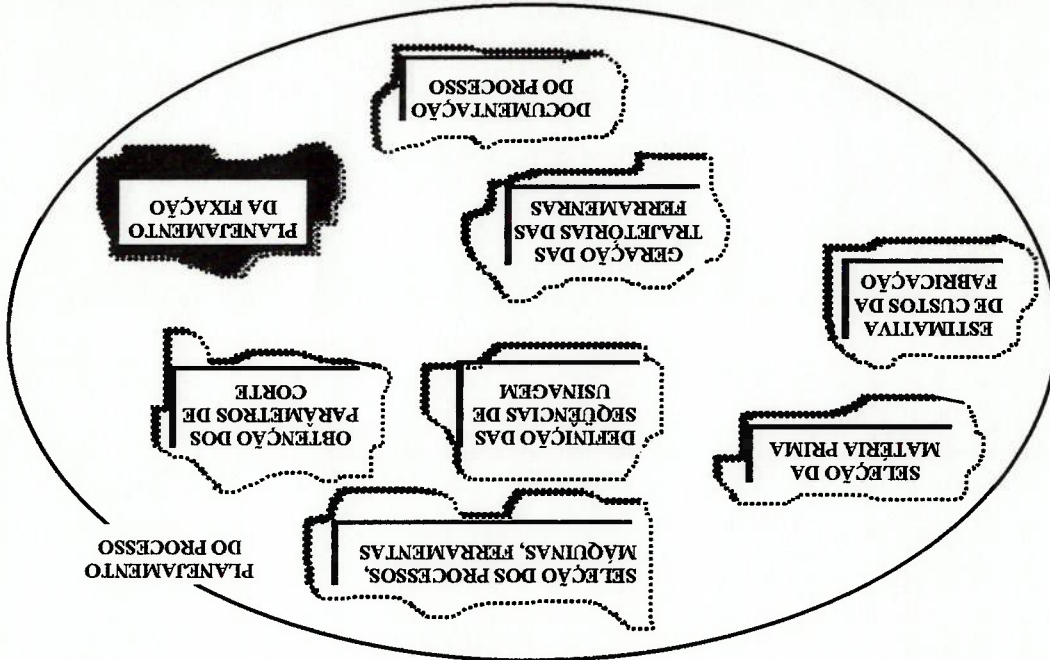
Figura 1 Ciclo típico para obtenção de um produto segundo ZUID (1991), salientando a tarefa de planejamento do processo como elo entre o projeto e a manufatura.

Neste ciclo encontram-se atividades ligadas ao projeto do produto, onde identificada uma necessidade, buscam-se soluções que sejam capazes de satisfazer esta necessidade e que quando encontradas materializam-se na forma de um projeto de produto.

O fato de não existir ainda um conhecimento consolidado a respeito das tarefas do planejamento do processo tem causado atraso em seu desenvolvimento. Para que seja possível melhorar o entendimento do planejamento do processo é necessário que se aprimore o conhecimento a respeito das tarefas que o compõem e dentre estas tarefas, uma nos interessa em particular, é o planejamento da fixação.

Figura 2 Tarefas pertencentes ao planejamento do processo salientando o planejamento da fixação.

As inter-relações entre as diversas tarefas ainda é tema de muitas discussões não estando completamente consolidada, por isto a figura representa as tarefas envolvidas em um contorno tracejado e não estabelece as relações entre elas.



discussões não estando ainda completamente consolidada. O planejamento do processo por sua vez é constituído de diversas tarefas como pode ser visto na figura 2. A relação entre estas tarefas, no entanto tem sido tema de muitas de uma tarefa intermediária que realize o planejamento do processo de fabricação. não é possível simplesmente que se passe do projeto a fabricação, existe a necessidade O produto imaginado deve ser fabricado e para isto prevê-se tarefas de produção, mas

O planejamento da fixação ao longo dos tempos tem sido realizado quase que exclusivamente de forma empírica. Mas atualmente existe uma forte demanda por flexibilidade. SALERNO (1991) conceitua flexibilidade como sendo a capacidade de um sistema produtivo para se adequar a mudanças, sem deterioração significativa presente ou futura, de custos, qualidade e tempos.

1.2 A importância da automação do planejamento da fixação

O planejamento da fixação define que dispositivos de fixação devem ser utilizados e como devem ser montados. Os dispositivos de fixação por sua vez são elementos importantes no processo de fabricação, pois interferem diretamente no custo de produção, seja por seu custo próprio, seja porque definem o custo de preparação e operação da máquina, são portanto importantes na determinação do lote econômico e do custo do item produzido. Além disto, a rigidez da fixação, assim como, a exata localização da peça, são determinantes da possibilidade de operação e da qualidade do produto acabado. Desta forma o planejamento da fixação influi decisivamente na viabilidade técnica e econômica da usinagem, assim esta tarefa reveste-se de grande importância e por isto foi escolhida como escopo deste trabalho.

Pode-se definir planejamento da fixação como sendo a determinação sistemática de todos os requisitos necessários para a correta orientação, sustentação e imobilização de uma determinada peça, de forma a possibilitar a execução de operações de fabricação com qualidade e da forma mais econômica possível.

1.1 Definição do planejamento da fixação

A integração entre o projeto e a fabricação se dá através do planejamento do processo. Ao projeto cabe especificar todos os requisitos físicos da peça, sua geometria, rugosidade, material, tratamentos térmicos e/ou superficiais, tolerâncias geométricas, dimensionais etc.... A fabricação cabe executar e supervisionar a execução de uma

1.2.1 O planejamento da fixação e a integração projeto e fabricação

Além destes aspectos, que surgem quando enfocamos o planejamento da fixação de forma isolada, existe ainda a questão da integração das funções do processo produtivo, mais especificamente da função de projeto e fabricação.

Assim, para acompanhar esta nova realidade não se pode contar com a realização do planejamento da fixação de forma artesanal e empírica e necessário automatizar a tarefa do planejamento da fixação para possibilitar respostas mais rápidas a estes novos desafios.

Outra a condição de projeto, era de dispositivos para fabricar milhares de peça, atualmente os lotes são de poucas centenas. GANDHI, THOMPSON (1989) afirmam que nos Estados Unidos a fabricação por usinagem representa 25% do PIB (Produto Interno Bruto) e de 50 a 75% desta produção é realizada em lotes, sendo que 85% destes lotes têm menos de 50 peças, KOCH (1989a, 1989b) já coloca que 80% das peças são produzidas em lotes que variam de 50 a 200 peças e que estas peças normalmente sofrem modificações, ou até completa supressão, em menos de um ano. Apesar de pequena divergência de números entre os dois autores, fica claro que os lotes atuais estão na casa de algumas centenas e não mais milhares ou até milhões como outrora.

seqüência de operações que devem levar a matéria-prima ao estado de produto acabado.

Para integrar estas duas funções é necessário que alguém se ocupe da tarefa de planejar a seqüência adequada à fabricação e ainda especifique os recursos necessários para cada

operação.

Dentro deste novo ambiente em que a manufatura se encontra, realizam-se grandes esforços no sentido de automatizar estas funções, objetivando-se a flexibilidade e a produtividade que o momento exige. Como resultados destes esforços surgem diversas ferramentas, como por exemplo, o CAD (Computer Aided Design), para auxílio à atividade de projeto e o CAM (Computer Aided Manufacturing), na área de fabricação, ambos ainda em desenvolvimento, mas já tendo atingido um potencial que permite serem aplicados com desenvoltura, existindo diversos sistemas comerciais disponíveis.

Na área do planejamento do processo, observa-se que a maturação vem ocorrendo lentamente, os sistemas existentes são de aplicação restrita, ensajando ainda muito trabalho para seu desenvolvimento.

Estes sistemas comumente denominados de CAPP (Computer Aided Process Planning), teriam por função, especificar uma seqüência lógica de operações que permitisse, da forma mais econômica possível, transformar a matéria prima em produto acabado.

Para cada operação especificada, o sistema deveria definir: a máquina a ser utilizada; as ferramentas de corte necessárias; parâmetros de usinagem; os dispositivos de fixação; etc..

Mas as definições destes itens, interferem na seqüência das operações e vice-versa. Estas inter-relações entre os itens do planejamento do processo, criam dificuldades para

sua sistematização e em consequência para sua automatização.

Para que o planejamento do processo seja automatizado é necessário sistematizar o comportamento de todas as variáveis envolvidas, para que seja possível formalizar as inter-relações e posteriormente o próprio planejamento do processo. Sem esta sistematização será difícil automatizar o planejamento do processo e por conseguinte a integração entre CAD e CAM na direção do CIM¹ (Computer Integrated Manufacturing), fica deveras prejudicada.

Em função do que foi apresentado anteriormente, fica claro que as fixações são um importante elemento que compõe o planejamento do processo e com ele interage. A sistematização do planejamento da fixação, permitirá em primeira instância, sua própria automatização e ainda contribuirá para o aprimoramento da automatização do planejamento do processo, que é fundamental para a integração CAD/CAM.

Torna-se aparente que há necessidade de um maior conhecimento dos mecanismos que regem a fixação de peças. Isto permitirá a construção de um procedimento, que poderá ser utilizado como auxiliar na tarefa de planejamento da fixação e posteriormente na automatização desta tarefa.

¹ O termo CIM segundo GUNN (1987) foi criado por Joseph Harrington em seu livro "Computer Integrated Manufacturing" publicado em 1978 em Nova Iorque pela Krueger Publishing Company e na visão de seu criador significa uma estrutura produtiva em que todas as funções estão completamente integradas através de computadores, que realizam todas as funções de forma automáticas.

1.3 Objetivo do trabalho

Em face do exposto anteriormente, objetiva-se neste trabalho, propor uma estrutura para o planejamento da fixação, definindo-se:

- qual sua relação com as demais tarefas do planejamento do processo;
- em que fase esta tarefa deve ocorrer;
- quais são seus dados de entrada;
- quais são seus mecanismos decisórios;
- qual seu resultado final;

Serão também delimitadas as principais tarefas que fazem parte do planejamento da fixação, indicando de forma genérica como estas serão realizadas. A abordagem a ser utilizada, explorará a interdependência entre as tarefas do planejamento do processo e do planejamento da fixação sem contudo se ater aos detalhes a respeito do planejamento do processo.

O objetivo é o de formalizar o planejamento da fixação visando sua automação.

Ao final do trabalho, visando mostrar que a estrutura apresentada é eficaz para o caso de uma peça representativa, será conduzido um exemplo de aplicação.

AS PESQUISAS NA ÁREA DE FIXAÇÃO

2

Tradicionalmente o planejamento da fixação tem sido realizado quase que exclusivamente pela experiência pessoal do planejador, que lançando mão de um formalismo muito particular, elabora o processo de fabricação da peça e concomitantemente o planejamento da fixação. Nesta atividade dispõem-se de muito poucas diretrizes. Segundo CHANG (1992), as poucas diretrizes existentes não são suficientes para o planejamento da fixação e não existe uma abordagem sistemática para este planejamento.

É interessante notar que apesar da irrefutável importância do planejamento da fixação, esta atividade não está convenientemente formalizada e mesmo a preocupação com esta sistematização é recente, iniciou-se por volta do final da década de 70, com um grande volume de trabalhos sendo publicado na segunda metade da década de 80. Alguns fatores podem explicar estes fatos.

Primeiramente, a natureza da atividade de planejamento da fixação. Estas tarefas de planejamento, normalmente possuem uma carga de trabalho prescrito muito baixo, só sendo facilmente formalizadas quando se trata de planejamento por similaridade, ou seja planejar uma fixação para uma condição similar a uma já vivenciada, neste caso pode-se definir uma rotina, uma norma, um procedimento a ser aplicado. Esta situação é encontrada quando se trabalha com família de peças. Mas no caso genérico, dado o expressivo número de variáveis que possuem inter-relações, fica difícil o estabelecimento de uma rotina.

Em função, disto a maioria dos trabalhos realizados sobre a fixação até meados da década de 80 tinham como centro da questão os componentes dos dispositivos de fixação, a intenção era apresentar uma série de soluções já testadas de tal forma que fique a cargo do projetista de dispositivos a necessidade de adaptação para adaptar as soluções apresentadas às necessidades. Neste enfoque é pouco comum a expressão **planejamento da fixação** o mais encontrado é **projeto da fixação**, pois uma das premissas em que se apoia este enfoque é o da produção em massa, em que dada a escala de produção, o mais indicado é idealizar e projetar um dispositivo dedicado, para a execução da função. O tratamento é quase todo centrado no estudo dos componentes com pouca ou nenhuma ênfase ao estudo integrado da tarefa de fixação. ROSSI (1971), DONALDSON *et al* (1973), POLLACK (1976), BARSOV (1978) e HOFFMAN (1984) abordam o assunto dentro deste enfoque. Com diferenças no grau de aprofundamento no tratamento de cada tópico, todos em linhas gerais tratam a fixação sob a ótica dos

de produção em massa.

Até o final dos anos 70, estes aspectos justificavam o porque da pouca sistematização na área de planejamento da fixação, primeiramente a dificuldade inerente para formalizar esta tarefa e por outro lado a pouca necessidade desta sistematização dentro do modelo de capacidade de resolver os problemas, do que investir na sistematização da fixação.

Por outro lado, dentro do conceito tradicional da produção em massa, o fato do planejamento da fixação ser baseado na expertise não chega a ser um sério inconveniente. Pois se a solução proposta pelo planejador não atingir plenamente os objetivos, é possível, sem depreciação considerável do lucro, fazer os reparos necessários para adequar o ferramental ao desejado e portanto torna-se mais viável investir no treinamento do homem, confiando na sua criatividade e

elementos que a compõem. Para melhor estudar os dispositivos dividem-no em três

partes básicas:

- os localizadores - que têm por função posicionar e orientar a peça, são elementos passivos que servem de encosto, dividem-se em três tipos: localizadores primários, secundários e terciários;

- os elementos de sujeição ou sujeitadores - que têm por função imobilizar a

peça mediante a aplicação de força, que pode ser obtida através de energia hidráulica, pneumática ou através de força muscular sendo aplicada em elementos tais como parafusos, cames, alavancas, cunhas etc...

- a base - que une e estruturalmente sustenta o dispositivo;

Mesmo uma morsa pode ser dividida em três partes, o mordente fixo define a orientação e a posição do plano principal da peça por isto pode ser chamado de localizador primário; os calços paralelos, complementam a orientação do sistema e eliminam uma possibilidade de translação, realizando a função de localizador secundário; o batente regulável por fim posiciona a peça e por isto pode ser considerado um localizador terciário; já o mordente móvel, o fuso e a porca, em conjunto constituem o elemento de sujeição que têm por função imobilizar a peça.

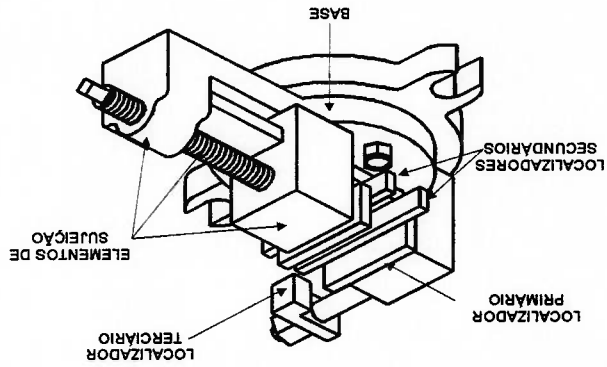
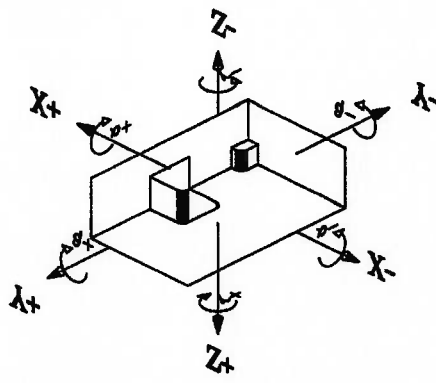
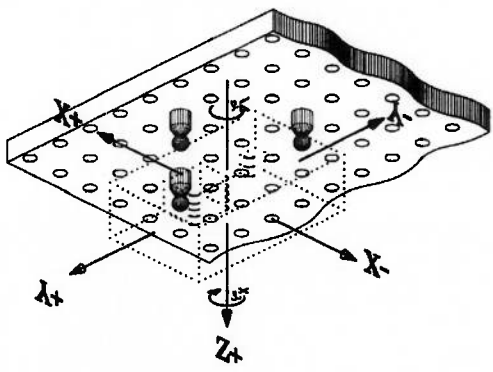


Figura 3 A morsa mostrando as três partes básicas de um dispositivo de fixação.

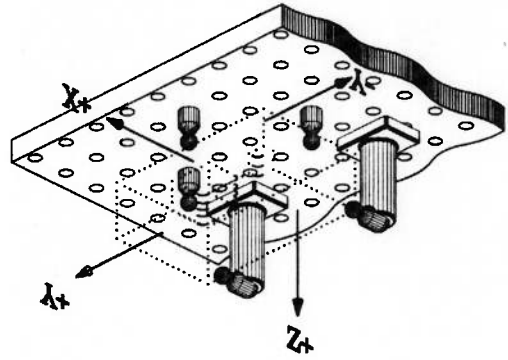
A partir desta divisão é elaborado um estudo sobre cada uma destas categorias enfocando soluções construtivas e aplicações típicas. Uma das poucas técnicas apresentadas é a técnica para posicionar e orientar peças, o chamado **princípio 3-2-1**. Segundo o princípio 3-2-1, para se posicionar e orientar uma peça prismática são necessários seis localizadores conforme pode ser visto na Figura 4



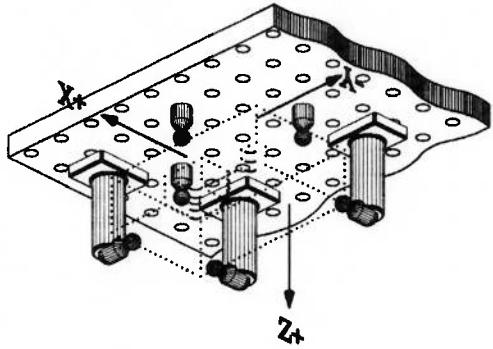
a) Um corpo no espaço possui 12 graus de liberdade, seis de translação (+X, -X, +Y, -Y, +Z e -Z), e seis de rotação (+ α , - α , + β , - β , + γ , e - γ) o objetivo do dispositivo é eliminar estes graus de liberdade



b) Para isto três localizadores (Localizadores Primários), são posicionado para definirem um plano chamado de plano primário, a peça apoiada neste plano perde 5 graus de liberdade, 1 translação e 4 rotações e orienta-se o eixo Z



c) Com a colocação de mais 2 localizadores (Localizadores Secundários), situados em um plano perpendicular ao plano primário, elimina-se mais 3 graus de liberdade (2 rotações e 1 translação) e orienta-se os eixos X e Y



d) Colocando-se agora mais um localizador (Localizador Terciário) situado em um plano perpendicular aos dois planos anteriores, elimina-se uma translação e com isto a peça está orientada e posicionada

Figura 4 Princípio 3-2-1 aplicado para orientação e posicionamento de peças prismáticas.

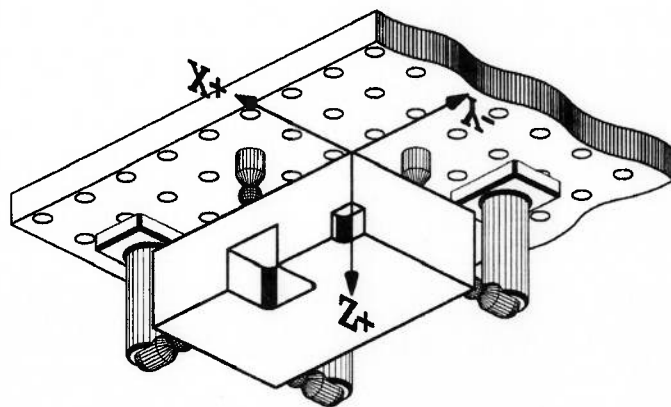
A peça apoiada nos seis localizadores está convenientemente posicionada e orientada mas não está imobilizada, para se eliminar os três graus de liberdade ainda restantes (Figura 5) é necessário que se aplique os elementos de sujeição.

com este material elaborou um livro com 1615 ilustrações cujo objetivo, segundo o consultor 506 projetos de dispositivos de fixação oriundos de 18 países diferentes e experiência adquirida ao longo do tempo. GRANT (1982) dentro deste espírito conhecimento para o projeto de dispositivos de fixação deverá ser obtido com a ocorre a inter-relação entre estes fatores. De forma geral subentende-se que o BARSOV (1978), HOFFMAN (1984) e RAMSAY (1984)), mas não se define como por diversos autores (ROSSI (1971), DONALDSON *et al* (1973), POLLACK (1976), fixação, diretrizes genéricas são dadas, alguns fatores que influem no projeto são citados A respeito de uma metodologia para o planejamento e/ou projeto dos dispositivos de força a ser aplicada.

observando-se o campo de aplicação e requisitos de projeto, envolvendo a magnitude da Para os elementos de sujeição, dentro deste enfoque, são estudados os principais tipos, o caso particular da localização de peças através de seus furos.

localização de superfícies cilíndricas através de prismas com entalhes em "V" e também Dentro do princípio 3-2-1 a literatura apresenta ainda os casos particulares de

Figura 5 Os três graus de liberdades restantes devem der eliminados pelos elementos de sujeição



autor, é o de apresentar idéias aos projetistas de modo que adquiram experiência no

menor espaço de tempo.

Observe-se portanto que dentro deste enfoque clássico, a idéia vigente é a de que cabe a experiência do projetista a responsabilidade pelo planejamento e projeto dos dispositivos, não se observa o interesse em se conhecer com bases mais científicas o tema fixação, as discussões estão centradas nos elementos que compõem o dispositivo e não na tarefa de fixar.

2.1 O novo enfoque da fixação

Com a necessidade da automação flexível e integração das funções industriais, que as novas exigências de mercado ensejam, foi necessária uma mudança no enfoque da fixação. A busca agora é pela flexibilidade e automação desta tarefa e isto exige um conhecimento mais preciso do tema. No enfoque clássico o foco principal era o estudo dos componentes dos dispositivos de fixação, no enfoque moderno este estudo ainda conserva sua importância, só que agora este estudo visa prioritariamente o desenvolvimento de sistemas flexíveis, além disto, o estudo da **tarefa de fixar**, ganha importância visando a automação da fixação. Observa-se a existência de duas grandes áreas de desenvolvimento:

- desenvolvimento de dispositivos de fixação flexíveis;
- desenvolvimento de ferramentas para análise e planejamento automático de fixações.

2.1.1 O desenvolvimento de dispositivos de fixação flexíveis

A área de desenvolvimento de dispositivos flexíveis objetiva encontrar novos mecanismos de fixação e/ou desenvolver elementos que possam ser aproveitados em diversas situações, busca-se com isto flexibilizar a aplicação dos dispositivos. A figura 6 apresenta, com base nos trabalhos de HAZEN; WRIGHT(1990) e LEPIKSSON (1990) um resumo estruturado das técnicas atualmente em desenvolvimento para dispositivos flexíveis e no apêndice "A" pode-se encontrar alguns detalhes a respeito destes desenvolvimentos.

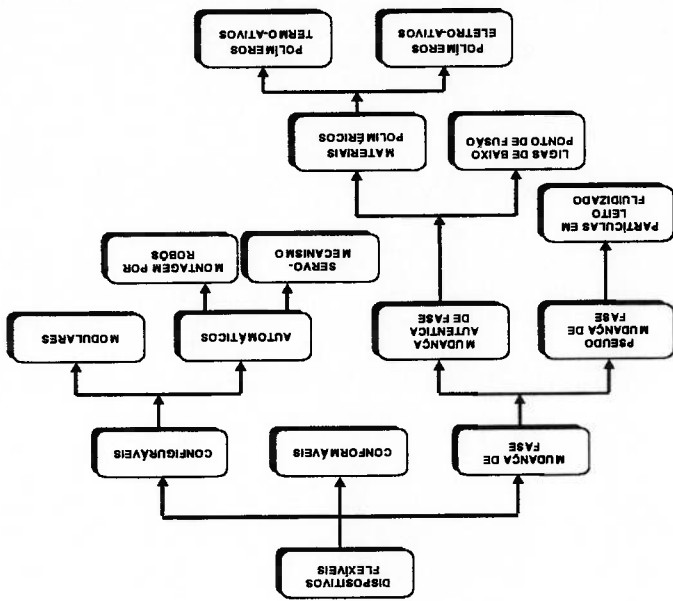


Figura 6 Dispositivos flexíveis: concepções em desenvolvimento.

Mas além dos desenvolvimentos de dispositivos de fixação, existe a preocupação com a automatização do planejamento da fixação e dentro deste tema diversos trabalhos tem sido realizados. A seguir, será abordado de forma sintética alguns destes trabalhos.

A seleção automática dos elementos de fixação, mereceu por parte de alguns pesquisadores atenção especial. Neste caso admitia-se que a posição da peça e seus pontos de apoio, já eram conhecidos o sistema desenvolvido deveria apenas selecionar os elementos para compor o dispositivo. NEE *et al* (1985) por exemplo, desenvolveram um sistema especialista composto de algumas rotinas típicas usadas por projetistas de dispositivos de fixação. Cada rotina é ligada através do programa principal a uma base de dados que possui informações sobre: parâmetros de usinagem; ferramentas de corte; elementos de sujeição; elementos localizadores e elementos estruturais do dispositivo

2.1.2.1 Seleção automática de componentes

fixação.

Existem ainda os desenvolvimentos híbridos, que lançam mão das duas alternativas citadas anteriormente para o desenvolvimento de um sistema para o planejamento da

possibilitar o planejamento da fixação.

- pesquisas para criar sistemas especialistas ou modelos heurísticos para

fixação a ser empregada;

de apoio da peça, da localização dos elementos de sujeição e da força de

- pesquisas para encontrar uma solução matemática para a definição dos pontos

dizer que os desenvolvimentos estão centrados basicamente em duas áreas:

O interesse no planejamento automático da fixação é recente, de forma genérica pode-se

2.1.2 As pesquisas em planejamento automático da fixação

(base, suportes, etc...).

O programa funciona de forma interativa, através de perguntas, cuja as respostas só podem ser uma das opções apresentadas pelo sistema.

O sistema mais se assemelha a um catálogo eletrônico. Todo planejamento da fixação deve ser feito pelo usuário e a consulta ao sistema apenas lhe dá algumas sugestões de componentes. Sugestões estas que devem ser analisadas e validadas pelo próprio usuário, pois o sistema não prevê análise de nenhuma espécie.

Segundo basicamente a mesma linha MARKUS (1989), desenvolveu um sistema especialista escrito em PROLOG, para a seleção de componentes modulares necessários à construção de um dispositivo de fixação. O modelo da peça com os pontos de contato devem ser fornecidos como dados de entrada para o programa, os elementos que comporão o dispositivo serão obtidos por empilhamento de elementos básicos. Markus discute quatro estratégias para a seleção destes componentes, mostrando vantagens e desvantagens de cada uma delas. A intenção do sistema desenvolvido é servir como ferramenta de auxílio ao projetista e não substituí-lo.

2.1.2 Definição da orientação da peça e posição dos elementos de forma automática

Apesar da seleção automática dos elementos que compõem o dispositivo de fixação, auxiliar o planejamento da fixação, para que este se torne automático é necessário que a posição e orientação da peça, bem como o posicionamento de cada componente do dispositivo, também seja gerado de forma automática.

Com este objetivo ENGLBERT, WRIGHT (1988) propuseram uma estrutura para

Toda a argumentação dos autores é realizada estudando o caso particular da fixação e

obtenção de uma dada solução para a confecção de uma peça.

Operação de usinagem, de forma a tentar captar a metodologia usada por este pessoal na

A outra fonte de informações são entrevistas feitas com o pessoal envolvido com a

atrito), que possa garantir a imobilidade da peça sem contudo danificá-la.

exemplo a força a ser aplicada pelos elementos de sujeição (levando-se em conta o

observação das leis físicas da estática e dinâmica. Com bases nestas leis calcula-se por

As diretrizes deste sistema tem origem em duas fontes distintas. Uma destas fontes é a

usuário tende a conduzir a uma solução.

A estrutura funciona como um sistema especialista que através de "diálogo" com o

são utilizadas caso não exista conflito com as de nível 2 e 1.

terceiro nível é constituído de diretrizes que visam a produtividade da operação e que

caso não haja conflito com as de primeiro nível (que tem precedência sobre estas), e o

segundo nível é constituído de diretrizes que são "preferenciais" e que são aplicadas

nível, é composto por diretrizes necessárias e que devem sempre ser observadas, o

Cada um dos módulos possui três níveis de diretrizes para serem aplicadas, o primeiro

propõe configurações de montagem dos elementos de fixação.

dados de elementos de fixação, finalmente o "CLAMP PLACEMENT MODULE"

dispositivo de fixação para uma dada operação de usinagem, com base em um banco de

de usinagem. O segundo módulo ("CLAMP SELECTION MODULE"), seleciona o

MODULE" traz orientações para auxiliar o estabelecimento da sequência das operações

trocaram informações entre si. O primeiro módulo chamado de "FEATURE SELECTION

planejamento e controle da fixação. Esta estrutura é constituída por três módulos que

usagem de placas planas. Observa-se que a sugestão apresentada pelos autores tem lógica, mas apresenta considerável dificuldade para ser generalizada de forma a atender uma variedade maior de peças.

Também trabalhando em um caso particular NNAJI *et al* (1988), desenvolveram um sistema especialista com a finalidade de planejar um dispositivo de fixação para fresagem plana de peças prismáticas regulares.

Como elemento de fixação escolheram trabalhar com o "Halder Modular Jig & Fixture System 70", um sistema modular constituído por bases com rasgos em "T" e diversos componentes que convenientemente montados formam os localizadores e os elementos de sujeição.

Para o desenvolvimento do projeto os autores trabalharam em duas grandes frentes. Na primeira, representaram os elementos de fixação através de modelos tridimensionais com o auxílio de um sistema CAD ("CATA" - IBM 9375), e criaram um sistema de classificação para estes elementos utilizando-se dos conceitos de tecnologia de grupo, atribuindo para cada elemento um código composto por dez dígitos. Na segunda frente de trabalho, desenvolveram regras e procedimentos para seleção de elementos de fixação, criaram técnicas de representação espacial para os componentes a serem usados e conceberam um sistema especialista para executar o layout do dispositivo de fixação.

O sistema especialista concebido possuía basicamente três partes:

- O Banco de Dados: que contém informações sobre os modelos sólidos, dos elementos do dispositivo e da peça a ser fixada;
- Regras e/ou Operadores: que são um conjunto de diretrizes empregadas para

- Estratégia de Controle: que define como as decisões são construídas.

manipular o banco de dados;

O sistema exige como dados de entrada, o comprimento, a largura e o número de lados da peça e ainda a identificação, segundo uma convenção preestabelecida, da superfície a ser usinada.

Com base nestes dados e fazendo uso das regras e operadores, o sistema define a orientação e posição da peça com relação a uma referência da máquina, reconhece e identifica cada uma das faces da peça.

Utilizando-se do princípio 3-2-1, define a posição dos seis localizadores e fazendo uso de um algoritmo desenvolvido pelos autores, localiza a posição dos elementos de sujeição. Terminada esta etapa o sistema analisa o equilíbrio estático da montagem e caso o conjunto não apresente equilíbrio estático, refaz os passos anteriores até conseguir este equilíbrio. Aprovada a configuração o sistema seleciona os componentes do kit modular a serem empregados e documenta graficamente o leiaute do dispositivo.

No critério de orientação e localização da peça é levada em conta: a forma da peça; o material de que ela é constituída; a operação de usinagem; e a máquina ferramenta utilizada; sendo negligenciado as questões de tolerância geométrica e dimensional, a existência ou não de superfícies em bruto ou pré-usinadas, a acessibilidade, a remoção de cavacos etc....

Na análise da fixação, o sistema calcula de forma aproximada a força de corte utilizando-se do critério da energia específica de corte e aplica-se as condições de equilíbrio estático sem se levar em conta a força de atrito, além disto o sistema só se

aplica a peças cuja seção seja um polígono regular. Assim sendo torna-se pouco

aplicável a situações práticas.

De uma forma um pouco mais completa, SAKURAI (1990;1992), realiza um estudo integrado de planejamento de processo e planejamento da fixação. O autor apresenta requisitos que devem ser satisfeitos e após análise de cada um destes requisitos propõe um algoritmo e um método heurístico para satisfazer as exigências levantadas.

Estuda ainda o problema da modelagem das peças para fins de planejamento do processo e da fixação e conclui que o uso combinado de modelos baseados em "features"²² e modelos sólidos apresenta-se como uma solução adequada para esta tarefa

Propõe então um algoritmo para extração de "feature", a partir de modelo sólidos construídos segundo a estrutura "Boundary Representation" (B-rep).

Para o posicionamento e localização das peças adota o princípio 3-2-1 combinados com alguns critérios para seleção das faces de referência.

O sistema criado analisa peças prismáticas usinadas em máquinas de três eixos. E o autor comenta que a seleção de pontos de apoio para os localizadores bem como para aplicação dos elementos de sujeição, apresenta grande dificuldade, constituindo-se em um campo de desenvolvimento a ser explorado.

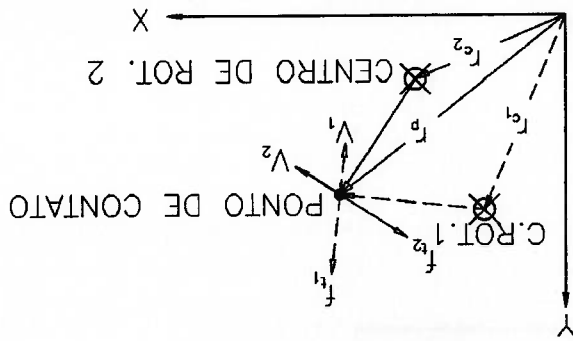
²²Features são subconjuntos de elementos geométricos em uma peça que possuem características especiais e pelas quais existe interesse seja a nível de projeto ou a nível de fabricação. Em modelos baseados em "features" é possível associar as informações geométricas e topológicas, já presentes nos modelos sólidos, informações complementares específicas para cada tipo de "feature" como por exemplo: tolerâncias dimensionais, macro e microgeométrica, processo de fabricação etc...

2.1.2.3 Sistemas para análise da configuração da fixação

Uma outra frente de trabalho de diversos pesquisadores, refere-se ao desenvolvimento de sistemas para análise de configurações de dispositivos, neste caso admite-se que o planejamento já foi realizado e preocupa-se com a análise do desempenho do proposto.

CUTKOSKY; LEE (1991), por exemplo, analisaram a fixação levando em conta a contribuição da força de atrito para sujeição da peça, eles apresentaram um estudo cuidadoso das forças de atrito aplicadas em fixações, realizaram um estudo cinemático da fixação modelando as forças existentes através do "screw theory". Neste trabalho eles consideram a força de atrito como a mais importante no processo de fixação. Para estudar a força de atrito fizeram uso da chamada análise de deslizamento. A ideia central é que quando um corpo começa a deslizar, a velocidade instantânea e a resultante força de atrito são univocamente conhecidas. Antes de ocorrer o deslizamento é impossível dizer qual é a direção da força de atrito, só se conhece seu módulo.

Os autores colocam que quando um corpo desliza, existe um centro instantâneo de rotação como pode ser visto na Figura 7.



Quando o corpo começa a mover-se, pode-se associar ao movimento um centro instantâneo de rotação e desta forma encontrar os vetores força de atrito e velocidade

Figura 7 Força de atrito, velocidade e centro de rotação de um corpo em deslizamento.

Tecendo-se as análises apropriadas chega-se a seguinte expressão para a força de atrito:

$$f_t = \begin{bmatrix} f_{tx} \\ f_{ty} \end{bmatrix}_T = \mu f_n \frac{-V}{|V|} \quad (2.1)$$

$$V = \omega \times (r^d - r^c) \quad (2.2)$$

onde:

μ = o coeficiente de atrito estático;

f_n = força normal a superfície

ω = velocidade angular com relação ao centro instantâneo de rotação

Pode-se transformar a força de atrito, de forma a que se a represente como sendo uma combinação de duas forças, uma de translação (as componentes cartesianas da força no plano) e um momento angular, referido a origem do sistema.

Variando-se a posição do centro instantâneo de rotação de forma a cobrir todas as possíveis posições que ele possa ocupar, serão obtidos diversos vetores referentes à força de atrito. Colocando-se estes vetores em um gráfico tridimensional (f_x , f_y e m_0) obtêm-se as chamadas *superfícies limites força/momento* conforme mostra a Figura 8

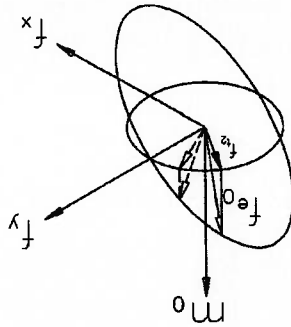


Figura 8 Superfícies limites força/momento obtidas para um ponto simples de contato com atrito.

A peça é modelada como um sólido isotrópico deformável baseado na elasticidade

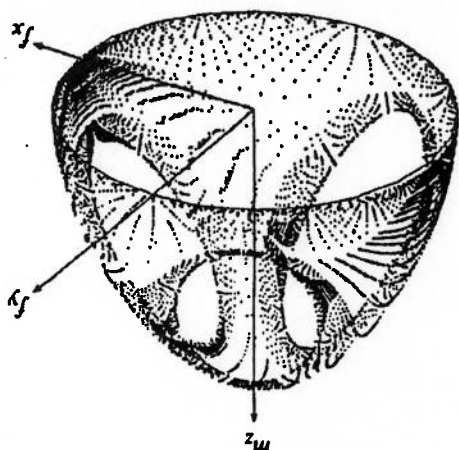
fixação. O software analisa a força de fixação e o índice de deformação da peça.

HAYNES; LEE (1987) desenvolveram um software para análise de dispositivos de o uso de elementos finitos para proceder uma análise e otimização da fixação Dentro ainda do tema análise de fixações, alguns trabalhos tem sido desenvolvidos com

levando-se em conta a força de atrito.

final. Apesar disto a precisão obtida é satisfatória para se proceder a análise de fixações que simplifica a obtenção das superfícies limites, mas gera imprecisão no resultado Para minimizar este problema Cutkosky e Lee sugerem uma abordagem aproximada

Figura 9 Superfícies limites força/momento para três pontos de contato com atrito.



contatos obtidas por Cutkosky.

superfície. A Figura 9 a seguir, mostra superfícies limites para o caso de três pontos de limites, torna-se difícil na medida que aumenta-se o número de pontos de contato da Um dos problemas que esta abordagem apresenta é que a obtenção destas superfícies

aplicada em uma peça, fará com que esta deslize ou não.

Analisando-se convenientemente este gráfico, é possível predizer se uma dada força

Primeiramente, na maioria das pesquisas, de forma implícita ou explícita é assumido que o planejamento da fixação é realizado após a definição das seqüências de remoção, negligencia-se com isto a forte interação que existe entre estas tarefas. Com isto o foco do trabalho fica direcionado para o estudo de aspectos de implementação da fixação como, por exemplo, obtenção dos pontos de apoio e sujeição da peça; seleção de componentes; etc., que são importantes, mas que deviam guardar algum tipo de relação

identificar algumas deficiências nestas abordagens.

Analisando-se as pesquisas feitas na área de planejamento da fixação é possível

2.2 Deficiências nas abordagens sobre planejamento da fixação

MENASSA, DEVRIES (1991) também trabalhando com elementos finitos propuseram um software para otimizar o posicionamento dos suportes em dispositivos de fixação. Utiliza-se o método de elementos finitos para se calcular as deformações da peça e com o auxílio do algoritmo de "Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shano" procura-se encontrar a melhor posição dos apoios de forma a minimizar as deformações.

para um estudo mais preciso do problema da deformação na fixação.

são. O trabalho em fim se resume a uma análise teórica que serve como ponto de partida a de considerar os elementos de fixação como corpos rígidos quando na realidade não forma simplificada, utilizando-se das leis de Coulomb, outra simplificação introduzida é os elementos de fixação levam em conta a existência da força de atrito, modelada de através de uma interface gráfica apresenta-se as deformações. Os contatos da peça com linear. As forças de usinagem são simuladas agindo em pontos determinados da peça e

interativa com as outras tarefas do planeamento do processo.

Além disto a prática e a experiência mostram que alguns fatores são relevantes para o planeamento da fixação, fatores tais como:

- faces de referências definidas por cotagem funcional ou por operações de pré-usinagem;
- acabamento das superfícies;
- tolerâncias geométricas e dimensionais;
- acessibilidade da peça ao dispositivo;
- forma da matéria prima;
- interferência da fixação com a ferramenta de corte;
- propagação do erro de posicionamento;
- existência da força de atrito;
- etc...

No entanto, em muitas pesquisas, estes fatores são negligenciados, e em nenhum trabalho consultado detectou-se a preocupação com estes requisitos, de forma integrada e simultânea.

Outro aspecto que chama a atenção, é que para uma seleção de componentes, consistente e racional é necessário que estes componentes estejam convenientemente classificados e codificados, no entanto de todos os trabalhos consultados apenas NNAJI et al (1988) demonstraram esta preocupação.

De forma geral estes aspectos explicam o porque da não utilização destes desenvolvimentos no cotidiano das empresas. Desenvolver sistemas para planeamento da fixação que não levam em conta estes aspectos resulta em modelos de planeamento muito específicos, pouco generalizáveis e com pouca utilidade prática.

Equacionado o problema da interação, será possível a adaptação das soluções já existentes para as micro questões do planejamento da fixação ou até mesmo o

solução para elas, levando em conta esta interação. atividades do planejamento do processo, assim tenciona-se apresentar uma proposta de necessitam de uma interação entre as atividades do planejamento da fixação e as demais. A proposta deste trabalho, é a de que as questões macros para serem definidas, questões.

da fixação atender estas definições de forma inflexível, atuando apenas nas micro as macro questões foram resolvidas de forma independente e que cabe ao planejamento questões e como já citado, em boa parte dos trabalhos já desenvolvidos, admite-se que As macro questões se comportam como condição de contorno com relação as micro

necessária de sujeição, para cada uma das fixações requeridas. sua posição de montagem, a definição dos pontos de apoio na peça e a força

- E em nível micro, a especificação individual de cada acessório a ser utilizado,

volumes que devem ser removidos e das forças impostas pelas operações; regiões da peça que devem estar acessíveis à ferramenta, do conjunto de

- Um nível macro, que trata da definição da posição necessária da peça, das

em dois níveis:

Para a elaboração desta estrutura há a necessidade do estudo do planejamento da fixação em consideração os fatores anteriormente mencionados.

Em função destas constatações, detecta-se a necessidade de elaboração de uma estrutura para o planejamento da fixação, que possa integrar estes desenvolvimentos e que leve

No capítulo seguinte será apresentado uma proposta para esta estrutura, que é o escopo deste trabalho.

desenvolvimento de novas soluções.

3.1 Considerações iniciais

Para que seja possível o desenvolvimento de uma solução satisfatória para o planejamento da fixação é necessário que se discuta o tema tanto a nível macro como a nível micro.

As questões a nível macro surgem da interação entre as tarefas do planejamento do processo e da fixação e definem as condições de contorno que devem ser levadas em conta quando do planejamento dos detalhes da fixação.

Para isto neste capítulo, inicialmente serão descritas as tarefas básicas do planejamento do processo e discutidos alguns aspectos a respeito da relação entre a fixação e a sequência de usinagem. Serão apresentadas duas abordagens já consagradas na literatura, que tratam desta relação. Com base nestas abordagens e em algumas observações, será sugerida uma estrutura básica para o planejamento da fixação salientando as inter-relações com as demais tarefas do planejamento do processo.

3.2 Os macros aspectos do planejamento da fixação

O planejamento da fixação é uma sub tarefa do planejamento do processo, assim as

definições dos macros aspectos devem ser realizadas levando-se em conta a interação entre o planejamento da fixação e as demais tarefas do planejamento do processo.

Pode-se definir o planejamento do processo como "a determinação sistemática de métodos pelos quais um produto deve ser fabricado economicamente e competitivamente".³

Cabe ao planejamento do processo tarefas tais como:

- obtenção de todas as informações do produto, necessários a fabricação;
- seleção da matéria prima necessária;
- seleção dos processos a utilizar;
- seleção das máquinas, ferramentas de corte e outros equipamentos necessários;
- definição da sequência das operações ;
- definição da posição e orientação da peça para cada fase da fabricação;
- seleção dos dispositivos de fixação e seu leiaute;
- geração da trajetória das ferramentas e geração do programa NC quando for o caso;
- cálculo dos parâmetros de corte;
- documentação do processo;
- estimativa de custo da fabricação.

Diversos pesquisadores, concordam em linhas gerais, com a existência destas tarefas,

MARTINS et al (1989), CHANG (1990), KUSIAK (1990), SAKURAI (1990), ZEID (1991), QUEIROZ (1993), ROZENFELD; RODRIGUES (1993) HALEVI; WEILL (1995). Mas o que ainda não está completamente consolidado é a sequência destas tarefas e principalmente de que forma ocorre a interação entre elas.

Quando se analisa este assunto sobre a ótica da fixação, observa-se que ao se desejar remover uma certa porção de material, isto implica em uma configuração dos elementos de fixação, que garante que a peça esteja convenientemente posicionada, orientada e sustentada, no entanto a disposição dos elementos de fixação, configura-se em uma restrição aos pontos da peça acessíveis à ferramenta e portanto define o que pode ser usinado, ou seja, a operação de usinagem define a disposição dos elementos de fixação e esta configuração por sua vez, interfere na sequência em que as operações poderão ocorrer. Conclui-se portanto, que a definição da sequência de usinagem deve ter relação com o planejamento da fixação pois estas tarefas são interdependentes.

Pode-se observar ainda que na definição das sequências de usinagem, além da influência da fixação, existem ainda relações de precedência entre os volumes a serem removidos, como por exemplo: na execução de um furo roscado ou um furo com canal interno, primeiro deve-se construir o furo e só depois a rosca ou o canal, ou seja existem relações entre as "features" que se manifestam como restrições e que intertem na sequência de usinagem.

Outro aspecto importante é que para garantir a não interferência do dispositivo de fixação com a ferramenta que promoverá a remoção, é preciso que se conheça o volume que a ferramenta irá ocupar na sua trajetória e a escolha da ferramenta e da trajetória é função:

pode ser encontrado na Figura 10 (a) proposta por CHANG, C.H. (1992).

processo para que novas etapas sejam elaboradas. Um exemplo típico desta abordagem estas etapas e caso não seja possível a obtenção destas configurações, realimenta-se o usinagem, neste caso busca-se configurações dos elementos de fixação que atendam a planejamento da fixação ocorre após a definição completa de todas as etapas da Na literatura pode-se observar duas formas para esta interação. Uma, em que o

estabelecimento do processo de fabricação e a definição da fixação.

Portanto seria conveniente que de alguma forma ocorresse uma interação entre o configuração da fixação, como já mencionado, interfere na sequência de fabricação. informações que são geradas na fase de planejamento do processo, no entanto a Do exposto, observa-se que o planejamento da fixação necessita de diversas

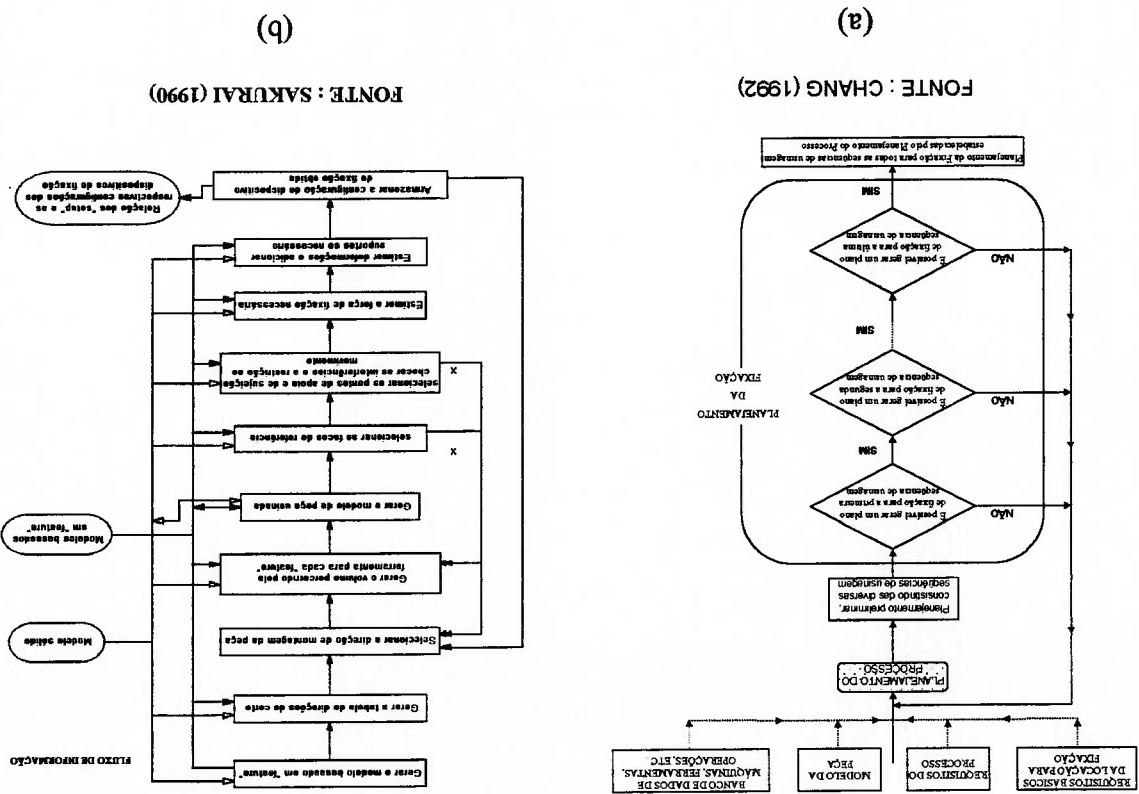
e estas escolhas não são feitas dentro do planejamento da fixação;

- do processo escolhido para remoção;
- da máquina disponível para operação;
- da geometria do volume a remover;
- e da própria característica da ferramenta.

Figura 10 Proposta de uma abordagem integrada entre o planejamento do processo e da fixação em (a) feita por C.-H. Chang em (b) feita por Sakurai.

Outro tipo de abordagem é aquela utilizada por SAKURAI (1990), que apresenta uma estrutura para o planejamento do processo e planejamento da fixação que pode ser vista na Figura 10 (b), neste caso a definição das "features" que serão removidas, ocorre de forma interativa com a definição do dispositivo de fixação.

Para facilitar esta comparação, a seguir apresenta-se a estratégia de Chang e Sakurai em um modelo padronizado, simplificado, constando das mesmas tarefas básicas para que se possa analisar com mais facilidade.



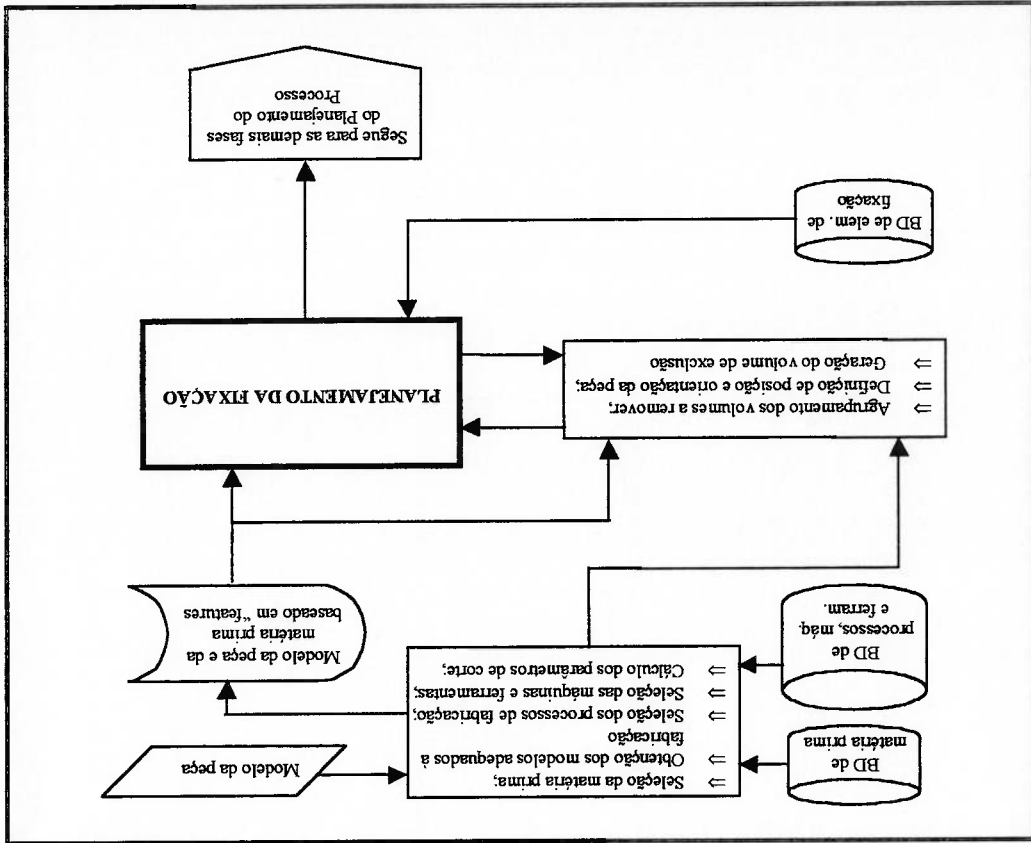
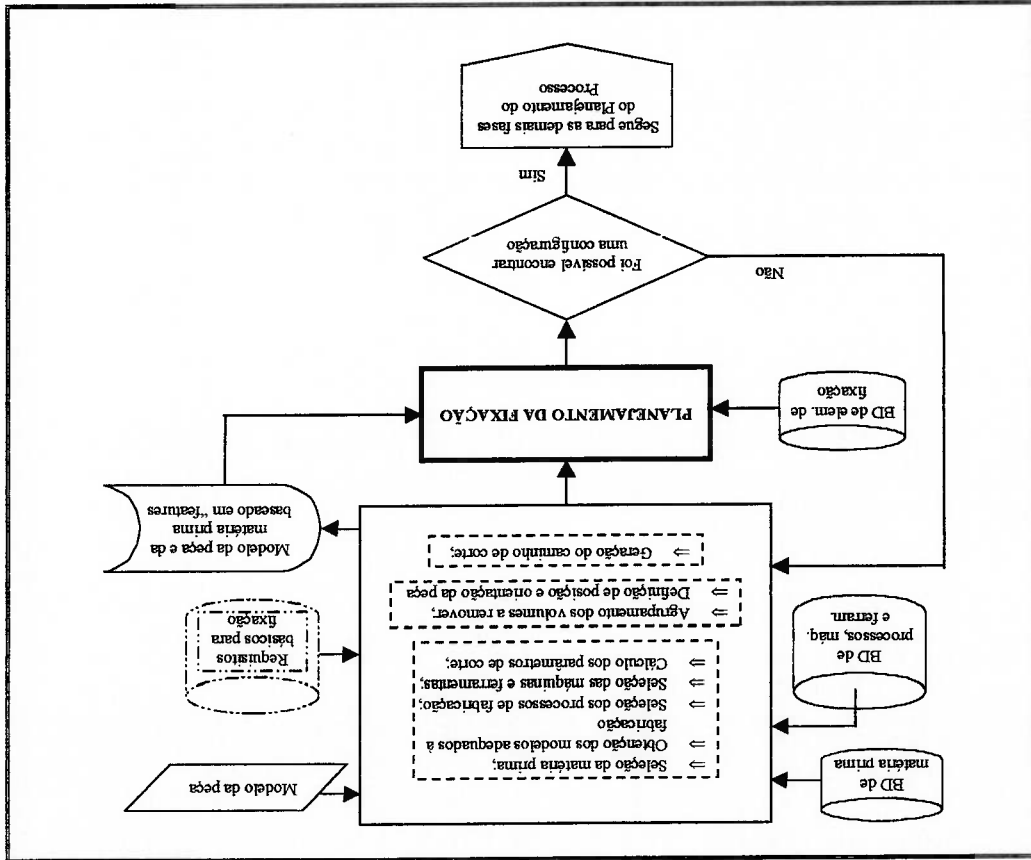


Figura 11 Estrutura proposta por CHANG (1992) em (a) e SAKURAI (1990) em (b), apresentadas de forma padronizada para facilidade de comparação.

Como se pode ver na Figura 11 (a) que segue a proposta de Chang, o planejamento da fixação é realizado depois que o processo de fabricação para cada "feature" já está selecionado, máquinas e ferramentas escolhidas, sequência de usinagem e caminho de corte definidos, desta forma cabe ao planejamento da fixação encontrar uma configuração para o dispositivo de fixação que satisfaça todas as exigências já definidas. Para aumentar a probabilidade de se encontrar uma solução para fixação, Chang, sugere que seja acrescido ao módulo, que define as condições de fabricação, uma base de dados que contenha informações a respeito dos requisitos básicos para fixação. Mas isto não garante que se encontre uma solução e no caso de não ser possível definir a configuração do dispositivo de fixação, o sistema prevê uma realimentação de informações de forma que novas condições para fabricação sejam elaboradas e nova tentativa de encontrar uma solução seja realizada. CHANG(1992), no entanto, não detalha como se processaria o mecanismo decisorio para realimentar o sistema e sugerir nova sequência de operações.

Na estrutura proposta por Sakurai, Figura 10(b) todo processo se inicia, com a geração de um modelo baseado em "feature" da peça, no caso, à estas "features", já estão associados todos os dados necessários a sua fabricação, a seguir as "features" são convenientemente agrupadas e associada a cada grupo uma potencial direção de corte que representa a direção do eixo da ferramenta que poderá executar aquele grupo, seleciona-se então uma dada orientação para a peça e gera-se o volume de exclusão, que nada mais é do que o volume a ser ocupado pela ferramenta.

Com estas informações inicia-se o planejamento da fixação, encontrada dificuldades para se obter a configuração para o dispositivo, interage-se com as tarefas descritas anteriormente, seja pela alteração do agrupamento das "features", ou pela alteração da

orientação da peça.

O interessante desta proposta é que ela apresenta de forma mais explícita, que a estrutura de Chang, a possibilidade para que a configuração da fixação e a sequência das operações, ocorram de forma recíproca, ou seja, a configuração da fixação pode influir na sequência de usinagem que por sua vez, influencia a configuração da fixação conforme pode ser visto na Figura 11 (b). E esta parece ser a forma mais correta de inter-relação.

No entanto a proposta de Sakurai não leva em conta a relações de precedência entre os volumes a serem removidos e estas relações de precedência expressam limites tecnológicos que impõem uma sequência unívoca para a ocorrência da remoção, em função disto, aspectos importantes como: cotagem funcional, tolerâncias geométricas, e outros são tratados de forma pouco conveniente. Sakurai também não se preocupa com uma escolha racional de elementos para a composição do dispositivo de fixação.

Em função do já exposto percebe-se, que a atividade de planejamento da fixação deve surgir na definição da sequência final de usinagem, ou seja, com base nas definições de processos e nas precedências existentes para cada "feature" o planejamento da fixação deve agrupar as "features" de forma que possa existir uma configuração de elementos de fixação que convenientemente oriente e mobilize a peça possibilitando a remoção destas "features".

Dentro deste conceito é possível, idealizar uma forma genérica de inter-relação entre o planejamento da fixação e as demais atividades do planejamento do processo esta inter-relação deve ocorrer conforme mostra a Figura 12.

Com base nestas características levantadas e com a intenção de detalhar melhor as interações entre as atividades do planejamento da fixação com as demais atividades do planejamento do processo, apresenta-se como proposta a estrutura da Figura 13 que é derivada dos desenvolvimentos feitos por SAKURAI (1990), CHANG, T. C. (1990) e CHANG, C-H (1992), mas que busca contornar algumas limitações encontradas nestes desenvolvimentos. Esta estrutura, contempla a interação entre as tarefas do planejamento do processo e da fixação. Nela a definição da sequência de usinagem e da fixação ocorrem de forma recíproca e cria-se condições para a obtenção de um processo de fabricação mais econômico e racional, esta estrutura, segue em linhas gerais as idéias apresentadas pela Figura 12 e sua forma final foi obtida através de uma criteriosa análise da atividade de fixação.

Figura 12 Interação proposta para as principais atividades do planejamento do processo e o planejamento da fixação.

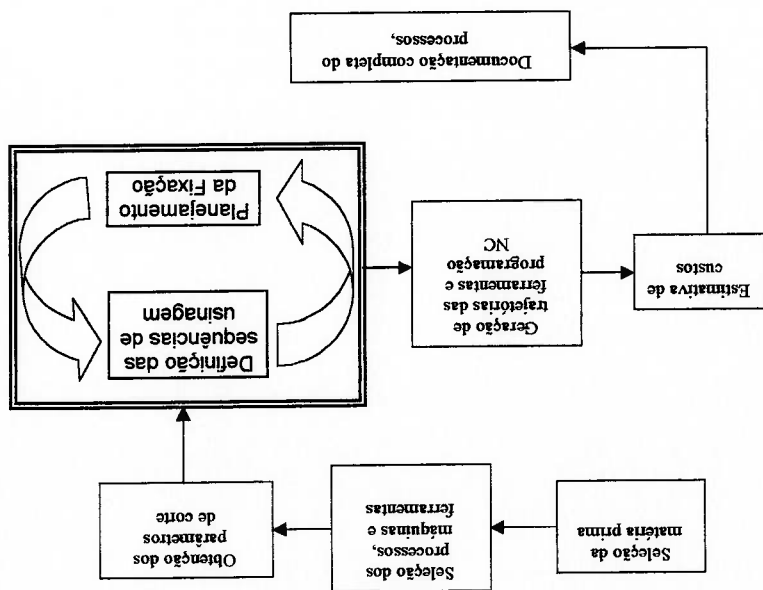
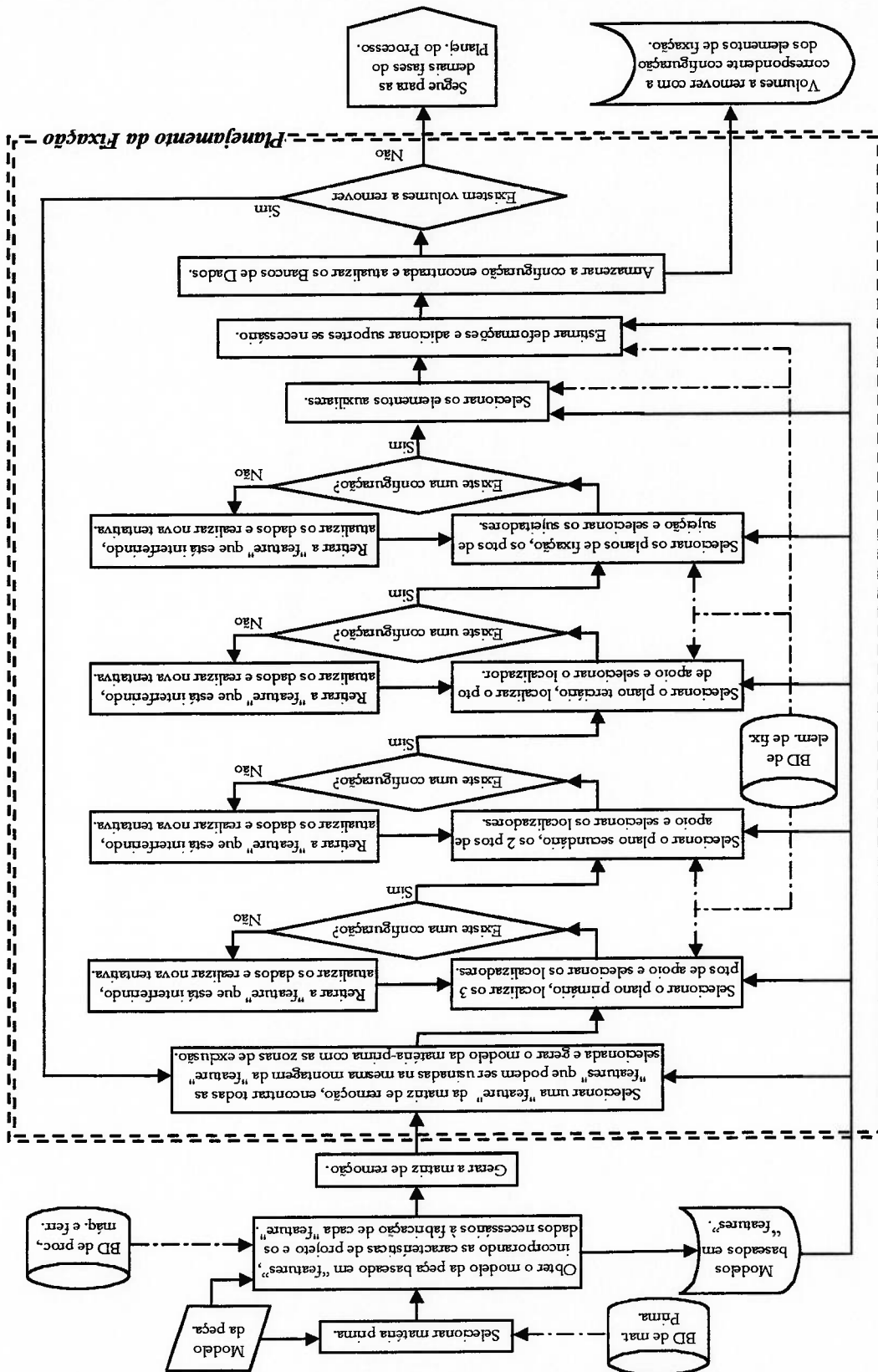


Figura 13 Proposta de uma estrutura para as tarefas do planeamento do processo, que se relacionam de forma direta, com o planeamento da fixação.



3.3 Estrutura do planejamento do processo para atender ao planejamento da fixação proposto

Como pode ser visto na Figura 13, as tarefas inerentes ao planejamento da fixação estão circundadas por uma linha dupla tracejada, as tarefas que se encontram fora desta área, são tarefas do planejamento do processo que se relacionam de forma mais direta com o planejamento da fixação. Estas tarefas precisam ser realizadas de uma forma conveniente para possibilitar o funcionamento do planejamento da fixação, a configuração destas tarefas, constitui-se no tratamento dos macros aspectos da fixação.

Antes que se apresente as soluções idealizadas para realização destas tarefas, faz-se necessário a definição dos sistemas de coordenadas a serem utilizados nesta estrutura, pois diversas informações a serem geradas e mesmo diversos processos decisórios a serem implementados são dependentes deste sistema.

3.3.1 Sistemas de coordenadas a serem utilizados.

Na estrutura idealizada, utiliza-se três sistemas de coordenadas, um associado à peça, um associado aos elementos do dispositivo de fixação e finalmente um terceiro associado a montagem da peça e do dispositivo na máquina ferramenta.

Este terceiro sistema de coordenada, é aqui denominado *sistema de referência para montagem* e tem por objetivo:

1. permitir que se possa descrever o leiaute de montagem do dispositivo com base em coordenadas oriundas de uma origem conhecida;

2. permitir que de forma padronizada se possa definir o aqui denominado *vetor ferramenta-máquina*. Este vetor unitário define a orientação do eixo da ferramenta de corte. Sua direção coincide com a do eixo da ferramenta e seu sentido é tal, que aponta sempre em direção ao mandril de fixação da ferramenta.

Independente da máquina a ser utilizada, o *sistema de referência para montagem*, será um sistema de coordenada cartesiano retangular em que as orientações dos eixos serão obtidas da seguinte forma:

- o plano da mesa de trabalho da máquina, definirá o plano XY e eixo Y terá a direção do movimento transversal da mesa (movimento de menor curso) e seu sentido positivo deverá apontar para a coluna da máquina;
- o eixo Z será perpendicular ao plano XY e seu sentido positivo deverá apontar para cima;

- o sentido do eixo X deve ser tal que $\vec{x} \times \vec{y} = \vec{z}$

- para definição do *vetor ferramenta-máquina*, a origem deste sistema de coordenada, pode se localizar em qualquer lugar, uma vez que a informação necessária é de orientação e não de posição do eixo principal da máquina.

Na Figura 14, apresenta-se este sistema para o caso de uma fresadora vertical e neste caso o *vetor ferramenta-máquina* terá como valor (0,0,1).

Todos os dados referentes a peça utilizarão este sistema.

- Persistindo a indefinição a escolha é livre;

maior aresta perpendicular ao plano XY;

definição, terá preferência aquele em que o eixo Z possa ser associado a

- No caso de existirem dois sistemas de coordenadas que atendam a esta

conta que $\bar{x} \times \bar{y} = \bar{z}$;

a peça esteja no quadrante positivo do sistema de referência, levando-se em

- O eixo Z (perpendicular ao plano XY), deve ser escolhido de forma que toda

sendo a maior aresta o eixo X;

- a maior face plana da peça será adotada como constituindo o plano XY,

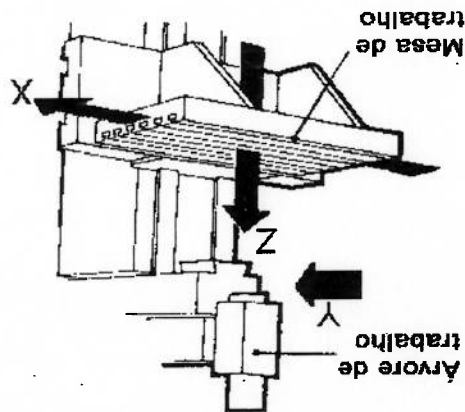
Para definir este sistema de referência, será utilizado como critério que:

sistema, será denominado *sistema de referência da peça*.

distinguir para cada "feature" direções, localização e demais características. Este

No caso das peças é necessário a criação de um sistema de coordenada, de forma a

Figura 14 Direção e sentido dos eixos do sistema de referência para montagem.

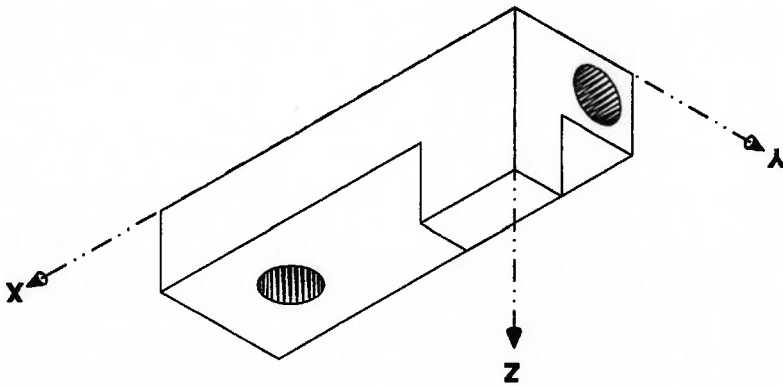


A estrutura apresentada, recebe como dado de entrada o modelo sólido da peça acabada, que além das informações geométricas e topológicas da peça, deve conter também o material de que ela é constituída, com base nesta informação e fazendo uso de um Banco de Dados das matérias primas disponíveis, seleciona-se o material mais adequado.

3.3.2 Seleção da matéria prima

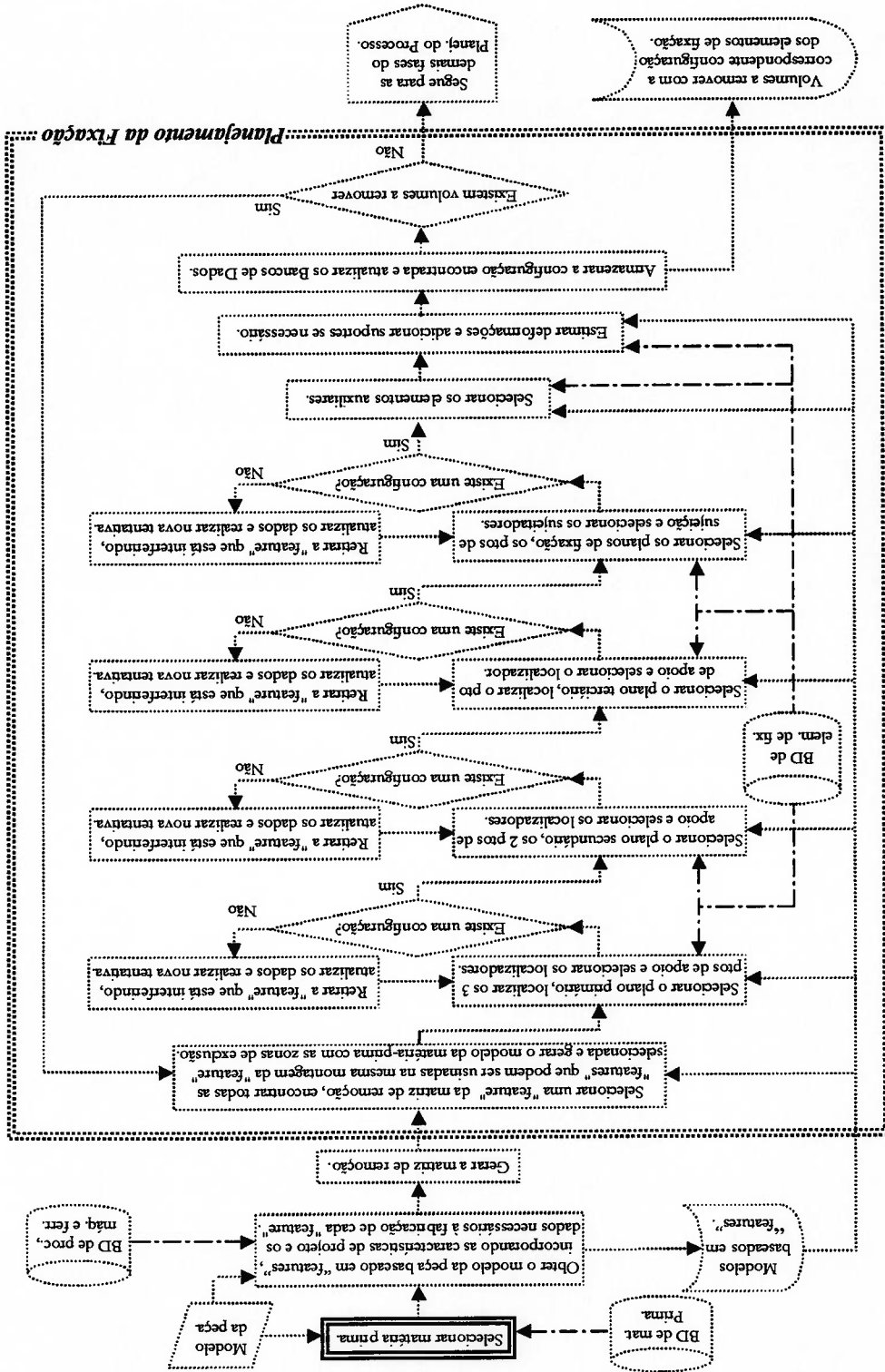
Além destes dois sistemas de coordenadas existe como já citado um terceiro, relacionado com os elementos que irão compor o dispositivo de fixação e que será apresentado no capítulo 4. Definido os sistemas de coordenadas, a seguir será apresentado uma descrição das tarefas do planejamento do processo, que se relacionam de forma mais direta com o planejamento da fixação.

Figura 15 Exemplo de atribuição do sistema de referência da peça.



Esta escolha alimenta uma "memória intermediária" que será atualizada após a definição de cada configuração, assim para a definição da primeira configuração dos

Figura 16 Parte do planejamento do processo, salientando a tarefa de seleção da matéria prima.



dispositivos de fixação, a matéria prima é aquela definida com o auxílio do Banco de Dados, para a segunda configuração a “memória intermediária” é atualizada subtraindo do modelo da matéria prima os volumes que foram removidos e este modelo atualizado é o modelo de matéria prima para a obtenção da segunda configuração e assim sucessivamente até o fim do processo.

O modelo da matéria prima, também é um modelo baseado em “feature”, o próprio Banco de Dados da matéria prima já é constituído desta maneira, assim ao se seleccionar como matéria prima, por exemplo, aço SAE 1020 diâmetro 2” x 320 mm, o sistema deve associar ao modelo, informações a respeito da cilíndricidade, tolerância dimensional do diâmetro, perpendicularidade das faces com relação ao eixo do material etc... Estas informações são importantes, pois quando da escolha de faces de referência para fixação da peça, devem ser seleccionadas as faces que apresentarem menor desvio de forma. Estas informações podem ser obtidas do Banco de Dados, que contém informações sobre as tolerâncias típicas de cada tipo de matéria prima.

Quando o modelo for atualizado, esta atualização já vem em forma de “feature” mantendo portanto a coerência da informação.

3.3.3 Geração do modelo da peça baseado em "feature" e seleção do processo de fabricação

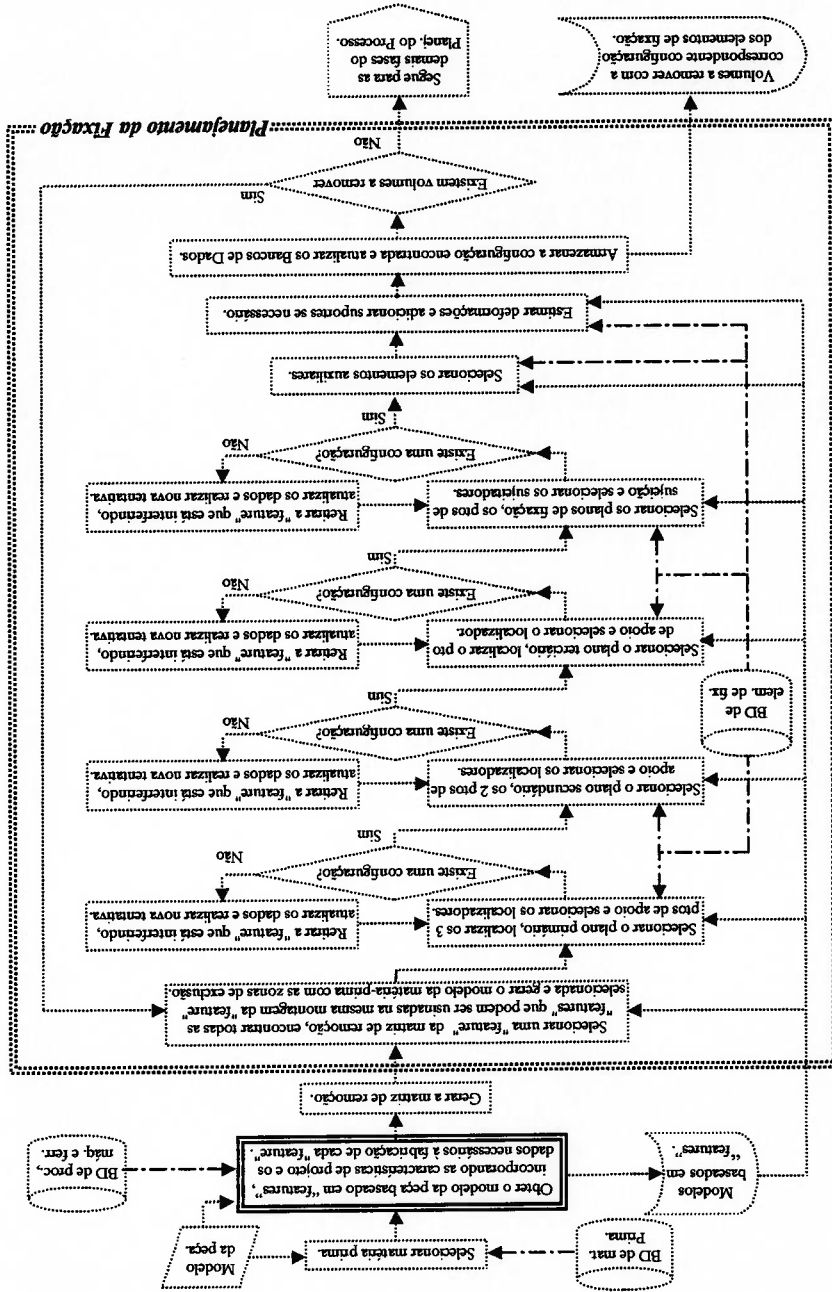


Figura 17 Parte do planejamento do processo, salientando a tarefa de obtenção do modelo baseado em "features" e seleção do processo de fabricação

A representação da peça por seu modelo sólido apresenta apenas informações de ordem geométrica e/ou topológica, que são insuficientes para a execução das tarefas de planejamento do processo. Em função disto vários pesquisadores (Chang (1990),

Kusiak (1990), Sakurai (1990), Zeid (1991), Caillaud et al. (1994), Hanada et al. (1995), indicam o modelo da peça baseado em "feature" como o mais adequado.

Neste tipo de modelo, identifica-se na peça acabada conjuntos de entidades geométricas que representam uma região de interesse como por exemplo: um furo, um rasgo, um rebaixo, etc..., além das informações sobre a geometria é possível associar a cada "feature" informações tais como tolerâncias dimensionais, tolerâncias macrogeométricas (forma, posição e movimento), tolerâncias microgeométricas (rugosidade superficial), elementos de referência, etc....

Existem duas possibilidades básicas para a execução desta tarefa, uma é a utilização dos chamados modeladores por "feature", neste caso ao invés de se utilizar as ferramentas convencionais existentes para modelagem da peça, o projeto da peça é realizado com auxílio de um modelador que tem "features" como primitivas, HANADA et al (1995) utiliza-se deste método. O processo de design é realizado subtraindo-se a "feature" de um bloco inicial que representa a matéria prima, cada "feature" pertencente a biblioteca do modelador funciona como uma "macro" de programação, ao se escolher uma destas primitivas interativamente, através de perguntas ao usuário, obtêm-se informações relativas às dimensões específicas, tolerâncias, tratamento térmico, etc... que são necessárias para a completa especificação do detalhe. As vantagens deste método são:

- representação com maior fidelidade dos requisitos de projeto que a peça deve satisfazer;

- geração de um modelo de produto acabado mais adequado ao planejamento do processo ;

Outro aspecto deste tipo de modelagem que deve ser levantado, diz respeito ao conceito

de "design for manufacturing", se as "features" básicas que compõem o modelador forem idealizadas levando-se em conta os aspectos de fabricação, o projeto utilizando-se deste modelador terá maior probabilidade de estar adequado à fabricação, que um projeto realizado a partir de primitivas geométricas simples.

Apesar das vantagens aparentes deste método de modelagem, existem críticas a sua utilização, CHANG (1990) levanta como aspectos negativos o seguinte:

- é necessário um número muito grande de "features" para que seja possível a modelagem dos mais variados tipos de peças;

- as peças não podem ser projetadas somente com o uso de "features" há necessidade de superfícies ou volumes intermediários para conectar as "features";

- um modelador constituído de "feature" baseadas em aspectos de fabricação, obrigaria o projetista a mudar a forma de pensar, pois ao invés de criar livremente formas geométricas que satisfazam uma dada condição funcional, o projetista teria que conceber mentalmente estas formas e adaptá-las às "features" existentes, o que passaria ser um limitante para atividade criativa do projetista.

A questão da limitação da criatividade do projetista é questionável uma vez que pode-se pensar em um domínio de aplicação e neste caso poderiam existir "features" adequadas à aquelas aplicações.

Contudo, em função destas críticas surge uma outra abordagem para obtenção do modelo da peça baseado em "feature", nesta abordagem o projetista realiza sua criação

livremente a partir de primitivas geométricas e com isto obtém um modelo sólido da peça. Fazendo-se uso de um extrator de "feature" extrai-se do modelo sólido as regiões de interesse, obtendo-se assim o modelo da peça baseada em "feature", (CHANG (1990), KUSIAK (1990), SAKURAI (1990)), apresentam mais detalhes sobre esta técnica), caso o modelo sólido da peça só contenha informações geométricas e topológicas é necessário que se acrescente ao modelo baseado em "features" as demais informações que completam a descrição da peça, quais sejam as tolerâncias dimensionais, as tolerâncias macrogeométricas, as tolerâncias microgeométricas, os tratamentos térmicos e/ou termoquímicos.

Em função das peculiaridades que cada "feature" possui, as informações necessárias para sua completa definição variam. Por exemplo, na definição da "feature" furo teremos como informação importante a tolerância de cilíndricidade que com certeza não estará presente na "feature" plano, que por sua vez necessitará da tolerância de planicidade que não faz sentido para a "feature" furo, assim cada "feature" terá uma estrutura de dados própria com campos comuns e campos particulares.

Para a estrutura de planejamento da fixação apresentada, o uso de um modelador por "feature" parece ser o mais indicado, principalmente devido a necessidade de se associar a cada "feature" diversos dados além dos topológicos e geométricos.

Em um modelador por "feature", como já citado anteriormente, seria possível selecionar uma "feature" da biblioteca do modelador e ao aplicá-la, o sistema poderia inquirir o usuário a respeito de todos os dados necessários à sua completa definição tais como tolerância de forma e posição, rugosidade, tolerância dimensional, elementos de referência para seu posicionamento, e dados a respeito de tratamento térmico.

desbaste prévio como por exemplo peças a serem retificadas, furos a serem acabados No caso de peças que deverão necessariamente passar por processos que exigem atender às tolerâncias, etc.....

utilizando como critério por exemplo, custo, a capacidade de remoção, a capacidade de apta a realizar a remoção, o sistema deverá colocá-los em ordem de preferência Se existir mais de uma possibilidade de fabricação (processo, máquina e/ou ferramenta), cada "feature".

máquina(s) e a(s) ferramenta(s), que estão aptos a realizar a remoção para construção de inferências adequadas, poderia selecionar o(s) processo(s) de fabricação, a(s) com base nas informações de projeto, fazendo uso de um Banco de Dados e aplicando Para a obtenção destas informações é possível o uso de um sistema especialista, que respeito de sua fabricação.

de projeto da peça, é necessário que para cada "feature" sejam associadas informações Na estrutura proposta, além destas informações que são originadas normalmente na fase

3.3.3.1 Seleção de processos de fabricação para as "features"

Figura 18 Representação simbólica dos campos de dados a serem associados a cada "feature" na fase de projeto.

DADOS ORIGINADOS DO PROJETO						
IDENTIFICAÇÃO DA "FEATURE"	DADOS GEOMÉTRICOS	DADOS TOPOLÓGICOS	TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS	TOLERÂNCIAS MICROGEOMÉTRICAS	TOLERÂNCIAS MACROGEOMÉTRICAS	TRATAMENTO TÉRMICO

dados conforme representado simbolicamente na Figura 18 Para cada "feature" que compõem a peça estaria então disponível, um conjunto de

com alargador, peças com tratamento térmico e outras, o sistema deverá desdobrar o processo em desbaste e acabamento, selecionando convenientemente os meios para sua execução.

De posse dos dados mencionados no parágrafo anterior, é possível obter o *vetor ferramenta-peça*. Este vetor nada mais é do que um vetor unitário obtido em função do *sistema de referência da peça* e que define a orientação desejada da ferramenta para a usinagem de cada "feature". Seu sentido é tal que ele sempre aponta para o mandril de fixação da ferramenta.

Para obtê-lo, analisa-se a orientação necessária do eixo da ferramenta escolhida para a execução da "feature", levando-se em conta a localização do mandril de fixação da ferramenta.

Pode existir mais de um *vetor ferramenta-peça* para cada "feature" e ele sempre deve ser obtido com relação ao *sistema de referência da peça*. Na peça da Figura 19 por exemplo, o furo da face YZ, só possui uma direção de usinagem indicada pelo *vetor ferramenta-peça* (-1,0,0), enquanto que o furo na face paralela a XY possui duas possibilidades de usinagem, a ferramenta pode estar acima do plano XY (*vetor ferramenta-peça* (0,0,1)), ou abaixo (*vetor ferramenta-peça* (0,0,-1)), em ambos os casos é possível a usinagem deste furo.

"feature".

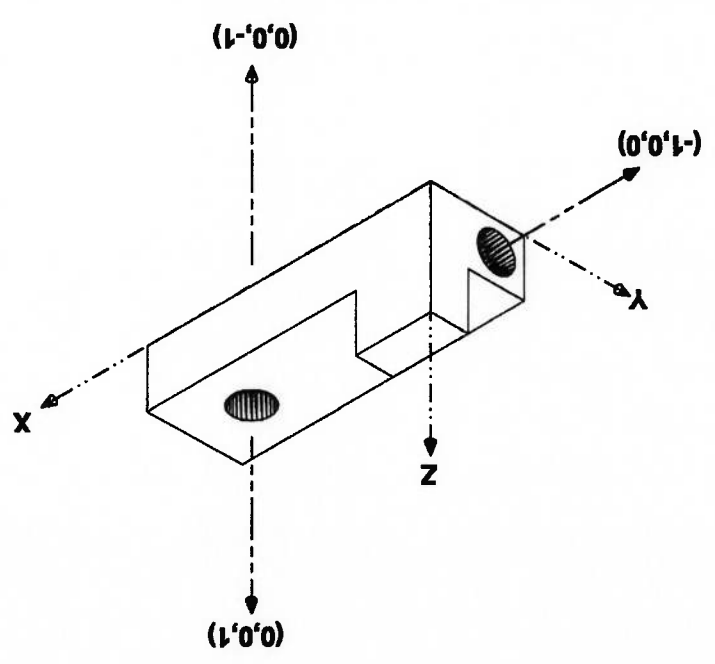
para cada "feature" e ainda para cada conjunto máquina/ferramenta aptos a construir a Na estrutura proposta o *vetor ferramenta-peça* e a zona de exclusão devem ser obtidos

movimentação da ferramenta.

a ser removido, é possível determinar com precisão as regiões necessárias à Dada uma determinada ferramenta, a operação que será realizada e o formato do volume que não deve ser ocupado por nenhum elemento, para evitar colisões com a ferramenta. volume que será ocupado pela ferramenta durante sua trajetória, portanto é o volume construção da "feature", é possível obter a *zona de exclusão*, que nada mais é, do que o Conhecendo-se o *vetor ferramenta-peça*, e a trajetória realizada pela ferramenta para a

3.3.3.2 Zona de exclusão

Figura 19 O vetor ferramenta-peça, para a execução de duas "features" da peça.



caso é obrigatório a remoção de "V7" para que seja possível a remoção de caso por exemplo dos volumes "V7" e "V8", também na Figura 20, neste removido é necessário que um outro específico seja removido primeiro, é o relação de *dependência por sequência*, para que um dado volume seja

ordem.

1) relação de *independência*, ou seja a remoção de um volume não interfere com o outro, os volumes "V1", "V2", "V3" e "V4" da Figura 20 são exemplos deste tipo de relação a princípio eles podem ser removidos em qualquer

em quatro tipos principais:

Ao se observar os diversos volumes que devem ser removidos para construir uma dada peça, é possível notar que existem relações entre eles, pode-se classificar estas relações

3.3.3.3 Relações de dependência entre "features"

A seguir este assunto será tratado com um pouco mais de detalhe.

dependência da "feature" com relação as demais "features" que compõem a peça.

"feature" e a cada processo de fabricação selecionado, informações a respeito da

Mas além destas informações citadas anteriormente é necessário ainda associar a cada

possibilitar a introdução de rotinas para otimização do planejamento do processo.

rente a uma variação da disponibilidade real dos recursos de produção, ou ainda

processo flexível, que seja capaz de definir sequências alternativas de execução da peça

podem construir a "feature" é útil para possibilitar uma estrutura de planejamento do

A idéia de se levantar várias possibilidades de processo, máquina e ferramenta que

“V8”, (esta obrigatoriedade só não existiria se a remoção de “V8” fosse realizada através de eletroerosão), outro exemplo deste tipo de dependência é o que ocorre por exemplo na execução de um furo com rosca, é impossível a execução da rosca antes que o furo seja feito;

3) relação de dependência desejável ocorre quando a observância da precedência resulta em algum tipo de facilidade, mas se não for possível observar a precedência, tecnicamente nenhum problema ocorrerá, é o que acontece por exemplo entre “V9” e “V10” (Figura 20) é plenamente possível remover “V10”, sem que “V9” seja removido, no entanto a remoção de “V10” é mais produtiva se for realizada após “V9”, nestes casos por uma questão de melhor aproveitamento dos dispositivos de fixação, a ordem de remoção pode ser diferente daquela preconizada pela dependência desejável.

4) relação de dependência por referência, neste caso para execução de uma dada “feature” é necessário primeiramente a remoção de um volume que gera o elemento de referência desta “feature”, para remoção de “V10” (Figura 20), por exemplo, seria necessário que primeiramente fossem removidos “V2” e “V4”, para que existissem as faces de referência que possibilitassem o correto posicionamento do furo no plano, se existisse também a exigência de um elevado perpendicularismo entre o furo e a base da peça, seria necessário a remoção de “V1”, antes da execução do furo.

As *dependências por referência* são facilmente obtidas a partir das tolerâncias macrogeométricas de posição que já foram incorporadas a cada “feature”.

As relações de *dependência por sequência*, surgem das análises topológicas que identificaram as "feature" aninhadas e neste caso uma possível técnica para identificar esta dependência seria :

a) verificar se a zona de exclusão da "feature" analisada contém parte ou a totalidade do volume de outras "feature";

b) existindo este volume comum, verificar se neste volume comum, a ferramenta de corte que gerou a zona de exclusão tem capacidade de remoção;

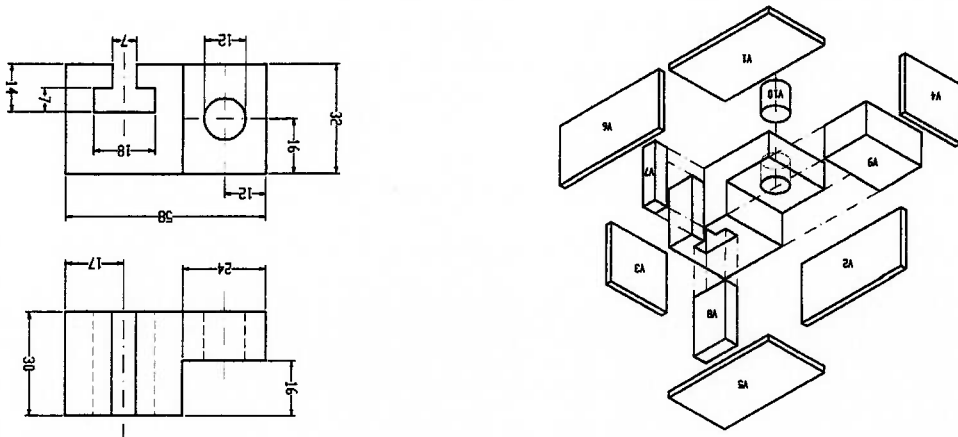
c) se existir esta capacidade de remoção a relação será de *dependência desejável*;

d) se a ferramenta não possuir capacidade de corte no volume comum, a relação pode ser classificada como *dependência por sequência*, e neste caso a(s) "feature(s)" que interferem devem ser removidas primeiro.

Se não existe a nenhuma das situações descritas acima a "feature" é dita independente e sua remoção não depende da situação de nenhuma outra "feature".

Feitas todas estas análises estaria disponível os seguintes dados:

Figura 20 Peça acabada e os volumes removidos para sua execução.



- a) relação de todos os volumes a serem removidos, com os respectivos: processo(s); máquina(s); ferramenta(s); e orientações necessárias a remoção, isto para que seja possível o agrupamento dos volumes de forma a respeitar estas exigências e aquelas decorrentes da própria fixação;
- b) as relações de precedência entre volumes a serem removidos levantadas no planejamento do processo levando-se em conta a topologia do volume a remover;
- c) o volume ocupado por cada ferramenta na sua trajetória, associado ao volume em específico a ser removido, para que seja possível evitar colisões da ferramenta com o dispositivo;
- d) a geometria da matéria prima incluindo, as tolerâncias de forma e posição dos elementos que a compõe, necessários na definição de faces de referência.

E para cada "feature" que compõem a peça existirá um conjunto de informações que pode ser simbolicamente representado pela Figura 21

DADOS ORÇUNDS DO PROJETO																				
IDENTIFICAÇÃO DA FEATURE	DADOS GEOMÉTRICOS	DADOS TOPOLÓGICOS	TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS	TOLERÂNCIAS MICROGEOMÉTRICAS	TOLERÂNCIAS MACROGEOMÉTRICAS	TRATAMENTO TÉRMICO														
DADOS PARA FABRICAÇÃO																				
OPÇÃO	MÁQUINA	FERRAMENTA	ORIENTAÇÃO	VOLUME EXCLUSIVO	DEPENDÊNCIA DESMONTAVEL	DEPENDÊNCIA POR SEQUÊNCIA	DEPENDÊNCIA POR REFERÊNCIA													
1																				
2																				
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
N																				

Figura 21 Representação simbólica dos campos de dados a serem associados a cada "feature".

Com base nestes dados é possível a geração da chamada *matriz de remoção* a qual será melhor explicado a seguir.

3.3.4 Geração da matriz de remoção

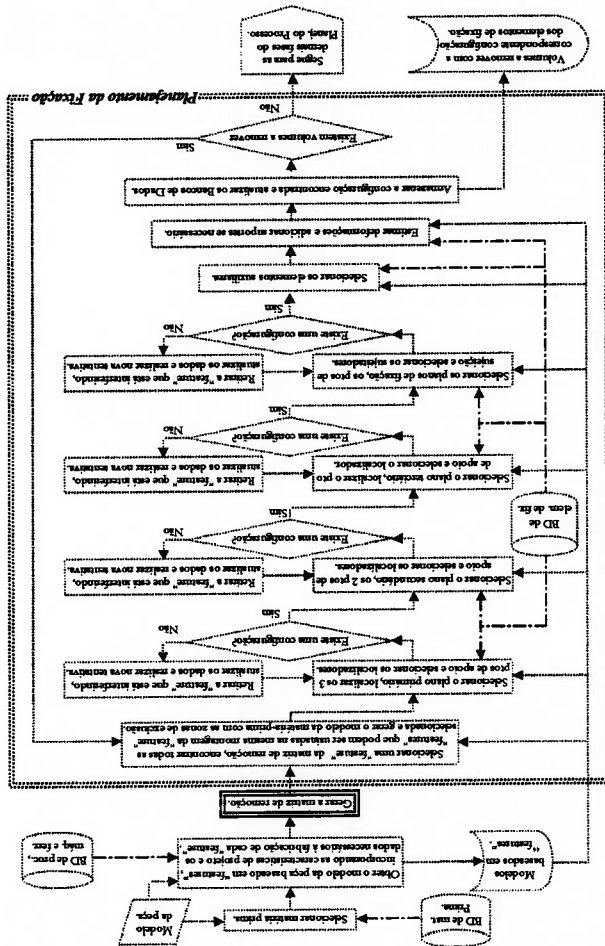


Figura 22 Parte do planejamento do processo, salientando a tarefa de geração da matriz de remoção.

A matriz de remoção é uma forma de expressar as relações de dependência entre as “features”, de forma a possibilitar a visualização de potenciais seqüências de usinagem, que respeitem as limitações tecnológicas impostas pelas dependências. A forma aqui apresentada é um variação da apresentada por HALEVI and WEILL (1995). Para a definição final das seqüências de remoção é necessário ainda obter as restrições que surgem devido aos dispositivos de fixação e são estas restrições que deverão ser levantadas pelo planejamento da fixação.

Pode-se explicitar estas dependências na forma matricial. Na matriz de remoção as dependências desejáveis aparecem com o número 2, enquanto que as por sequência e por referência são identificadas pelo número 1, assim para a peça da Figura 20 a matriz de remoção seria a seguinte:

Volumes a Remover										SEM-OVER-DEPENDENCY									
V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
						2													
								2											
										1									
																1			
																			2
																			2

Figura 23 Matriz de remoção para as "features" da Figura 20

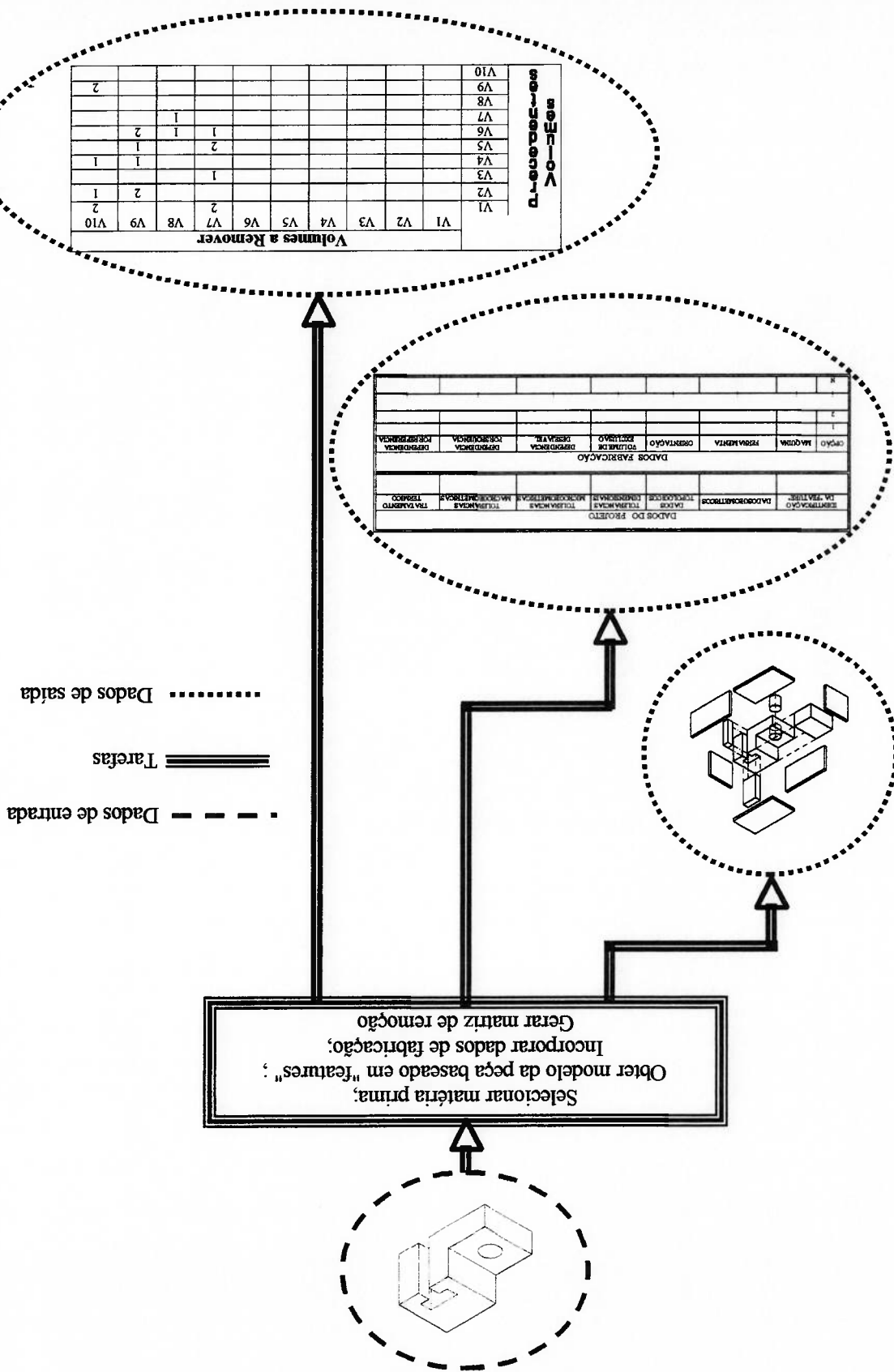
Na matriz de remoção é possível, analisando-se as colunas, identificar as "features" que são independentes (V1, V2, V3, V4, V5 e V6) e analisando-se as linhas, também é fácil perceber que "feature" possui o maior número de dependentes (V4 e V6). Em praticamente todas as análises só se leva em conta as dependências do tipo 1, apenas em algumas tarefas específicas, que serão apresentadas no capítulo seguinte, é que se leva em conta as dependências do tipo 2.

Com a obtenção da matriz de remoção encerram-se as atividades do planejamento do processo que definem as condições de contorno para o planejamento da fixação.

O resultado final das tarefas apresentadas neste capítulo podem ser sintetizados pela

Figura 24 a seguir.

Figura 24 Síntese do que deve ser realizado pelas tarefas do planejamento do processo, para atender ao planejamento da fixação proposto.



Envolto na elipse tracejada está o dado de entrada da estrutura, que deve ser um modelo sólido da peça, após as tarefas básicas contidas no retângulo de triplo traço, espera-se como saída desta fase e portanto entrada para o planejamento da fixação os dados contidos nas elipses pontilhadas que são:

- ◆ O modelo da peça baseado em "features" ;
- ◆ Os dados de projeto e fabricação associados a cada "feature" ;
- ◆ E finalmente, a matriz de remoção

Neste capítulo foi apresentado uma estrutura do planejamento do processo orientado ao planejamento da fixação, as tarefas, foram estruturadas de modo a permitir o funcionamento de um planejamento da fixação conforme proposto.

A seguir será apresentado o planejamento da fixação propriamente dito sendo conduzido um estudo dos micro aspectos deste e da mesma forma como realizado neste capítulo, serão apresentadas as tarefas básicas, seus dados de entrada e as saídas desejadas bem como uma proposta para sua potencial forma de realização.

A ESTRUTURA DO PLANEJAMENTO DA FIXAÇÃO

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo serão

tratados os micros

aspectos do planejamento

da fixação, que dizem

respeito ao detalhamento

do dispositivo de fixação,

assim tarefas como:

seleção dos componentes

do dispositivo e seu

leiaute de montagem

devem ser decididos

nesta fase a Figura 25, a

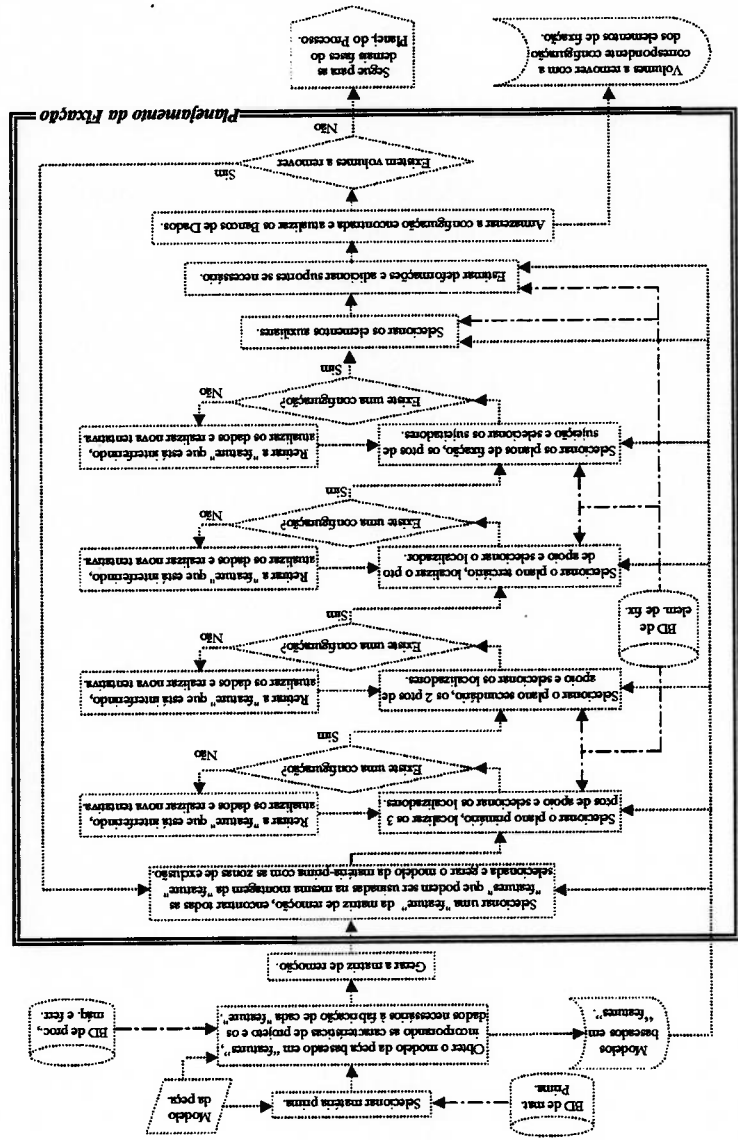
seguir, reproduz a

estrutura já apresentada,

saliando as tarefas

objeto deste capítulo.

Figura 25 Estrutura proposta salientando as tarefas a serem analisadas neste capítulo



⁴ Peças prismáticas podem ser definidas como um poliedro em que todas as suas faces são planas e são paralelas ou perpendiculares as faces adjacentes, sendo possível a existência de furos ou bolsões com cantos arredondados.

Para o correto funcionamento do planeamento da fixação é necessário que se disponha de informações a respeito dos elementos existentes para a construção do dispositivo de

4.2 O Banco de Dados dos elementos de fixação

Primeiramente será apresentado a forma de organização do banco de dados dos elementos de fixação e a seguir uma descrição das tarefas a serem realizadas.

Assim como no capítulo anterior, pretende-se no desenvolvimento deste capítulo, apresentar potenciais soluções para a execução das atividades de planeamento da fixação, sem preocupação com um detalhamento exagerado da tarefa, mas apenas com a intenção de mostrar que a tarefa tem reais possibilidades de ser executada.

As discussões realizadas até aqui, principalmente no que se refere as macro aspectos do planeamento da fixação, não possuem esta limitação e mesmo diversas tarefas a serem descritas neste capítulo poderão facilmente ser generalizadas.

Para o desenvolvimento destas tarefas, é necessário a especificação de um domínio de aplicação, no caso deste trabalho, escolheu-se como domínio de aplicação as operações de fresagem de peças prismáticas⁴, em centros de usinagem de três eixos, este domínio de aplicação segundo EVERSHIM, ESCH (1983) apud HANADA et al (1995) representa aproximadamente 54 % das peças que comumente fazem parte do mix de produção de peças usinadas.

fixação. Estas informações devem estar disponíveis em um Banco de Dados. Neste item pretende-se delinear uma possível forma de estruturar estas informações de forma a possibilitar a construção do Banco de Dados

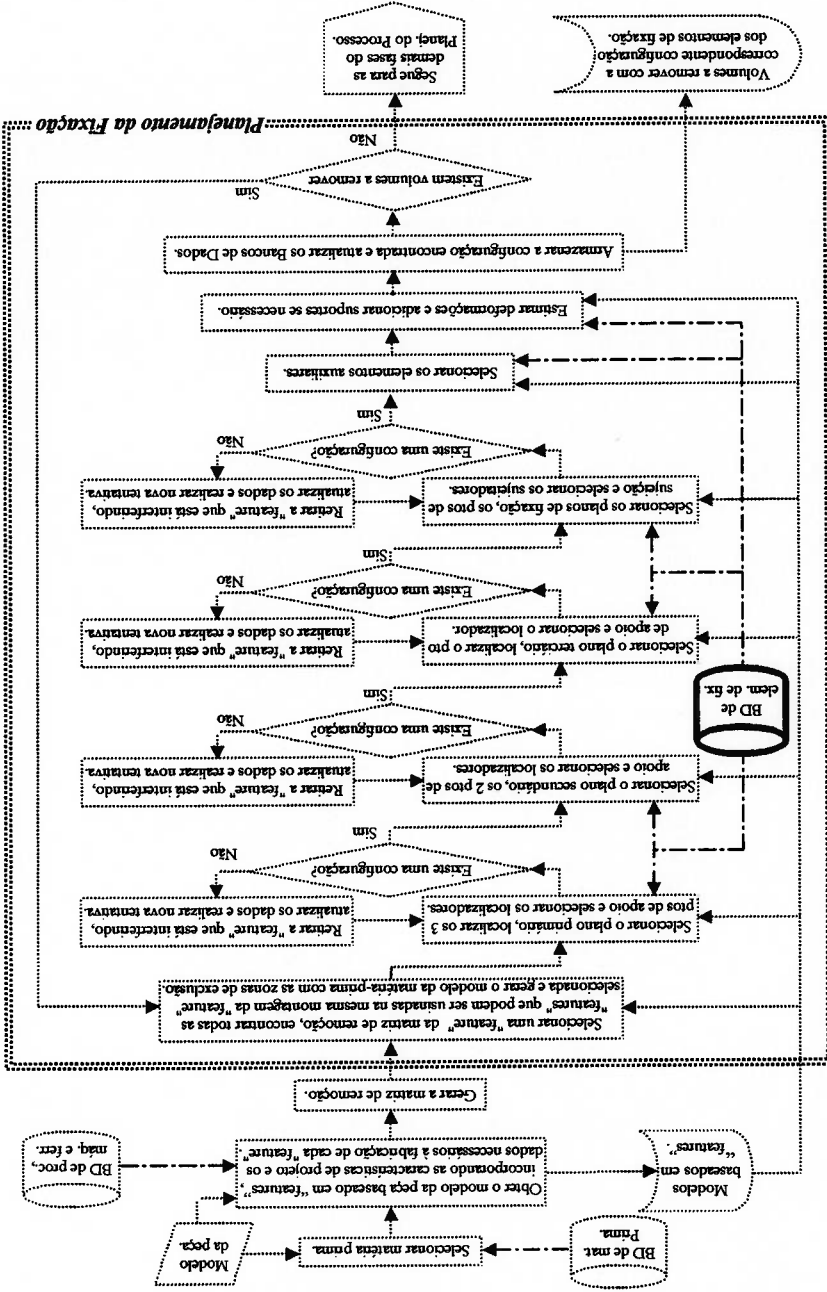


Figura 26 Estrutura, salientando o Banco de Dados a ser desenvolvido Para o domínio de aplicação proposto, os sistemas modulares (Figura 27 e Figura 28), são a melhor opção para os dispositivos de fabricação.

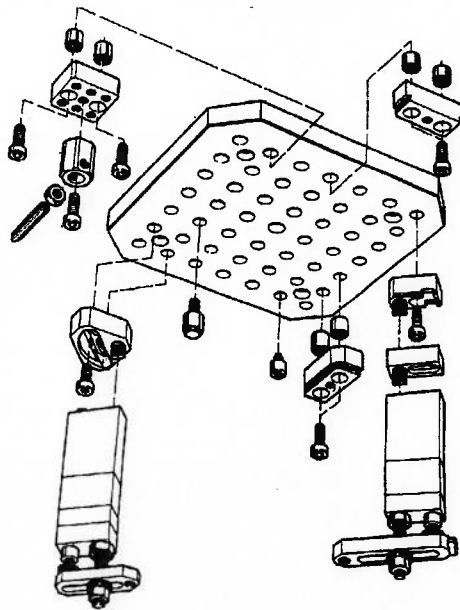
Um sistema modular de fixação é constituído basicamente de uma base e diversos elementos passivos (localizadores) e ativos (elementos de sujeição) que podem ser configurados conforme a necessidade da peça a se fixar. Existem duas grandes famílias: as de furo e as de ranhuras em "T".

As fixações por furos fornecem referências

mais precisas através

Figura 27 Montagem de um dispositivo modular

FONTE: INDUSTÉCNICA - SISTEMA MODULAR FIXO



de furos de orientação e favorecem a repetibilidade da re-montagem do dispositivo. As fixações com ranhuras, necessitam de elementos mais robustos para garantir a rigidez do conjunto, além disto não oferecem por si só um posicionamento preciso, necessitando de meios auxiliares para posicionamento e orientação da peça, mas são mais flexíveis

FONTE: INDUSTÉCNICA - SISTEMA MODULAR FIXO

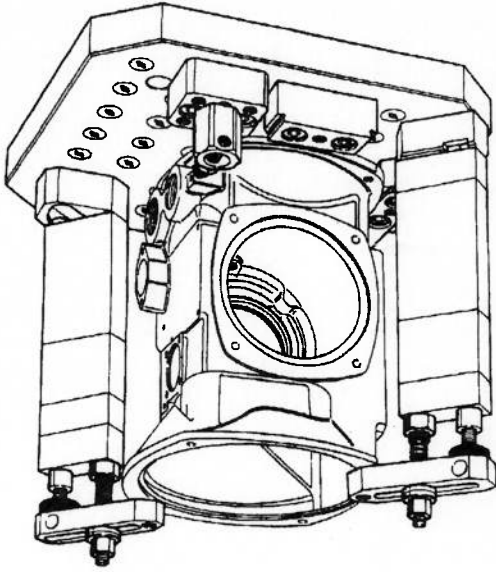


Figura 28 O dispositivo pronto

e baratos.

Segundo FAIDHERBE (1992) o tempo de projeto e execução de um dispositivo de fixação, utilizando-se de sistemas modulares é um décimo do das fixações especiais e o custo de um conjunto completo de elementos modulares representa de 30 a 40 % do valor de um centro de usinagem. KOCH (1989a, 1989b) coloca que o tempo necessário

para se planejar e construir um dispositivo de fixação com sistemas modulares é em média de 3 horas e raramente excede 8 horas, segundo o mesmo autor, em média, durante a vida de um centro, de usinagem, pode-se esperar um gasto com sistemas de fixação dedicados de aproximadamente cinco vezes o valor do centro de usinagem, no entanto com sistemas modulares os gastos seriam da ordem de US\$ 65.000,00, algo em torno de 30 % do valor de um centro de usinagem, concordando com Faidherbe.

O uso de sistemas modulares de fixação diminui consideravelmente o tempo de construção de um dispositivo de fixação, além disto diminui também o custo de armazenagem de dispositivos uma vez que um mesmo conjunto pode ser utilizado para a montagem de diversos dispositivos, por isto se apresentam como solução interessante para sistemas flexíveis de manufatura.

Em aplicações que exigem flexibilidade o uso de sistemas modulares de fixação tem grandes vantagens. Em se tratando de planejamento automático da fixação estes sistemas são imbatíveis, pois são susceptíveis de serem convenientemente classificados e codificados de forma a favorecer um processo de escolha mais rápido e racional.

Para sua conveniente utilização é necessário que seja criada uma forma de classificar e codificar os elementos que fazem parte do sistema.

4.2.1 Classificação dos elementos de um sistema modular de fixação

Pode-se caracterizar os elementos de um sistema modular por diversos critérios tais como:

- Critério funcional; diz respeito a que tipo de função o elemento normalmente desempenha no dispositivo de fixação e pode ser:
 - Elementos localizadores horizontais;
 - Elementos localizadores verticais;
 - Elementos localizadores auto-centrantes;
 - Elementos de fixação horizontal;
 - Elementos de fixação vertical;
 - Bases;
 - Elementos de conexão.
- Forma de contato, que diz respeito a forma geométrica do ponto de contato do elemento, se plano, esférico, retangular, quadrado, com ou sem estrías, se pontual, se linear, etc.....
- Por características dimensionais;
- Do ponto de contato, diz respeito as características dimensionais do ponto de contato do acessório com a peça;
- Do envelope necessário ; diz respeito a forma e dimensão do volume ocupado pelo acessório;
- Da cota específica; em um localizador horizontal seria a distância da base até o centro do ponto de contato.

- Por força: no caso de elementos de fixação a força máxima que pode ser aplicada, no caso de localizadores a força máxima que pode ser resistida;
- Por mecanismo de aplicação de força: No caso dos sujeitadores podemos ter a

força sendo aplicada por:

- Rosca;
- Alavanca;
- Excêntrico;
- Hidráulica, pneumática etc...

- Por classe de precisão; que diz respeito as tolerâncias de fabricação das dimensões importantes para a função do elemento;

- Por peso; o peso possui relação com a rigidez do elemento;

- Etc...

Destes critérios, alguns são mais significativos para a estrutura de planejamento da fixação, objeto deste trabalho, a seguir será apresentado os dados mínimos necessários para a construção de um Banco de Dados que forneça informações que permitam a conveniente seleção destes elementos.

4.2.1.1 Elementos localizadores e de sujeição

Para os elementos localizadores e de sujeição, necessita-se no mínimo de 8 campos de






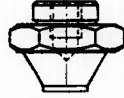
SAC	SH	SV	LEV	LH	LV
					
Campo 1					

Tabela 2 Valores a serem utilizados no campo 1 do código dos localizadores e sujeitadores.

O campo 1 define a função que o elemento pode assumir no dispositivo, o elemento será considerado um Localizador Vertical (LV) se plano de contato com a peça for paralelo à base do elemento, caso o plano de contato com a peça seja perpendicular a base, o elemento será considerado um Localizador Horizontal (LH), os localizadores com entalhes em "V" serão representados pelo código "LEV".

Para os elementos de fixação, analogia semelhante será feita, os Sujeitadores Verticais (SV) serão aqueles em que o plano de contato é paralelo a base do dispositivo, já se o plano de aplicação da força for perpendicular a base do elemento, ele será considerado um Sujeitador Horizontal (SH), os elementos de sujeição com capacidade de fixar peças, tomando como base sua linha média ou seu centro serão considerados Sujeitadores Auto Centranes (SAC), na Tabela 2 a seguir estão os códigos possíveis de serem utilizados neste local.

1	função	LV
2	forma de contato	PL
3	dimensão	16
4	dimensão	M6/12
5	zona de segurança	C 7
6	volume de segurança	Cil R20 (0,0,0) (0,0,-16)
7	vetor normal	0,0,1
8	Ponto de montagem	0,0,-16

Tabela 1 Campos de informação para os elementos localizadores e de sujeição.

informações, como pode ser visto na Tabela 1.

Para o campo 2, fica a definição do tipo de contato entre a peça e os elementos do dispositivo, este contato pode se dar na forma de um Plano Liso (PL), de um Plano Estrizado (PE), de uma Superfície Esférica (SE), de uma Superfície Cilíndrica (SC), ou ainda de um Plano Orientável (PO) a Figura 29 a seguir apresenta estes tipos de contatos.

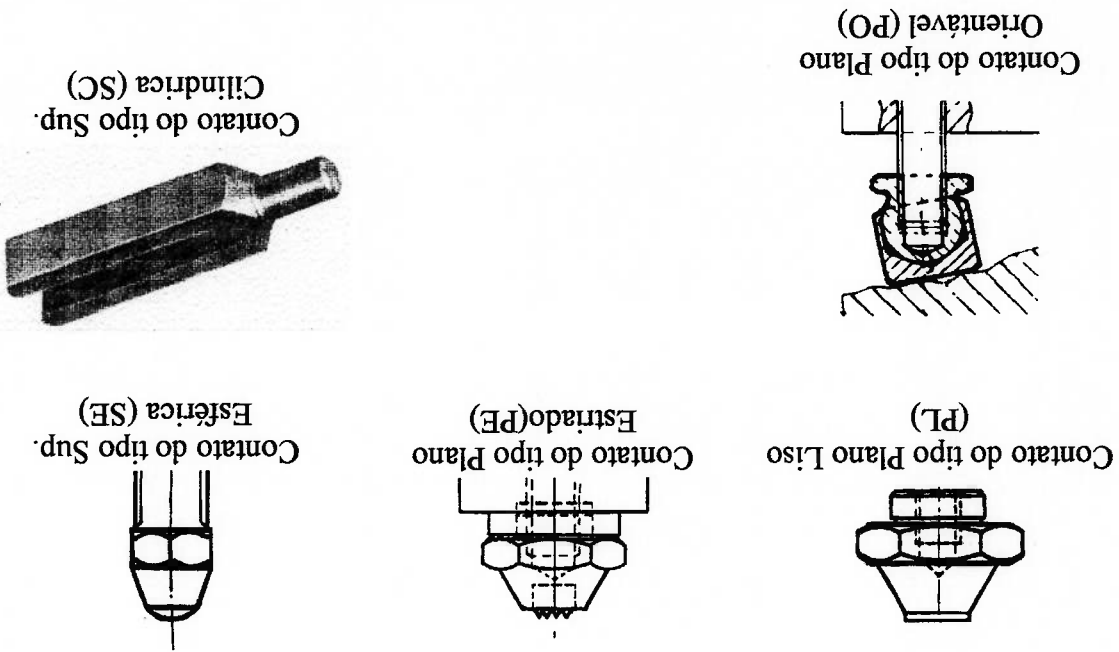


Figura 29 Campo 2, tipos de superfície de contatos entre os elementos de fixação e a peça.

Para que seja possível a referência a certas características dimensionais dos elementos é necessário que seja introduzido a definição de um ponto particular ao qual será atribuída a denominação de *ponto de contato*.

Por definição *ponto de contato* é um ponto sobre a superfície de contato do elemento, seja ele localizador ou elemento de fixação, que é o centro da circunferência que circunscribe a área de contato.

Por exemplo, para o grampo redondo da Figura 30 o ponto de contato se encontra no meio da distância cotada por L_2 , (isto admitindo-se que todo comprimento L_2 será utilizado quando da aplicação do elemento), este ponto será o ponto de referência do elemento

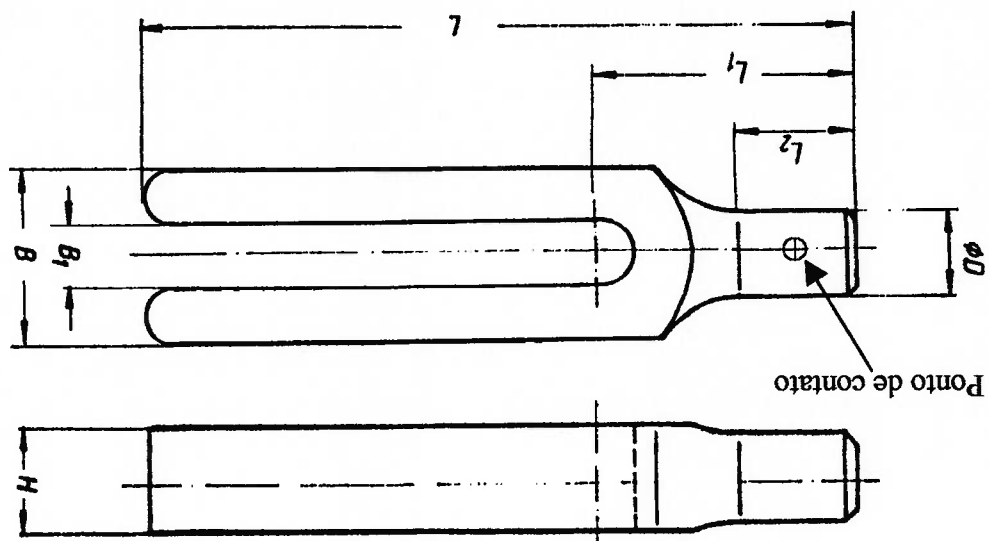


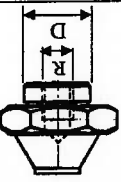
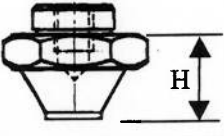

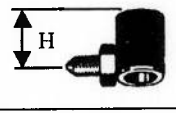
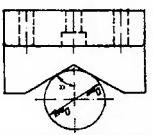
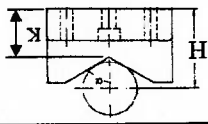
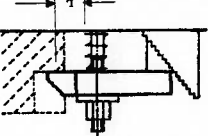
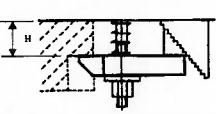
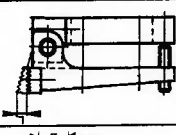
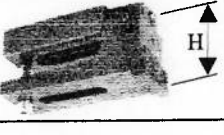
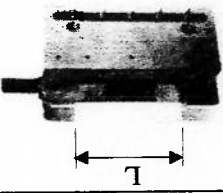

Figura 30 Grampo redondo mostrando o ponto de contato.

No caso dos elementos que possuem duplo ponto de contato como os entalhes em “V” e os elementos auto centrantes o ponto de contato se localizará, no ponto médio do vértice do entalhe em “V” e no ponto médio do eixo de simetria no caso dos elementos auto centrantes.

Definido o ponto de contato, pode-se tratar das dimensões características de cada elemento, que são objetos do campo 3 e 4. A dimensão apresentada varia conforme o

elemento que está sendo analisado a Tabela 3 a seguir apresenta o significado desta característica.

Tabela 3 Significado dos campos 3 e 4.

CAMPO 4		CAMPO 3		Função
Significado	Local	Significado	Local	
Indica o diâmetro do encaixe e a rosca para fixação		Indica o valor da cota "H"		LV
Indica a distância "L" mínima/máxima entre o ponto de contato e o corpo do dispositivo		Indica o valor da cota "H"		LH
Indica D_{min}/D_{max}		Indica o valor de $H = K + R$ sencc		LEV
Indica a distância "L" mínima/máxima entre o ponto de contato e o corpo do dispositivo		Indica o valor Mínimo / Máximo para a cota "H"		SV
Indica o curso máximo de fechamento do mordente		Indica o valor da cota "H" entre a base e o ponto de contato		SH
Indica o valor máximo da cota "L"		Indica o valor da cota "H" entre a base e o ponto de contato		SAC

O campo 5 descreve a zona de segurança ou seja uma área que é ocupada pelo localizador ou pelo elemento de fixação, neste campo deve aparecer não só o formato desta área, como também sua dimensão.

A zona de segurança é uma projeção do elemento sobre a superfície da peça, na região onde ocorre o contato entre ambos, ela representa uma área mínima necessária para a

Para determinação deste volume, define-se um sistema de coordenadas, aqui denominado *sistema de referência do elemento*, cuja origem está no ponto de contato e cuja as orientações dos eixos seguem a seguinte regra:

que faça parte do dispositivo.

Enquanto o campo 5, define a área mínima necessária para a montagem do elemento, o campo 6 define o chamado volume de segurança que é o volume ocupado pelo elemento e que, portanto não pode ser ocupado pela ferramenta ou por qualquer outro elemento que faça parte do dispositivo.

No caso específico de áreas retangulares em elementos de sujeição, deve-se indicar as dimensões do retângulo de forma que o segundo número também indique que lado do retângulo deve ser paralelo a aresta externa da peça⁵. No caso do grampo da Figura 30, por exemplo o campo 5 de seu código teria o seguinte valor: "R (L₂ x D)", apesar do contato deste grampo com a peça se dar na forma de uma linha, a zona de segurança é um retângulo pois ela representa a projeção do elemento sobre a superfície de contato e o lado de dimensão "D" é o lado que deve ser paralelo a aresta externa da peça.

• R → para área retangular.

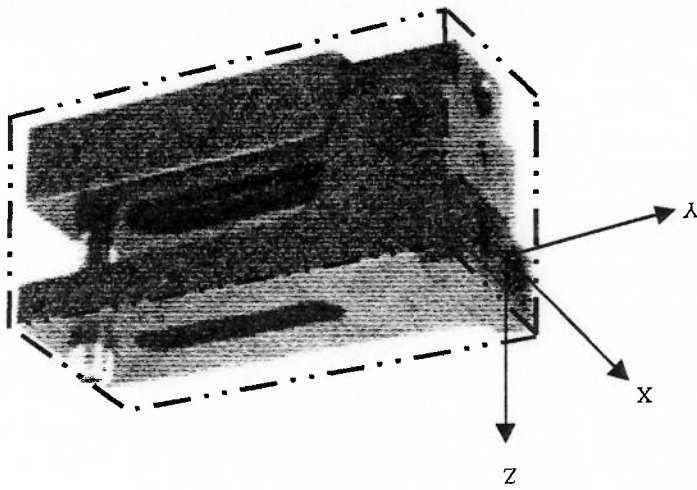
• Q → para área quadrada;

• C → para área circular;

pode seguir a seguinte codificação:

colocação do elemento sobre a face da peça e a representação de sua forma geométrica,

Figura 31 Um elemento de sujeição horizontal (SH), mostrando o sistema de coordenada com origem no ponto de contato e o volume de segurança para este elemento.



cubo, paralelepípedo), que envolvam completamente o elemento

O volume de segurança será o volume de um ou mais sólidos básicos (esfera, cilindro,

$$\vec{x} \times \vec{y} = z$$

X ou Y podem ser adotadas livremente, desde que respeitado o produto

simetria do elemento com relação ao ponto de contato, as orientações de

• No caso de indefinição sobre a orientação de X e Y em função da perfeita

• O eixo X será tal que: $\vec{x} \times \vec{y} = z$;

maior parte da peça esteja do lado negativo de "Y";

• O eixo Y será paralelo a maior aresta da base e terá um sentido tal que a

e que aponta para a parte superior do elemento;

• O sentido positivo do eixo Z será coincidente com o vetor normal a base

• O plano XY será o plano da base do elemento;

O campo 7 define um vetor que deve sempre ser perpendicular a zona de segurança e apontar para a peça, ele indica a direção de aplicação da força (ou reação no caso dos localizadores), do elemento.

Os componentes de um sistema modular de fixação podem ser empilhados para que seja possível a obtenção de um variado campo de dimensões, este empilhamento, se faz encaixando-se convenientemente as peças necessárias. O ponto de cada elemento onde ocorre esta montagem, é objeto do campo 8, neste campo aparece as coordenadas (referidas ao ponto de contato) do ponto característico onde ocorre a conexão entre os elementos. A utilidade deste ponto surge quando existe a necessidade de empilhamento de elementos, nesta situação o conhecimento do ponto de montagem permite relacionar de forma adequada os volumes de segurança e as dimensões características de cada um dos elementos que fazem parte do empilhamento.

Para peças que se unem através de um encaixe macho-fêmea, (que é a maioria dos encaixes existentes nos sistemas modulares de fixação), o ponto de montagem se localiza na interseção do eixo de simetria do elemento de encaixe com a face de contato conforme pode ser visto na Figura 32

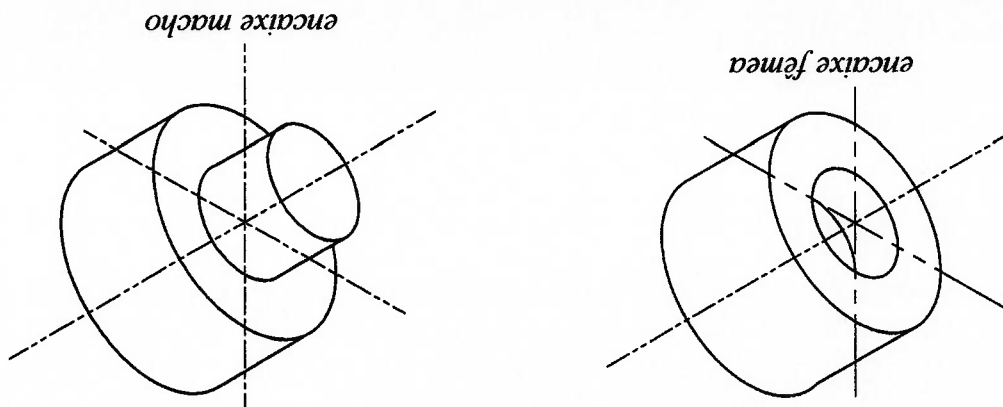
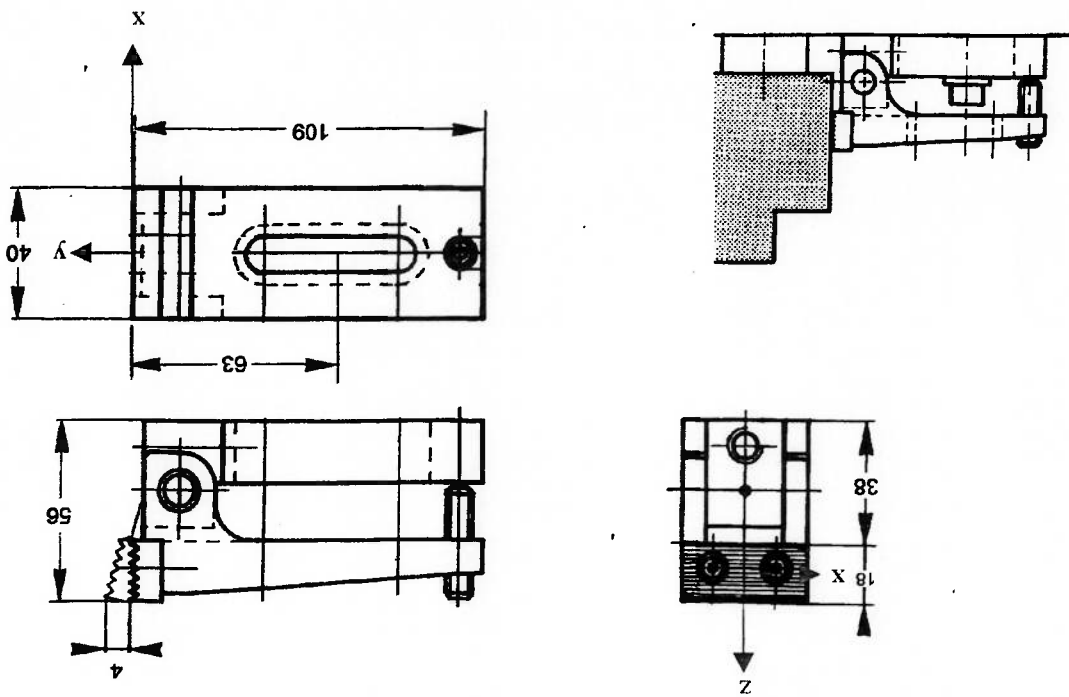


Figura 32 O encontro das linhas de centro determina o ponto de montagem.

Segundo estas regras o sujeitador horizontal da Figura 33 terá como informações no

Estes campos são os mínimos necessários para possibilitar uma correta escolha destes elementos. Para completar a especificação do dispositivo de fixação é necessário ainda a seleção dos elementos de base e dos elementos auxiliares.

Figura 33 Sujeitador horizontal



1	função	SH
2	forma de contato	PE
3	dimensão característica 1	47
4	dimensão característica 2	4
5	zona de segurança	R 18 x 40
6	volume de segurança	box (20,0,9) (-20,-109,-47)
7	vetor normal	0,1,0
8	Ponto de montagem	0,-63,-47

Tabela 4 Campos de informação para o sujeitador horizontal da Figura 33.

Banco de Dados o seguinte:

4.2.1.2 Elementos de base e auxiliares

Os elementos de fixação são fixados em bases ou blocos, pode-se classificar estas bases ou blocos baseando-se nas seguintes características:

- **Aplicação;** neste caso distingue-se três tipos: a base horizontal (BH) em que o plano de apoio da base é paralelo ao plano de fixação dos acessórios e a base vertical (BV) em que o plano de apoio é perpendicular ao plano de fixação dos acessórios e o bloco (BL), que é normalmente montado sobre uma base e serve como calço para regulagem de altura ou para possibilitar a localização de um plano primário⁶ em uma posição perpendicular a base;

- **Forma e Dimensão;** que indica o formato e as dimensões da face de fixação dos elementos as base podem ser Circulares (C), Quadradas (Q) ou Retangulares (R), no caso dos blocos a forma é indicada pela letra "P" (de prismático) e a dimensão por três números que indicam as três dimensões;

- **Passo;** que define a distância entre as linhas e colunas de furos

- **Rosca / Encaixe;** que define o diâmetro do furo de encaixe e a rosca disponível para fixação dos elementos.

Estas características constituirão os cinco campos que serão associados a cada elemento, assim, a base da Figura 34 que é uma base horizontal, circular de diâmetro 400 mm,

⁶ Plano primário é um plano onde são montados três localizadores não alinhados de tal forma a eliminar 5 graus de liberdade de um corpo sólido (1 translação e 4 rotações) segundo o princípio 3,2,1

com distância entre linha e colunas de furos de 40 mm, rosca para fixação dos acessórios M12 e encaixe diâmetro 12 mm, terá os seguintes campos de informações:

Campos de Informação	Campos	Forma e Dimensão	BH
Campos 1	Campos 2	C / 400	
Campos 4	Campos 3		
Rosca / Encaixe	Passo		
M12 / 12	40		

Tabla 5 Campos de informação para a base da Figura 34

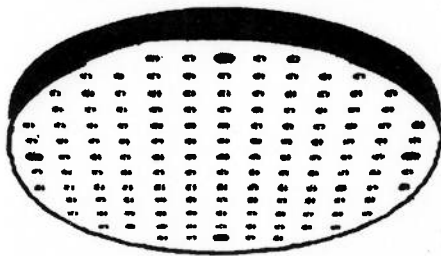


Figura 34 Base circular

No grupo dos elementos auxiliares, encontra-se uma grande variedade de elementos,

como artueas porcas de fixação, punhos , manípulos, espagadores, suportes universais,

réguas, molas de sustentação, calços, etc...

Estes elementos têm sua seleção condicionada primeiramente a seleção dos elementos

principais (localizadores, sujetadores e bases) e por

isto normalmente na fase de montagem física do

dispositivo é que se seleciona os elementos auxiliares.

No entanto alguns destes elementos auxiliares,

merecem destaque pois montados juntamente com

localizadores ou sujetadores, criam unidades

funcionais, que nada mais são do que um conjunto de

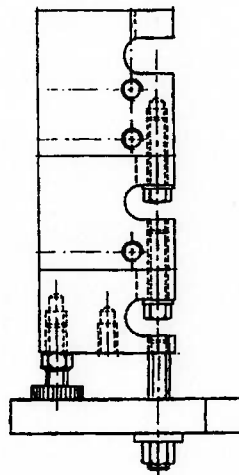
elementos que quando montados juntos desempenham

uma função única, por exemplo, podemos montar um

grupo com diversos calços de altura e o conjunto assim formado se presta para a

função de sujetador vertical conforme mostra a figura 35.

Figura 35 Unidade funcional sujetador vertical



Os principais elementos utilizados na montagem das unidades funcionais, além dos já apresentados, podem ser vistos na Figura 36.

Os calços, são utilizados para modificar a altura do sujeitador, através do empilhamento destes calços é possível obter a altura desejada.

Já os suporte universais, são utilizados quando há a necessidade de posicionar um elemento em um local em que não exista um furo de fixação na base, o que ocorre comumente quando a distância entre os elementos tem que ser maior ou menor do que aquela permitida pelo passo da base a Figura 36 item (e) ilustra este caso.

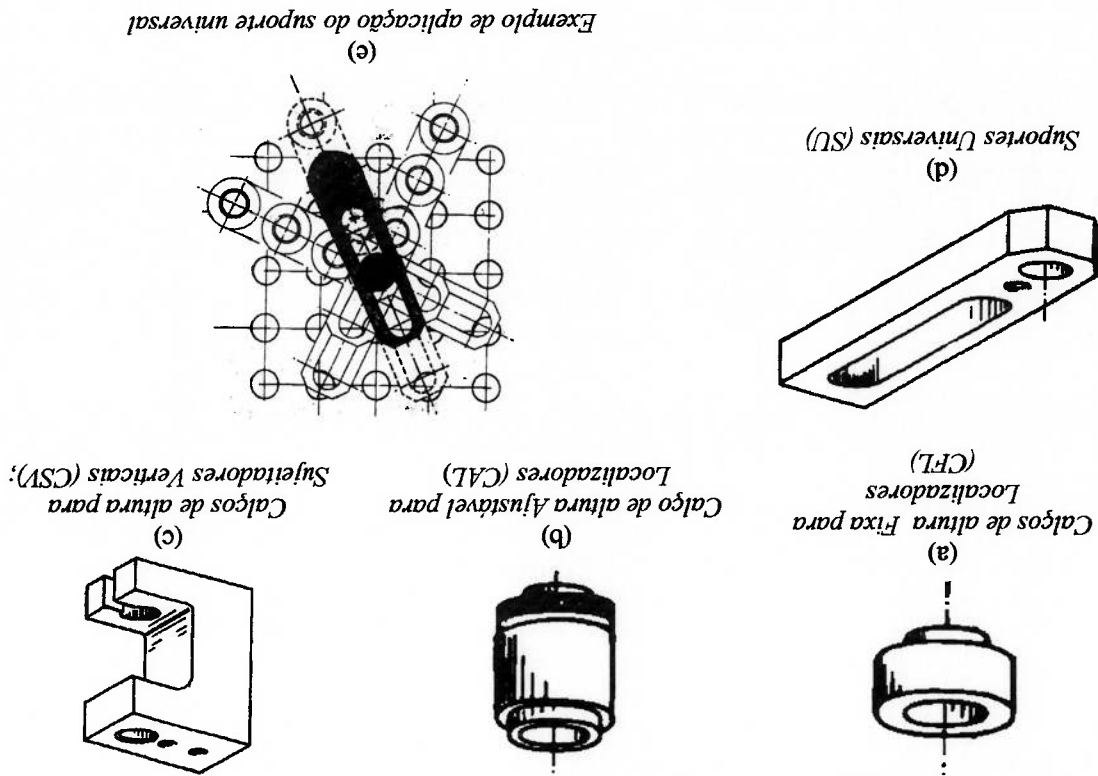


Figura 36 Principais elementos auxiliares.

Para conveniente seleção destes elementos auxiliares, também se faz necessário a criação de campos de informação, neste caso, 5 campos são suficientes para bem caracterizar estes elementos a Tabela 6 apresenta-os.

1	função	altura	20	CFL
2	altura	dimensão do encaixe	12	
3	dimensão do encaixe	ponto de montagem	(0,0,-20)	
4	ponto de montagem			
5	volume de segurança			CIL R15 (0,0,0) h-20

Tabla 6 Campos de informaçõs associadas aos elementos auxiliares

O campo 1 segue a mesma regra vista anteriormente e os códigos possíveis de serem utilizados neste campo são os apresentados na Figura 36, o campo 2 define o valor da altura destes elementos, no caso dos calços de altura ajustáveis para localizadores (CAL), neste campo deverá aparecer a altura mínima / máxima destes calços. O campo 3 apresenta a dimensão do encaixe, no caso dos calços de altura para sujeitadores verticais (CSV), neste campo aparecerá a dimensão da rosca existente neste calço. Os calços são elementos que podem ser empilhados e por isto possuem dois pontos de montagem, a localização destes pontos seguem as mesmas regras vistas anteriormente (página 72, Figura 32), com a diferença de que no caso dos calços a origem do sistema de coordenada é um dos pontos de montagem e no campo 4 aparece as coordenadas do segundo ponto de montagem, no caso dos suporte universais (SU) neste campo aparece o valor do raio mínimo/máximo da localização do ponto de fixação do suporte, com relação ao ponto de encaixe (que é a origem do sistema de coordenadas), como pode ser visto na Figura 37.

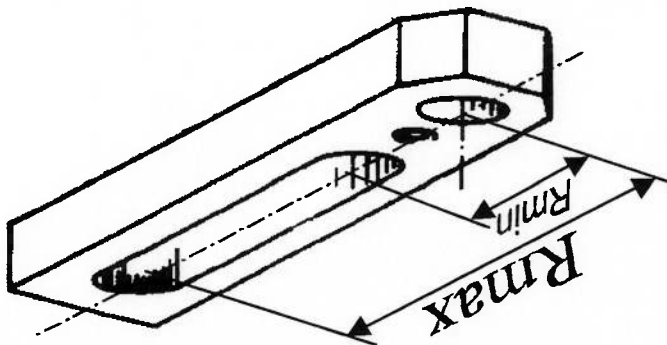
A seleção de bases normalmente é feita levando-se em conta características construtivas da máquina onde a base será aplicada, desta forma para fresadoras horizontais as bases indicadas são as bases indicadas, assim como em fresadoras verticais as bases indicadas são as

4.2.2.1 Bases e elementos auxiliares

4.2.2 Critérios de seleção para os elementos de fixação

Finalmente o campo 5 define o volume de segurança que também segue as mesmas regras já expostas anteriormente (Página 70), com a diferença que a origem do sistema de coordenada, como já citado no parágrafo anterior, é um dos pontos de montagem. Os campos de informação apresentados, são os mínimos necessários para que se possa realizar uma conveniente seleção dos elementos que irão compor o dispositivo de fixação. Para a realização desta seleção, deve-se criar uma relação entre uma dada aplicação e os campos de informações criados. Esta relação será apresentada a seguir.

Figura 37 Suporte Universal mostrando onde se obtém o campo 4 de informação deste tipo de elemento.



- Os Localizadores Horizontais (LH) e os Sujeitadores Horizontais (SH), possuem o plano de fixação paralelo ao plano que contém o ponto de contato;
- Os Localizadores Verticais (LV) e os Sujeitadores Verticais (SV), obrigatoriamente em conta que:
 - podem ser fixados na base quais podem ser fixados no bloco e para isto deve-se levar Como critério para esta pesquisa deve-se primeiramente selecionar quais elementos adequada para a fixação dos elementos.
 - características de base e ambas devem ser pesquisadas para se definir qual a mais Quando da utilização dos blocos, passa a existir no dispositivo duas superfícies com mais próximo das ideais.
 - passo da base, ao se selecionar blocos procura-se por um, cujas dimensões estejam o idealmente ser igual a dimensão da superfície que irá apoiar sobre ele mais duas vezes o compatíveis com as dimensões da base e a dimensão de sua face de apoio, deve são escolhidos tendo como primeiro critério possuir as dimensões do encaixe elementos devam ser calçados e a altura deste calço é maior ou igual a altura do bloco, deve ocupar uma orientação perpendicular ao plano da base, ou nas situações em que os Já os blocos, que são empregados quando o a superfície escolhida como plano primário realização do planejamento da fixação.
 - da fixação, antes disto é uma condição de contorno que deve estar definida quando da seleção de bases normalmente não é uma tarefa a ser atribuída a fase de planejamento dimensão da base e as dimensões de encaixe já estão definidos, portanto a normalmente se seleciona a maior base que pode ser adaptada à mesa, selecionada a horizontais. As dimensões das bases são função das dimensões das mesas das máquinas,

obrigatoriamente devem possuir o plano de fixação perpendicular ao plano que contém o ponto de contato;

Se um elemento puder ser fixado tanto na base como no bloco, seleciona-se o local que exigir o menor calço.

No caso dos elementos auxiliares sua seleção é função dos elementos de sujeição e localizadores que serão aplicados, portanto eles são selecionados como complementos. Normalmente os critérios de seleção se baseiam no tipo do elemento auxiliar (campo 1), na altura (campo 2) e nas dimensões do encaixe (campo 3).

Mas, sem dúvida o foco da seleção dos elementos a ser feita pelo planejamento da fixação é a seleção dos elementos localizadores e os de sujeição. Para isto será apresentado a seguir, regras básicas a serem seguidas para seleção dos campos dos elementos localizadores e de sujeição.

4.2.2.2 Critérios de seleção para localizadores e elementos de sujeição

O campo 1 destes elementos, define a função que o elemento pode assumir no dispositivo, portanto sua seleção dependerá da aplicação desejada não existindo nenhum critério especial para sua definição.

Já o campo 2 está relacionado com a superfície existente na peça, pode-se atribuir a cada tipo de superfície uma indicação como mostra a Tabela 7, para cada superfície da peça há um tipo de contato que se adapta melhor e os contatos possíveis de serem utilizados podem ser classificados por ordem de preferência.

O campo 3 de informação dos elementos de sujeição e localizadores normalmente é escolhido de forma iterativa primeiramente deve-se tentar, que seu valor seja menor ou igual a distância existente entre o ponto de contato na peça e a base do dispositivo. Isto para garantir a possibilidade de montagem, pois sendo o campo 3 menor que a distância entre o ponto de contato e a base do dispositivo, é possível, com a utilização de calços montar o elemento, mas caso não seja possível encontrá-lo nesta dimensão, escolhe-se o menor possível e depois que todos os elementos estiverem sido selecionados, especifica-se calços para realizar a devida compensação.

Como o campo 4 tem significado diferente dependendo do elemento, como pode ser visto na Tabela 3 página 69, seu critério de seleção também variará conforme o elemento que estiver sendo especificado a Tabela 8 apresenta os critérios a serem utilizados.

PL = Plano liso; PE = Plano estrado; SC = Superfície cilíndrica; SE = Superfície Esférica; PO = Plano orientável

Forma do contato		1ª escolha	2ª escolha	3ª escolha	4ª escolha
Tipo de superfície da peça	Superfície plana acabada	PL	PE	SC	SE
	Superfície plana em bruto	PE	SE	PL	SC
	Superfície côncava em bruto ou acabada	SC	SE		
	Superfície convexa em bruto ou acabada	SE	SC	PO	
	Superfície esférica em bruto ou acabada	SE	SE	PO	

Tabela 7 Relação entre o tipo de superfície da peça e o tipo de contato do elemento de fixação.

estrutura sugerida e a seguir as principais tarefas serão descritas.

configurar sua montagem. Inicialmente será apresentado o funcionamento básico da as principais tarefas necessárias para que além de selecionar os elementos possa-se elementos que irão constituir o dispositivo de fixação. Na sequência serão apresentadas Desta forma esta criada as condições necessárias para uma correta seleção dos exclusão e mesmo com outros elementos já selecionados.

um, que seja adequado em termos de não causar interferência com os volumes de (1,2,3,4 e 5) atendam aos requisitos exigidos, utiliza-se os campos 6, 7 e 8 para encontrar outro elemento do dispositivo. Assim, tendo-se um elemento cujos os campos anteriores verificação da interferência do elemento com o volume de exclusão, ou mesmo com já os campos 6, 7 e 8 são campos que apresentam indicações a serem utilizadas na livre existente na região do ponto de contato.

deve-se selecionar elementos cuja a área definida no campo 5 seja menor ou igual a área O campo 5 define qual a área que o elemento ocupa sob a superfície da peça, portanto

LV = Localizador Vertical; LH = Localizador Horizontal; LEV = Localizador com entalhes em "V"; SV = Sujeitador Vertical; SH = Sujeitador Horizontal; SAC = Sujeitador Auto Centrante

ELEMENTO	CRITÉRIO PARA ESPECIFICAÇÃO DO CAMPO 4
LV	Deve ser igual ao encaixe existente na base selecionada
LH	Se o localizador é vizinho a um volume de exclusão, o valor do campo 4 deve ser tal que permita que o corpo do elemento se distancie de 10 mm do volume de exclusão, caso contrário o campo 4 deve assumir o menor valor possível para o elemento.
LEV	E função do raio da superfície cilíndrica a ser apoiada
SV	Deve ser maior que a menor distância, entre o ponto de contato da peça e a aresta externa, que faz parte da superfície onde está o ponto de contato.
SH	Neste elemento este campo não serve como critério de seleção
SAC	Deve ser maior que a dimensão da peça a ser fixada entre mordentes

Tabla 8 Critério de seleção para o campo 4 de informação dos localizadores e elementos de sujeição.

4.3 O funcionamento básico da estrutura para planejamento da fixação

Na solução idealizada, tudo se inicia com a conveniente seleção de uma "feature" da matriz de remoção, como pode ser visto na Figura 38, após esta seleção deve-se encontrar todas as "features" que possam ser usinadas na mesma montagem com a "feature" inicial.

Encontradas todas as "features", deve-se gerar um modelo da matéria prima associado com as zonas de exclusão relativa a cada "feature", de forma a ser possível identificar quais regiões podem ser utilizadas para a colocação dos elementos do dispositivo de fixação.

A próxima etapa é a de definição do dispositivo e é partir desta fase que os desenvolvimentos devem ser feitos tendo como limitantes o domínio de aplicação idealizado.

Através de regras apropriadas para o domínio de aplicação, busca-se encontrar espaço na peça para colocação dos elementos do dispositivo de fixação e caso não se encontre estes espaços, remove-se sequencialmente as "features" que estejam interferindo, até que se encontre uma configuração que satisfaça todos os requisitos da fixação. Encontrada esta situação estará estabelecido quais as "features" poderão ser removidas e qual é a configuração do dispositivo de fixação necessário.

O passo seguinte é o de analisar se as forças de fixação empregadas e as disposições dos localizadores, não propiciarão deformação inaceitável da peça, caso isto se verifique, devem ser providenciados suportes para a configuração e se os suportes interferirem com a usinagem, procedimento idêntico ao descrito anteriormente deve ser tomado ou

seja, eliminação da "feature" que está interferindo. Resolvido estas situações, estará definida um conjunto de "features" que podem ser usadas e as condições para tal. Na sequência se ainda existirem "features" para remover reinicia-se todo processo, até que não exista mais detalhes a usar. A seguir as principais tarefas desta estrutura serão descritas.

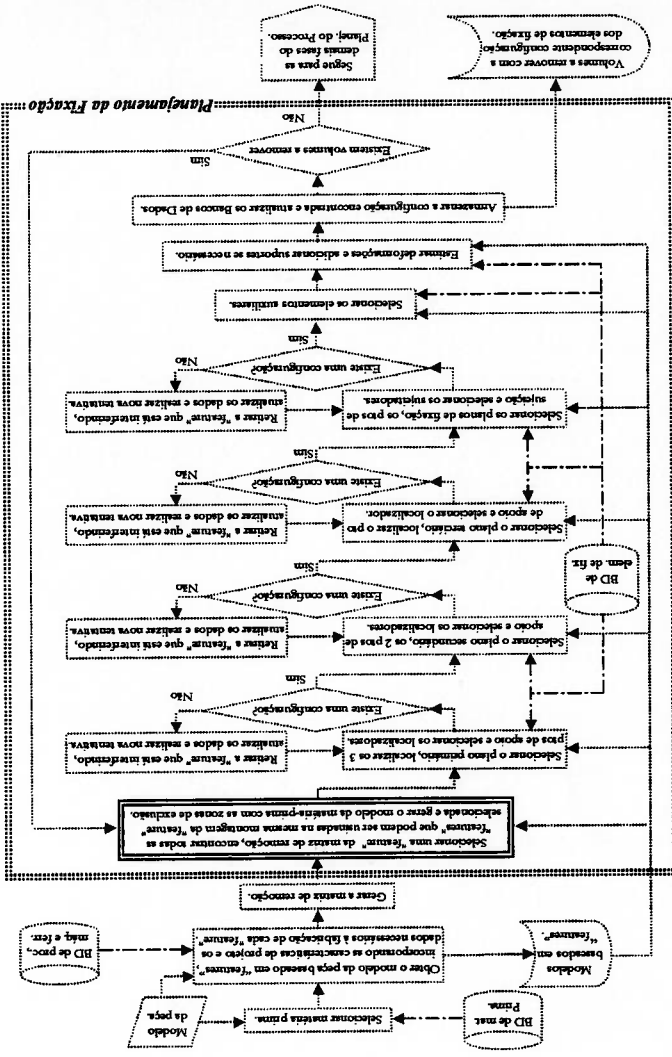
4.3.1 Seleção das "features" candidatas a serem usadas

Para seleção da primeira "feature" imagina-se a utilização de regras heurísticas, que são expressas na forma dos seguintes quesitos:

1. A primeira "feature"
2. Dentre as "features"

independentes a escolhida deve ser aquela que apresenta o maior número de dependentes;

Figura 38 A estrutura proposta salientando a tarefa de seleção das "features" a serem usadas



3. Entre "features" com o mesmo número de dependentes será escolhida a que for paralela e/ou perpendicular a superfície com menor desvio de forma na matéria prima ou aquela que possua sua face de referência já usinada na matéria prima

4. Se não for possível definir a "feature" aplicando-se os quesitos até o item 3, será escolhida a que gerar na peça a maior área usinada;

5. Entre "features" que geram a mesma área usinada na peça será escolhida a "feature" que propiciar a remoção do maior volume de material;

6. Se existirem "features" que coincidam em todos os quesitos até o item 5, será escolhida a "feature" que possuir o menor número de orientações da peça para sua usinagem

7. Se após as verificações dos seis critérios anteriores ainda existir indefinição sobre qual a "feature" deve ser escolhida, deve-se desenvolver todas as tarefas para cada uma das "features" que empataram até o quesito 6 e posteriormente selecionar uma das soluções, sendo escolhida a solução com o menor número de montagens.

Os quesitos de escolha apresentados anteriormente se justificam, o quesito número 1 por exemplo é fundamental, não é possível selecionar uma "feature" que possua qualquer tipo de dependência pois mesmo que seja possível encontrar uma montagem conveniente a "feature" estará impedida de ser usinada em função de sua dependência tecnológica.

Dentre as "features" independentes apresenta maior vantagem em ser escolhida aquela

que possui maior número de "features" dependentes, pois quando usinada, possibilita uma maior variedade de "features" a serem acrescentadas à montagem.

Se existir mais de uma "feature" com o mesmo número de dependentes é mais racional escolher aquela que já possua faces de referência de boa qualidade, pois isto tende a minimizar a propagação de erros de locação e aumenta a probabilidade de se encontrar uma montagem de dispositivo adequada.

Caso, após a análise dos quesitos de 1 a 3 ainda persista "features" empatadas o próximo critério de decisão será a de escolher a "feature" que quando usinada deixa na peça a maior área possível isto porque quanto maiores forem as faces disponíveis, menores serão os erros de locação na próxima montagem.

E na sequência se ainda não foi possível selecionar uma única "feature" deve-se escolher aquela que representa o maior volume de remoção de material, pois grandes remoções implicam em geração de esforços na peça que tendem a deformá-la assim quanto mais cedo as grandes remoções forem feitas, maior será a resistência da peça para suportá-la e menor a probabilidade de acontecerem deformações em superfícies já acabadas.

Se após o quesito 5 ainda existirem "features" empatadas deve-se selecionar aquela que possui o menor número de possibilidade de orientação da peça, para sua usinagem, pois assim, aumenta-se a probabilidade de se encontrar nas demais "features" (que possuem maior número de orientações possíveis), parcerias para usinagem na mesma montagem.

E ao final de todos os quesitos se ainda não foi possível identificar uma única "feature", deve-se desenvolver o planejamento da fixação para todas as "features" que chegaram empatadas até o quesito 7 e selecionar a solução que propiciar o menor número de

montagens para a confecção completa da peça, se até nesta última análise houver

empate, todas as soluções empatadas são soluções válidas e podem ser utilizadas.

Se nenhuma "feature" satisfizer o quesito 1 é porque não é possível a fabricação da

peça.

Selecione a primeira "feature", o próximo passo é encontrar todas as "features" que compõem a peça e que obrigatoriamente possuam a mesma máquina, mesma orientação para usinagem, que a "feature" inicial e que sejam independentes ou em sendo dependente, estas "features" só podem ser agregadas se as "features" que geram sua independência também puderem ser selecionadas nesta fase.

Como a "feature" inicial, pode possuir mais de uma possibilidade de processo de fabricação (mais de um par máquina – orientação), deve-se para cada processo, selecionar as "features" que estejam de acordo com ele, e o processo a ser escolhido é o que apresentar o maior número de "features" com processo coincidente.

Se mais de uma direção possuir o mesmo número de "features" possíveis, deve-se:

- Somar o número de "features" dependentes de cada uma das "features" selecionadas. A direção escolhida será aquela que possuir a maior soma;

- Persistindo o empate calcula-se a área de cada "feature", e neste caso a direção escolhida será a que possuir a maior soma das áreas;

- Se ainda houver indefinição pode-se escolher livremente qualquer uma das direções que empataram até este quesito.

Selecione o processo, a orientação da peça e as "features" a serem removidas, e

Na estrutura proposta, primeiramente se encontra o plano primário e os elementos necessários a sua localização, depois o plano secundário e finalmente o plano terciário,

Nesta técnica há a necessidade de se definir três planos ortogonais entre si e alguns pontos sobre estes planos (três pontos no plano primário, dois pontos no plano secundário e um ponto no plano terciário). Estes pontos serão utilizados para aplicação dos localizadores que garantam a orientação e o posicionamento da peça.

(1984)), entre outros.

Para peças prismáticas planas, a técnica mais adequada de orientação e posicionamento é a preconizada pelo princípio 3-2-1, já apresentada de forma sintética no capítulo 2, estando fartamente documentada em diversos trabalhos (ROSSI (1971), DONALDSON *et al* (1973), POLLACK (1976), BARSOV (1978), HOFFMAN (1984) e RAMSAY

4.3.2 Orientação e posicionamento da peça

Dispondo-se de todas estas informações, é possível a busca por uma configuração dos elementos de fixação, esta configuração deve garantir a correta orientação e posicionamento da peça bem como permitir que a peça resista a todos os esforços a ela aplicados, garantindo assim sua imobilização.

para a colocação dos elementos do dispositivo de fixação. resultado serve para indicar quais regiões da peça estão livres, para serem utilizadas subtraídos os volumes de exclusão correspondentes a cada "feature" a ser usinada, o construção deste modelo, o ponto de partida é o modelo da matéria prima do qual são possível a geração do modelo da matéria prima com as zonas de exclusão. Para

a seguir apresenta-se maiores detalhes sobre como proceder para a realização da

orientação e posicionamento da peça.

4.3.2.1 Obtenção do plano primário e seus localizadores

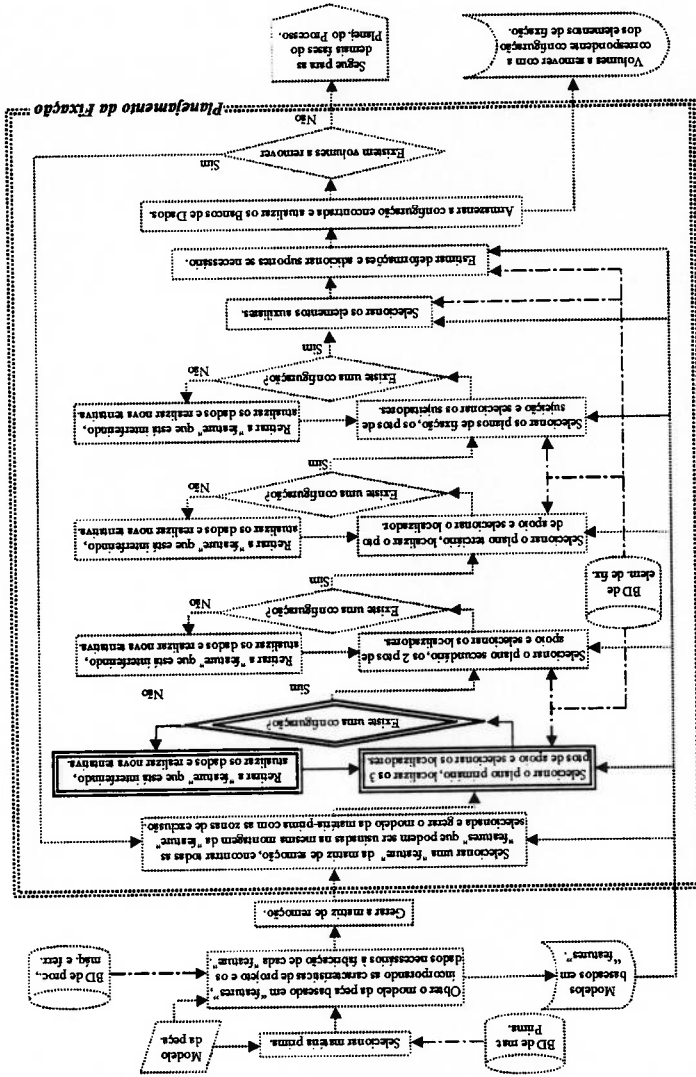


Figura 39 A estrutura proposta salientando o grupo de tarefas necessárias para *definição do plano primário e seus localizadores*

Como resultado da tarefa anterior, dispõe-se de informações a respeito de que "features" deverão ser usadas, em que máquina, com qual processo, quais as ferramentas, e qual

a orientação da peça necessária.

Com isto pode-se, para selecionar o plano primário, adotar o seguinte procedimento:

A escolhida será a que possuir o maior área líquida, em caso de mais de uma face possuir a mesma área líquida terá preferência a face que possuir o maior número de "features" dependentes dela por referência, persistindo a indefinição a escolhida será a que possuir o menor desvio de forma, se ainda persistir a indefinição terá prioridade para ser a face primária as que se encontrar na seguinte situação por ordem:

1. a face que está apoiada sobre a mesa;

2. a face que é perpendicular a mesa;

3. a face que não está voltada para a região de carga/descarga da peça do

dispositivo.

Na busca pela plano primário, em virtude da necessidade existente de se posicionar no mínimo três localizadores sob a superfície, deve-se procurar a superfície com a maior área possível, das restantes, aquela que é a mais adequada para se constituir na primária é a que apresenta o maior número de dependentes por referência, pois ao se utilizar como superfície de apoio um elemento que é referência de posicionamento se contribui para diminuição da propagação de erros. Pelo mesmo motivo são feitas as escolhas subsequentes, finalmente dá-se preferência para que a seleção da superfície primária recaia sobre uma face que melhore a acessibilidade do operador ao dispositivo.

Selecionada a face é necessário encontrar-se os pontos onde os localizadores farão contato com a peça, estes pontos devem ser os mais distantes possíveis entre si para garantir uma menor propagação de erros da superfície.

Para se encontrar os três pontos que satisfazam as exigências enunciadas acima, uma

alternativa é:

1. obter a forma da superfície primária levando-se em conta a existência das zonas de exclusão e identificar todas as suas arestas;

2. localizar todas as circunferências que são tangentes a duas arestas consecutivas, que são tangentes aos pontos médios das arestas e cujos raios são iguais ao raio da circunferência que circunscribe a figura definida pela zona de segurança (campo 5) ocupado pelo maior localizador existente no Banco de Dados, estando a circunferência completamente no interior da superfície (conforme as circunferências em linha traço ponto da Figura 40).

No caso da existência de uma "feature" próximo aos vértices da superfície, deve-se localizar o centro da circunferência que seja tangente a "feature" e as arestas vizinhas a "feature" (conforme as circunferências pontilhadas da Figura 40)

3. O centro das circunferências são os potenciais pontos a serem ocupados pelos localizadores, para definir os três selecionados, deve-se verificar todos os triângulos possíveis de serem traçados por estes pontos.

O triângulo selecionado será aquele que:

- Possuir a maior área
- Existindo mais de um triângulo que satisfaça as condições anteriores

deve-se escolher o triângulo que apresentar menor distância entre o centro de gravidade da matéria prima e o seu baricentro.

O contorno em linha grossa representa as arestas da superfície primária levando-se em conta a existência das zonas de exclusão, as circunferências traçadas são as que podem ser traçadas nos vértices do polígono e nos pontos médios das arestas, a circunferência traço-ponto não pode existir em função do furo próximo a este vértice, neste caso ela foi substituída pelas circunferências tangentes pontilhadas que são tangentes a "feature" e as arestas do polígono.

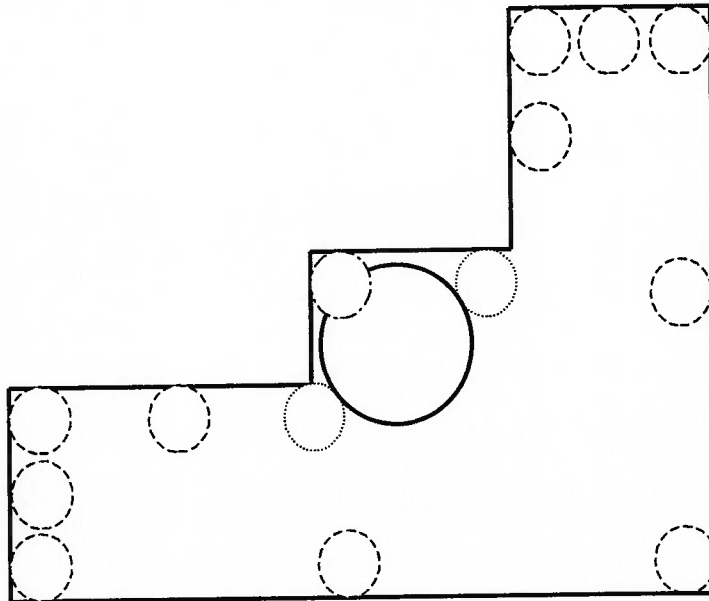


Figura 40 Representação da localização dos potenciais pontos de apoio na superfície primária

Caso não seja possível encontrar um triângulo, nesta face, deve-se primeiramente repetir o procedimento descrito acima utilizando-se o menor localizador existente no Banco de Dados como base para obtenção do raio das circunferências tangentes, caso não se encontre o triângulo mesmo assim, exclui-se sequencialmente "features" até que seja possível a existência desta condição. As candidatas a serem retiradas são as que melhor obedecerem na sequência, as seguintes condições:

- as que possuem região em comum com a superfície primária;
- as que possuem mais de uma direção de usinagem para sua execução;
- as que possuem o menor número de "features" dependentes;
- as que possuem a maior área na região da superfície primária;

Como a "feature" interferente não é univocamente identificada neste procedimento,

existe a possibilidade de "features" sejam removidas "features" de forma incorreta, para sanar este defeito pode-se imaginar uma rotina que, após encontrada a configuração dos localizadores verifique uma a uma as "features" que foram removidas, se realmente elas interferem com a montagem. Encontrado os três pontos de apoio, deve-se agora selecionar os localizadores, para sua seleção serão utilizados os critérios já enunciados no item 4.2.2 na página 78, com as seguintes particularidades:

- Caso a superfície escolhida como plano primário possua uma orientação perpendicular ao plano da base, deve-se especificar um ou mais blocos, que servirão de apoio para os localizadores primários, estes blocos são escolhidos levando-se em conta dimensões de encaixe da base e que sua superfície de apoio deve possuir uma área maior que a superfície a ser utilizada como plano primário;
- No caso de utilização de blocos, o dispositivo passa a dispor de duas superfícies para fixação do elemento e ambas devem ser analisadas para se definir em qual o elemento se fixará (se na superfície do bloco ou na superfície da base propriamente dita);
- O campo 3, que define a altura do localizador a princípio pode assumir qualquer valor dos existentes;
- No caso de ocorrer interferência entre uma "feature" e o localizador, a "feature" deve ser removida;

- Se a interferência ocorrer entre os localizadores, deve-se procurar inicialmente no Banco de Dados localizadores que possuam o volume de segurança (campo 6) que não propiciem esta interferência, não se encontrando localizadores que satisfaçam esta condição deve-se sinalizar que existe a necessidade da execução de um localizador especial e continua-se o processo;
- Caso não existam "features" vizinhas ao ponto de contato, isto possibilita ao uso de localizadores cuja zona de segurança seja maior que a superfície livre entorno do ponto de contato.

Caso todas "features" tenham que ser removidas para possibilitar a existência da superfície primária, deve-se interromper o processo e sinalizar que a peça em questão é impossível de ser usinada.

4.3.2.2 Obtenção do plano secundário e seus localizadores

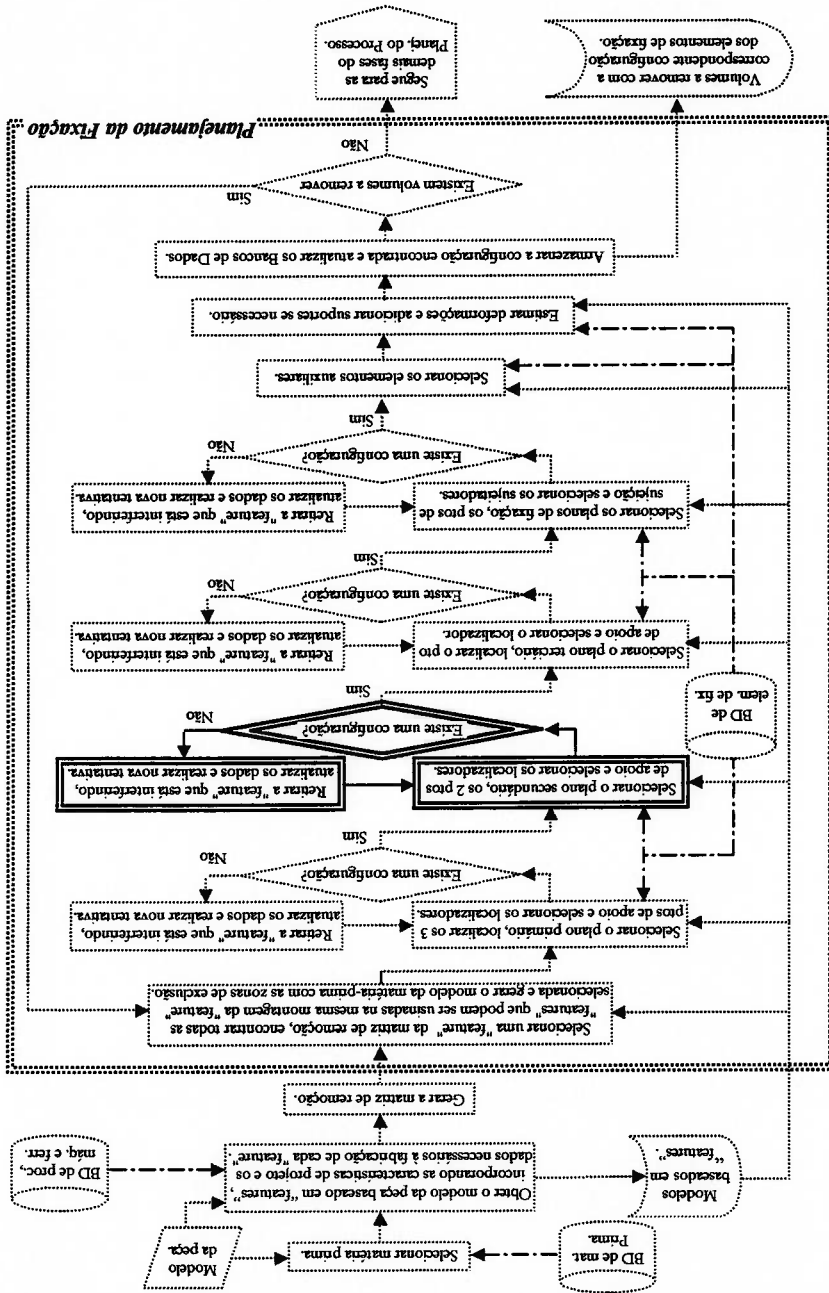
Definida a superfície primária com os correspondentes localizadores e necessário definir a superfície secundária, o procedimento é idêntico ao utilizado para a primária diferenciando-se apenas em alguns detalhes. O primeiro deles diz respeito a superfícies candidatas a secundária, obrigatoriamente a superfície secundária deve ser perpendicular a primária, portanto todas as que não satisfizerem esta condição já estão eliminadas.

Das restantes, todas que possuem área líquida, menor que duas vezes a área mínima ocupada por um localizador, também devem ser eliminadas.

Das faces não excluídas, a escolhida será a que possui o maior número de "features"

dependentes dela por referência, em caso de mais de uma face possuir o mesmo número de dependentes a escolhida recairá na face de maior área líquida, persistindo a indefinição

Figura 41 A estrutura proposta salientando o grupo de tarefas necessárias para a definição do plano secundário e seus localizadores



a escolhida será a que possuir o menor desvio de forma, se ainda persistir a indefinição terá prioridade para ser a face secundária a face que não esta voltada para a região de carga/descarga da peça do dispositivo.

As justificativas para os critérios acima são idênticos aos utilizados no caso da superfície primária.

Para obtenção dos pontos novamente realiza-se as mesmas etapas já enunciadas , com a diferença que para a superfície secundária são necessários dois pontos e não três como no caso anterior. Os pontos a serem selecionados são aqueles que estiverem o mais distantes um do outro e que não formem uma reta perpendicular ao plano primário.

Caso não seja possível encontrar dois pontos, nesta face, deve-se excluir sequencialmente "features" até que seja possível a existência desta condição. As candidatas a serem retiradas são as que melhor obedecerem na sequência, as seguintes condições:

- as que possuem região em comum com a superfície secundária;
- as que possuem mais de uma direção de usinagem para sua execução;

- as que possuem o menor número de "features" dependentes;
- as que possuem a maior área na região da superfície secundária;

Como a "feature" interterente também não é univocamente identificada neste procedimento, existe a possibilidade que durante as retiradas de "features" sejam

removidas "features" de forma incorreta, para sanar este defeito pode-se imaginar a mesma rotina utilizada anteriormente que, após encontrada a configuração dos localizadores verifique uma a uma as "features" que foram removidas, se realmente elas interferem com a montagem.

Para seleção dos localizadores serão utilizados os mesmos critérios já descritos, com a ressalva que o campo 3 dos localizadores secundários não são de escolha livre e dependem de como foi escolhido este campo nos localizadores primários, fora este fato todas as observações feitas anteriormente valem para este caso.

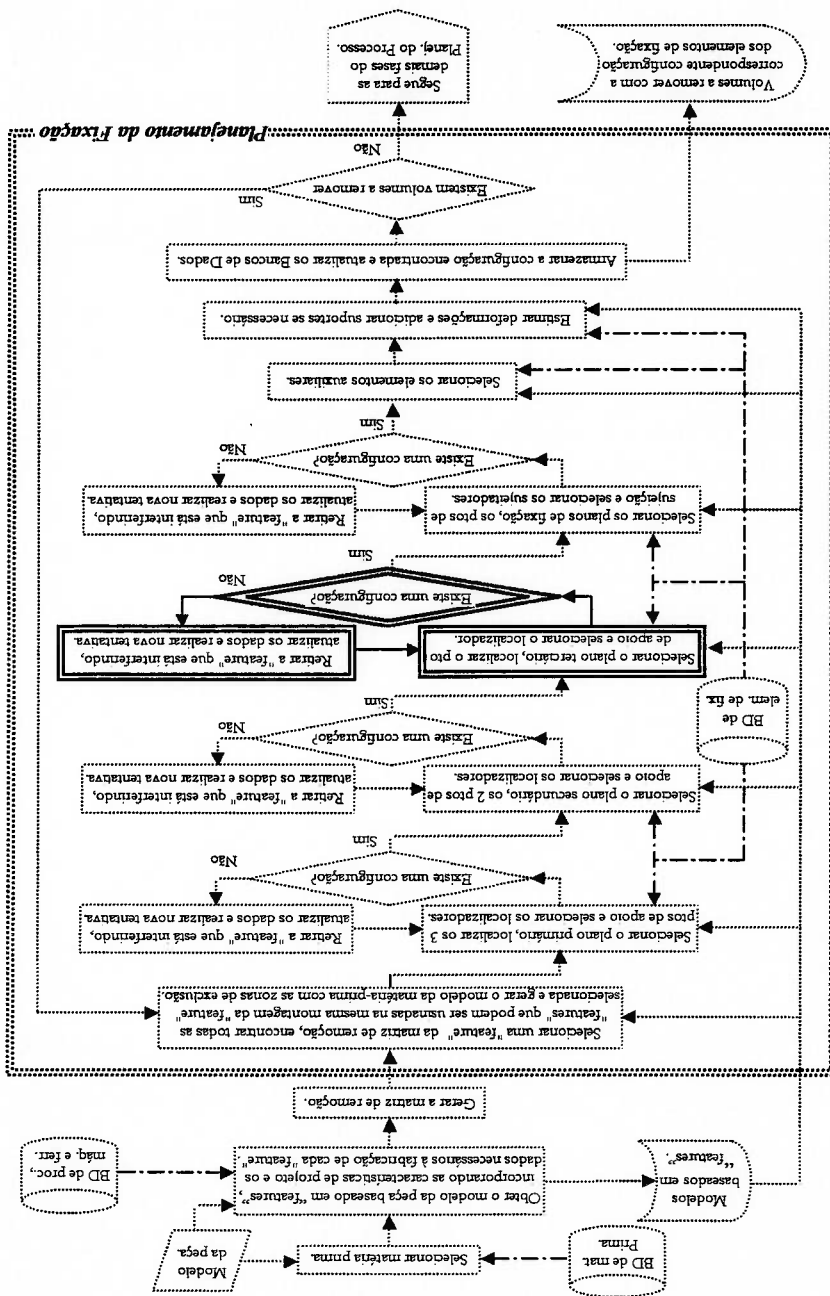
4.3.2.3 Obtenção do plano terciário e seu localizador

O plano terciário deve ser simultaneamente, perpendicular ao primário e ao secundário, portanto todos os planos que não satisfizerem esta exigência já estão automaticamente eliminados do processo de seleção

A face candidata a superfície terciária, deve no mínimo possuir área líquida (área da face, menos as áreas das zonas de exclusão, na região que tem pontos comuns com a face), maior ou igual a área mínima ocupada por um localizador, e estas áreas devem ter pelo menos uma das arestas que fazem parte delas, comum ou ao plano primário ou ao plano secundário.

Existindo mais de uma face que satisfaça os requisitos mínimos a escolhida será a que possuir o maior número de "features" dependentes dela por referência, em caso de mais de uma face possuir o mesmo número de dependentes a escolha recairá na face de maior área líquida, persistindo a escolhida será a que possuir o menor desvio de forma, se ainda persistir a indefinição terá prioridade para ser a face terciária a face que

Figura 42 A estrutura proposta salientando o grupo de tarefas necessarias para definição do plano terciário e seu localizador.



não está voltada para a região de carga/descarga da peça do dispositivo.

Se nenhuma face satisfizer os requisitos mínimos, deve-se sequencialmente remover "features" de forma a conseguir as condições mínimas necessárias, e inicialmente serão removidas "features" da face que melhor se enquadrar nas características enunciadas no parágrafo anterior. E as "features" candidatas a serem retiradas são as que melhor obedecerem na sequência, as seguintes condições:

- as que possuem região em comum com a superfície terciária;
- as que possuem mais de uma direção de usinagem para sua execução;
- as que possuem o menor número de "features" dependentes;
- as que possuem a maior área na região da superfície terciária;

Como a "feature" interferente não é univocamente identificada neste procedimento, existe a possibilidade que durante as retiradas de "features" sejam removidas "features" de forma incorreta, para sanar este defeito pode-se imaginar uma rotina que, após encontrada a configuração dos localizadores verifique uma a uma as "features" que foram removidas, se realmente elas interferem com a montagem.

Na busca pela superfície terciária, inicialmente elimina-se todas as faces com área líquida menor que a área de um localizador, em virtude da necessidade existente de se posicionar pelo menos um localizador sob a superfície, é necessário ainda que esta área livre possua uma aresta em comum com a superfície primária ou secundária, para possibilitar a montagem deste localizador sem que o corpo deste interfira com qualquer das "features" a serem usinadas.

A imobilização de uma peça para usinagem, na grande maioria das situações, é realizada levando-se em conta a existência da força de atrito, pois desta forma pode-se empregar menos elementos de sujeição e com isto possibilitar a existência de mais áreas acessíveis às ferramentas, nesta estrutura esta característica está presente.

4.3.3 Obtenção dos planos de fixação e seus sujeitadores

Encontrado o ponto de apoio, deve-se agora selecionar o localizador, para sua seleção serão utilizados os mesmos critérios utilizados para seleção de localizadores para o plano secundário.

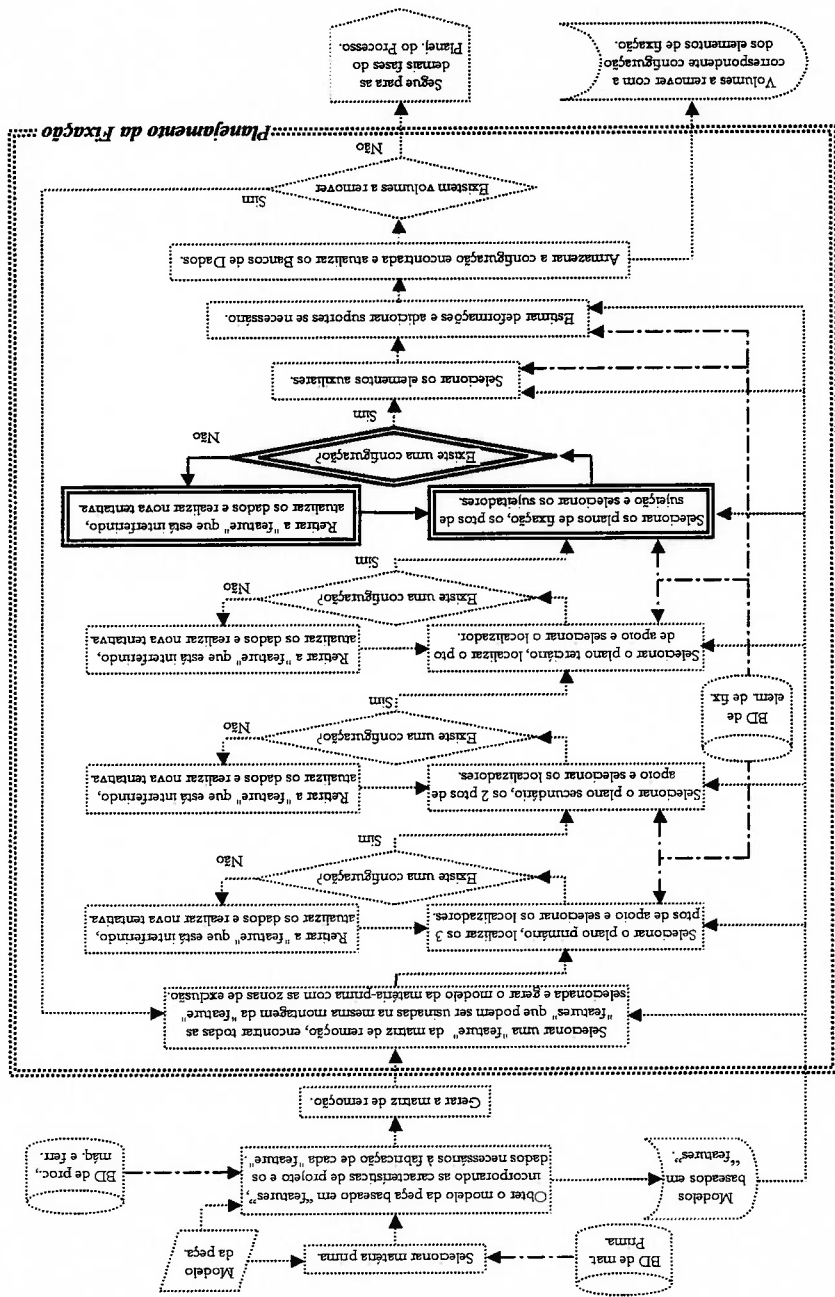
Para definir o ponto de contato, busca-se o ponto que esteja mais próximo do baricentro da superfície eleita como terciária e que não cause interferência com as "features" a serem removidas e nem com os outros elementos do dispositivo de fixação. que se enquadrar de melhor forma nas características enunciadas acima.

Por este mesmo motivo, é que, caso nenhuma face satisfaça as condições mínimas, deve-se remover "features" da face mais apropriada para ser a terciária ou seja aquela

Se mais de uma face satisfaz as condições mínimas a mais adequada é aquela que apresenta o maior número de dependentes por referência, pois ao se utilizar como superfície de apoio um elemento que é referência de posicionamento esta-se contribuindo para diminuição da propagação de erros, pelo mesmo motivo são feitas as escolhas subsequentes finalmente dá-se preferência para que a seleção da superfície primária recaia sobre uma face que melhore a acessibilidade do operador ao dispositivo.

Nesta fase, já se conhece a configuração dos elementos localizadores e buscando minimizar a ocorrência de deformações na peça, sempre que possível os sujeitadores deverão ser aplicados sobre os localizadores ou pelo menos em locais que minimizem as deformações. Assim para se localizar os pontos de aplicação dos elementos de sujeição, primeiramente serão identificadas todas as faces possíveis de receberem os elementos

Figura 43 A estrutura proposta salientando o grupo de tarefas necessárias para definição dos elementos de sujeição



de fixação, estas faces obrigatoriamente devem ser faces paralelas as faces eleitas como primária, secundária e terciária na fase anterior e estas faces serão denominadas de face de fixação primária, face de fixação secundária e face de fixação terciária respectivamente.

Em cada uma destas faces de fixação, devem ser encontradas regiões de sujeição. Por definição, região de sujeição é uma área sobre a face de fixação, que não é comum ao volume de exclusão de nenhuma "feature" a ser usada nesta montagem e que possui pelo menos uma aresta comum com a superfície perpendicular a analisada. Sendo portanto uma região indicada para aplicação dos elementos de sujeição.

A busca pela configuração dos elementos de sujeição seguirá o seguinte roteiro básico:

1. Procura-se por regiões de sujeição e correspondente elemento de sujeição, sequencialmente pelo plano de fixação primário, depois pelo secundário e finalmente pelo terciário;

2. Se durante a procura, for encontrado alguma configuração para sujeição, esta deve ser analisada para verificar se garante a imobilização da peça, caso seja aprovada a busca termina e a fixação é considerada completada. Caso não garanta a imobilização segue-se com a busca por uma nova região de sujeição;

3. Encontrado um novo ponto, verifica-se a imobilização da peça, como se o único elemento de sujeição a ser aplicado for o recentemente encontrado, se a imobilização não for verificada desta forma, realiza-se nova avaliação só que desta vez incluindo os outros sujeitadores já descobertos;

4. Se todas as superfícies de fixação foram pesquisadas e não se encontraram

configurações adequadas para a fixação, remove-se sequencialmente "features" e realiza-se novas tentativas para a fixação;

A procura por regiões de fixação adequadas em cada uma das superfícies de fixação segue uma sistemática própria, assim primeiramente se projeta sobre cada uma das superfícies o ponto de contato do localizador que se encontra na superfície paralela, os pontos ideais de fixação são, sem dúvida, este pontos projetados, portando inicialmente verifica-se se eles podem ser utilizados para tal.

Para que um ponto destes possa ser utilizado como ponto de fixação é necessário que:

- Sua projeção esteja sobre uma região de sujeição;
- Exista no Banco de Dados um elemento de sujeição cuja zona de segurança (campo 5 da especificação), possa ser incluída dentro da região de sujeição de onde está o ponto;
- Que o volume de segurança do elemento (campo 6 da especificação) não interfira com a peça, ou alguma "feature" a ser usinada.

Os critérios de seleção para os elementos de sujeição são os mesmos já apresentados no item 4.2.2 página 78

Caso nenhum dos pontos projetados possam ser utilizados para ponto de fixação, pode-se procurar na superfície primária por áreas que sejam comuns entre as regiões de sujeição e o triângulo formado pela projeção dos três localizadores primários. Existindo estas áreas comuns, deve-se como no caso anterior verificar a existência no Banco de Dados de um elemento de sujeição cuja a zona de segurança possa ser incluída nesta área e cujo o volume de segurança não interfira com a peça ou com qualquer "feature" a ser

Segundo também a linha do uso de programação linear para analisar a imobilidade de corpos DEMETER (1994), apresenta modelagem de vários tipos de contatos que podem existir entre as peças e os elementos do dispositivo de fixação, neste trabalho o autor propõe algumas simplificações na modelagem das forças existentes, mas o modelo adotado é conservativo, ou seja a força de atrito real é sempre maior que a modelada

configuração depois de modelada em poucos segundos. para resistir aos esforços de corte, a abordagem de Sakurai consegue analisar uma isto verificar se a força empregada por um sujeitador em um dado ponto é suficiente uso de programação linear para procurar um máximo para esta força / momento e com com base nesta observação e fazendo uso de equações da estática adaptadas ele sugere o inicia seu deslizamento a magnitude da força e do momento devido ao atrito é máximo, Já SAKURAI (1990), apresenta uma abordagem baseada no fato de que quando a peça alcançar uma resposta satisfatória.

abordagem sugerida é que o tempo computacional é considerável, para que se possa força/momento para previsão da estabilidade de uma dada configuração, o problema da (1991), como apresentado no capítulo 2 sugerem o uso das superfícies limites propostas interessantes de métodos para realizar esta verificação, CUTKOSKY, LEE Para se assegurar sobre a imobilidade da peça alguns pesquisadores já apresentaram se verificar, como já citado, a existência de um elemento de sujeição adequado.

pelos dois localizadores secundários. Encontrado algum ponto candidato também deve- critério que este ponto de fixação só pode se localizar sobre a projeção da linha formada procurar por pontos de fixação na superfície secundária de fixação, deve-se ter como ponto de fixação e devem ser testadas quando a imobilidade da peça. No caso de se usinada. Se existir mais de uma área que satisfaça esta condição, todas são candidatas a

pela proposta de DeMeter, com isto, se a resposta dada pela metodologia, indicar que a peça esta imobilizada esta afirmação pode ser tomada com segurança.

Portanto para se verificar a imobilidade da configuração existem desenvolvimentos confiáveis que podem ser utilizados sem ressalvas.

Se durante a procura pela configuração dos elementos de sujeição, não for possível encontrá-lo, deve-se, como já enunciado, remover sequencialmente "features" do conjunto a ser usinado até que se encontre a configuração procurada. Os critérios para extração das "features" devem ser:

- as que possuem região em comum com a superfície de fixação;
- as que possuem o menor número de "features" dependentes;
- as que possuem o maior número de direções de usinagem para sua execução;
- as que possuem a maior área na região da superfície de fixação.

Como a "feature" interferente não é univocamente identificada neste procedimento, existe a possibilidade que durante as retiradas de "features" sejam removidas "features" de forma incorreta, para sanar este defeito pode-se imaginar uma rotina que, após encontrada a configuração dos sujeitadores verifique uma a uma as "features" que foram removidas, se realmente elas interferem com a montagem.

4.3.4 Seleção dos principais elementos auxiliares

Após a escolha dos localizadores e dos elementos de sujeição, deve-se verificar a compatibilidade da posição física que estes elementos devem ocupar, com o passo⁷ da furagem existente na base, para fixá-los.

Normalmente a posição física para posicionamento destes elementos, obtida no planejamento da fixação, não permite que todos sejam diretamente fixados sobre a base, a maioria terá uma posição física em que nenhum furo da base está próximo o suficiente.

Nestes casos deve-se fazer uso dos suportes universais (SU), que em função de sua construção, conforme mostra a Figura 44, possibilitam a fixação do elemento em algum furo da base sem contudo afastá-lo da posição física que o planejamento da fixação indicou como a mais conveniente.

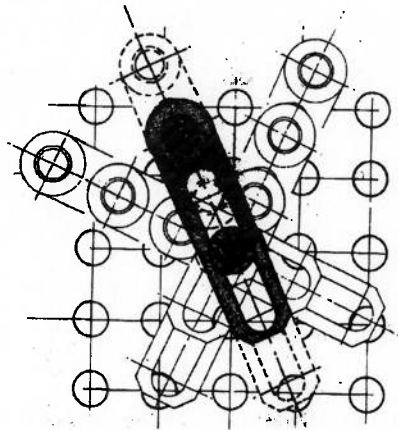


Figura 44 O suporte Universal permite a fixação de um localizador ou um sujeitador, na base, sem afastá-lo da posição física indicada pelo planejamento da fixação.

⁷Passo é a distância existente entre as linhas e também entre as colunas de furos, que existem nas bases que compõem os sistemas modulares de fixação

Os suportes universais são selecionados com base no encaixe existente entre ele e os elementos que serão montados, sendo esta seleção uma tarefa simples, a maior complexidade ocorre é na definição de quais elementos devem se utilizar dos suportes universais.

Sempre será possível posicionar pelo menos um dos elementos do dispositivo de fixação sobre um furo da base, o problema é que quando este elemento estiver sobre seu furo, em função das posições relativas que existem entre cada elemento, alguns poderão estar localizados sobre um furo e outros não.

Ao analisar-se a colocação de cada elemento sobre o furo da base, verifica-se que cada elemento colocado possibilita que um grupo de outros elementos se posicionem sobre furos e impossibilita que os demais o façam. Desta forma o primeiro problema a ser resolvido é o de selecionar que elementos poderão ser colocados sobre o furo e quais não poderão ocupar esta posição e portanto necessitarão do uso de um suporte universal.

Para resolver esta questão deve-se:

1. Conhecer a distância em "X" e em "Y" entre cada um dos elementos que compõe o dispositivo;

2. Dividir cada distância obtida pelo passo da base;

3. Sempre que o resto desta divisão, para cada uma das distâncias ("X" e "Y"), for menor ou igual a um valor preestabelecido, isto significa que cada um destes elementos podem ocupar um furo da base, sem que a alteração na posição física definida pelo planejamento da fixação seja

comprometedora;

4. Ao se executar este cálculo entre cada um dos elementos que compõe o dispositivo, será possível descobrir qual é o maior conjunto de elementos que podem ocupar furos da base sem necessidade de utilização dos suportes universais.

No passo 3 definiu-se que o resto da divisão deveria ser comparado a um valor preestabelecido. Quanto menor for este valor, menor será a diferença entre as posições reais dos elementos e aquela definida pelo planejamento da fixação, no limite se o valor for zero, as posições reais serão rigorosamente iguais as planejadas, no entanto menor será a probabilidade de se encontrar um conjunto expressivo de elementos que não necessitem de suportes universais.

A medida que aumentamos este valor de comparação, aumentamos a probabilidade de se encontrar uma configuração em que todos os elementos não necessitam de suportes universais (o que ocorreria se o valor de comparação fosse igual ao passo da base), no entanto a posição real dos elementos seria muito diferente da originalmente planejada.

Para uma determinação precisa deste valor, deveria ser realizado um estudo sobre o efeito da variação da posição dos elementos do dispositivo no desempenho do mesmo, no entanto este estudo foge ao escopo deste trabalho.

Para executar-se os passos acima descritos pode-se fazer uso de uma tabela como a apresentada a seguir.

Nos casos de empate (diversas linhas com a mesma quantidade de números 1 ou todas as linhas com zero), terão prioridade para ser(em) o(s) elemento(s) que deverão ser montados sem o suporte universal o(s) em primeiro lugar os elementos com a função de localizadores horizontais e que suportam diretamente forças de sujeição, se existir mais

Obtida a tabela, basta encontrar a linha que possui a maior quantidade de números 1 (um), o elemento que rotula a linha e os elementos que rotulam as colunas cuja interseção com a linha possui o valor 1, são os elementos que podem ser montados sem o uso do suporte universal, os demais necessitam do suporte.

- O número 1 (um) se o resto da divisão, tanto da distância "X", como da distância "Y" pelo passo, for menor ou igual ao valor de comparação.

comparação;

- O número 0 (zero), se o resto de uma das divisões for maior que o valor de

interseção entre linha e coluna deve aparecer :

Nesta tabela, na primeira linha e primeira coluna aparecem todos os elementos localizadores e de sujeição que compõe o dispositivo, com suas respectivas coordenadas do ponto de montagem (definidas segundo o sistema de referência da montagem), na

$E_n (x_n, y_n)$							
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$E_4 (x_4, y_4)$		-				
$E_3 (x_3, y_3)$			-			
$E_2 (x_2, y_2)$				-		
$E_1 (x_1, y_1)$					-	
$E_1 (x_1, y_1)$	$E_2 (x_2, y_2)$	$E_3 (x_3, y_3)$	$E_4 (x_4, y_4)$	$E_n (x_n, y_n)$		

Tabela 9 Dispositivo prático para auxiliar a definição dos elementos que necessitam de suporte universal.

de um nesta condição o escolhido será o que possuir sua parte inferior o mais distante da origem do *sistema de referência da montagem*, como segunda opção tem-se os elementos localizadores primários e a seguir todos os demais sem distinção de prioridade.

Caso se tenha utilizado o valor de comparação diferente de zero, deve-se recalcular as posições reais dos elementos e assumir este novo valor como o definindo a posição real. Definida a necessidade de suporte universais, deve-se verificar o problema de altura dos elementos. Para que seja possível a montagem na base a parte inferior de todos os elementos que fazem parte do dispositivo devem estar em um mesmo plano.

Para verificar se isto está ocorrendo, primeiramente analisa-se a distância da parte inferior de cada elemento com relação a origem do *sistema de referência da montagem*. Se as distâncias apresentarem valores variados, toma-se a maior como referência e especifica-se calços de altura de forma que todas as partes inferiores dos elementos estejam a uma mesma distância da origem.

Caso o menor calço a ser utilizado não exista no Banco de Dados, assume-se que a peça será elevada de sua cota original de um valor igual ao da altura do menor calço existente e recalcula-se os calços necessários.

Com relação a especificação deste calços algumas observações se fazem necessário:

- Para se calcular o calço necessário se leva em conta a existência do suporte universal, quando este for aplicado junto com o elemento;

- O tipo do calço a ser utilizada é função do tipo do elemento que esta tendo sua altura corrigida, assim um sujeitador vertical utilizará um calço diferente

Terminada esta etapa, a configuração do dispositivo de fixação deve ser armazenado, juntamente com as "features" a serem removidas, o modelo da matéria prima deve ser atualizado pois a matéria-prima para a próxima sequência de operações é a peça usinada nesta etapa. Finalmente deve-se verificar se existem ainda "features" a remover em caso afirmativo todo processo de reinicia, em caso negativo o planejamento da fixação estaria terminado e as informações geradas nesta fase seriam enviadas para as demais

ao escopo deste trabalho o tratamento deste tema.

(1987) e MENASSA; DEVRLES (1991) que foram comentados no capítulo 2, mas foge finitos, alguns trabalhos já apresentaram soluções para esta tarefa como HAYNES; LEE Para a análise destas deformações a melhor opção seria a utilização de elementos

danificada.

alguns suportes, se necessário, para minimizar as deformações e evitar que a peça seja Para isto procede-se uma análise de deformações com vistas à acrescer à configuração

mesmo em função da força de corte.

existem deformações inaceitáveis na peça devido a aplicação dos sujeitadores ou "features" a serem removidas nesta montagem da peça. Deve-se garantir que não Encontrada a configuração completa do dispositivo de fixação com as correspondentes

numero possível de calços;

algoritmo que seleciona os calços deve sempre tentar se utilizar do menor

- Para corrigir a altura dos elementos podem ser usados diversos calços e o

de um localizador vertical ;

tarefas do planejamento do processo.

Como resultado do planejamento da fixação, temos a seleção dos elementos de sujeição, dos elementos localizadores, a verificação da necessidade do uso dos suportes universais, a seleção dos calços de altura necessários e a indicação da posição de montagem destes elementos referenciando-se pela posição do ponto de contato.

Na fase de montagem do dispositivo, que é uma operação inerentemente manual, pode-se realizar pequenas alterações no originalmente previsto, visando melhorar a acomodação dos elementos e da peça. Assim a orientação final dos suportes universais, por exemplo, deverá ser feita nesta fase, da mesma forma a seleção dos parafusos, porcas, arruelas etc....

Foi apresentado neste capítulo uma descrição básica das tarefas que fazem parte do planejamento da fixação e que devem responder aos micros aspectos da questão, como já mencionado o objetivo principal deste trabalho é o de apresentar uma estrutura para o planejamento da fixação e a descrição das tarefas aqui apresentadas, visa apenas mostrar a real possibilidades de sua execução.

Para exemplificar o uso da estrutura proposta, no capítulo seguinte será apresentado um exemplo de planejamento da fixação.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA ESTRUTURA

Para apresentar a aplicação da estrutura proposta, será apresentado um planejamento da fixação para a peça da Figura 45

A peça objeto deste exemplo, foi escolhida de forma aleatória, tendo apenas como característica o fato de possuir itens a serem usinados em praticamente todas as suas faces.

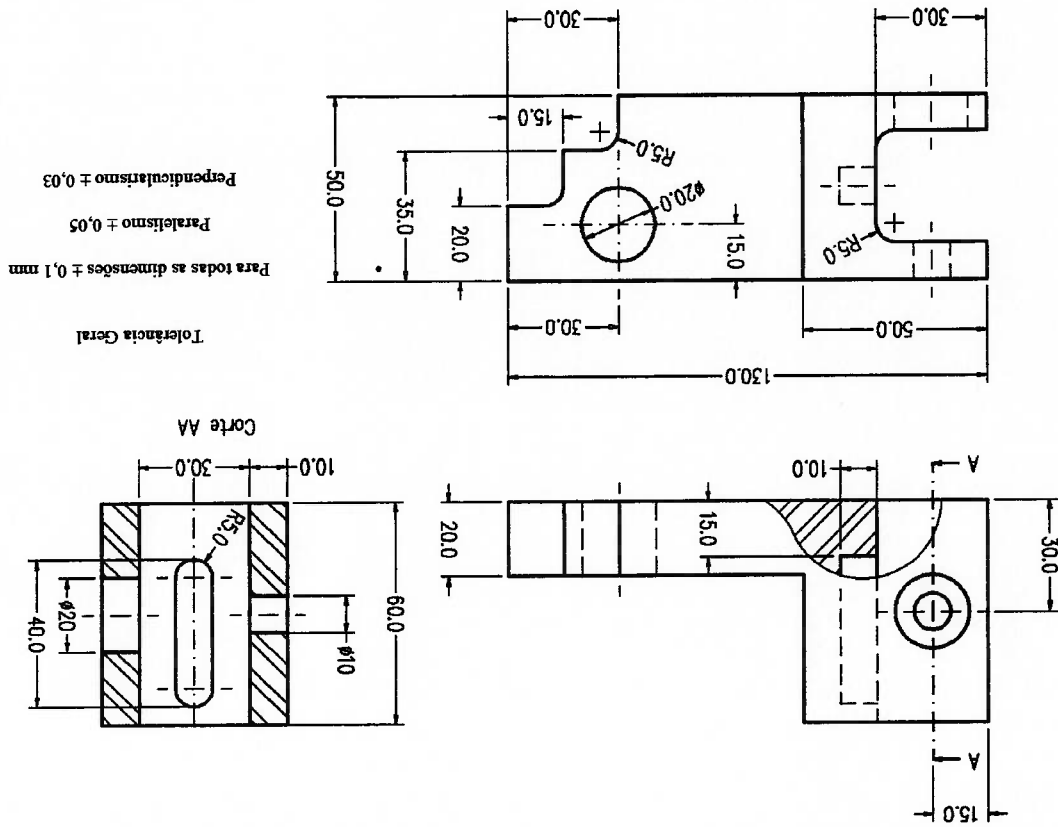
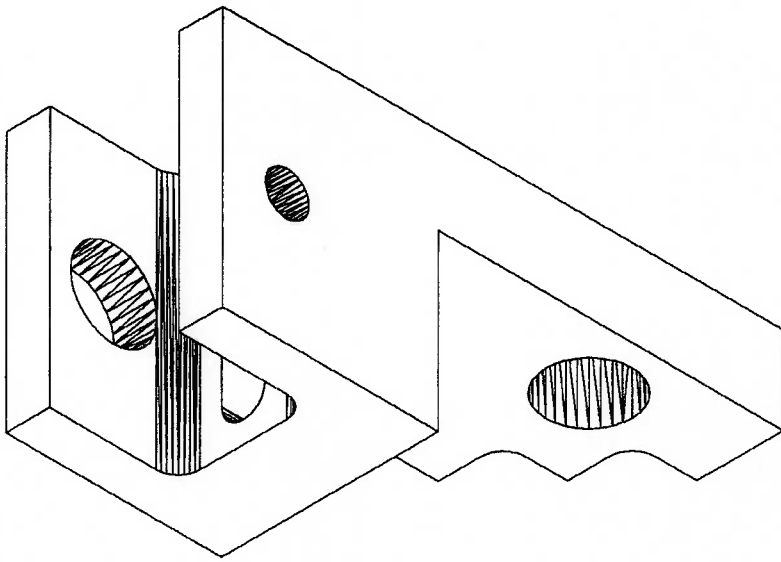


Figura 45 Desenho em projeção ortogonal da peça utilizada no exemplo de aplicação

A cotagem da peça, leva em conta os aspectos funcionais, portanto as faces indicadas pelas linhas de chamada são as faces que indicam os elementos de referência necessários para o correto posicionamento de cada "feature".



5.1 Seleção da matéria prima

Para seleção da matéria prima o sistema deverá consultar um Banco de Dados, que contém todas as matérias-primas disponíveis e encontrar a mais adequada para a fabricação da peça, levando em conta como critério, a existência de uma quantidade de "sobre-metal" necessária e suficiente para a correta fabricação da peça.

Para o exemplo apresentado vamos adotar como existente um bloco prismático de 55 mm de largura, 65 mm de altura e 135 mm de comprimento, o que implica na existência de 2,5 mm de excesso de material em cada face.

5.2 O modelo da peça baseado em "features" e a matriz de remoção

Nesta etapa o objetivo é o de conseguir todas as informações das "features", tanto aquelas oriundas da fase de projeto da peça (características geométricas, topológicas, tolerâncias etc.) como aquelas necessárias a fabricação de cada uma das "features". Inicialmente deve-se obter o modelo da peça baseado em "features" e a partir deste, associar as informações necessárias a cada "feature" e finalmente obter a matriz de remoção, que é uma forma de expressar as relações de dependência entre as "features", de forma a possibilitar a visualização de potenciais seqüências de usinagem, que respeitem as limitações tecnológicas impostas pelas dependências.

5.2.1 O modelo baseado em "feature"

O modelo da peça baseado em "features" depende do algoritmo utilizado na extração das "features" ou no caso de peças modeladas por "features", de quais são as "features" básicas disponíveis. Assim uma possível solução para o modelo baseado em "features" poderia ser o apresentado na Figura 47, neste caso as "features" foram divididas em duas categorias básicas:

- "features" de preparação da matéria-prima;
- "features" de composição da peça.

As "features" de preparação da matéria-prima são aquelas que quando removidas geram um bloco prismático com faces usinadas que já contém parcialmente ou integralmente

algumas das faces da futura peça. Estas "features" estão ligadas com a quantidade de "sobre-metal" existente.

Já as "features" de composição da peça, são aquelas que quando removidas geram os detalhes que compõem a peça.

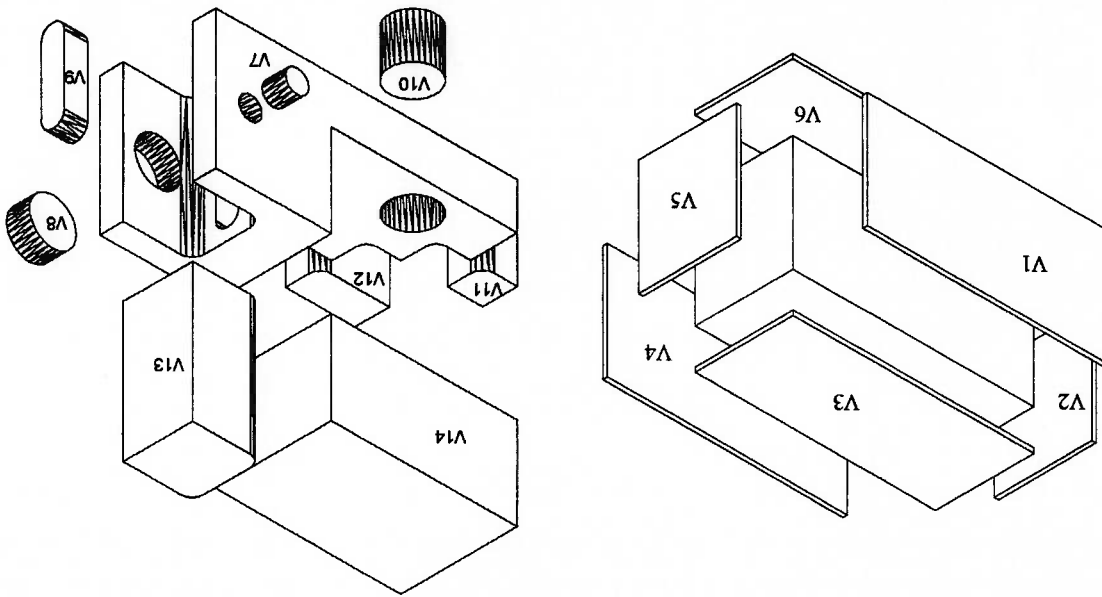


Figura 47 Exemplo de um possível modelo da peça baseado em "features", do lado esquerdo as "features" de preparação da matéria prima e do lado direito as demais "features".

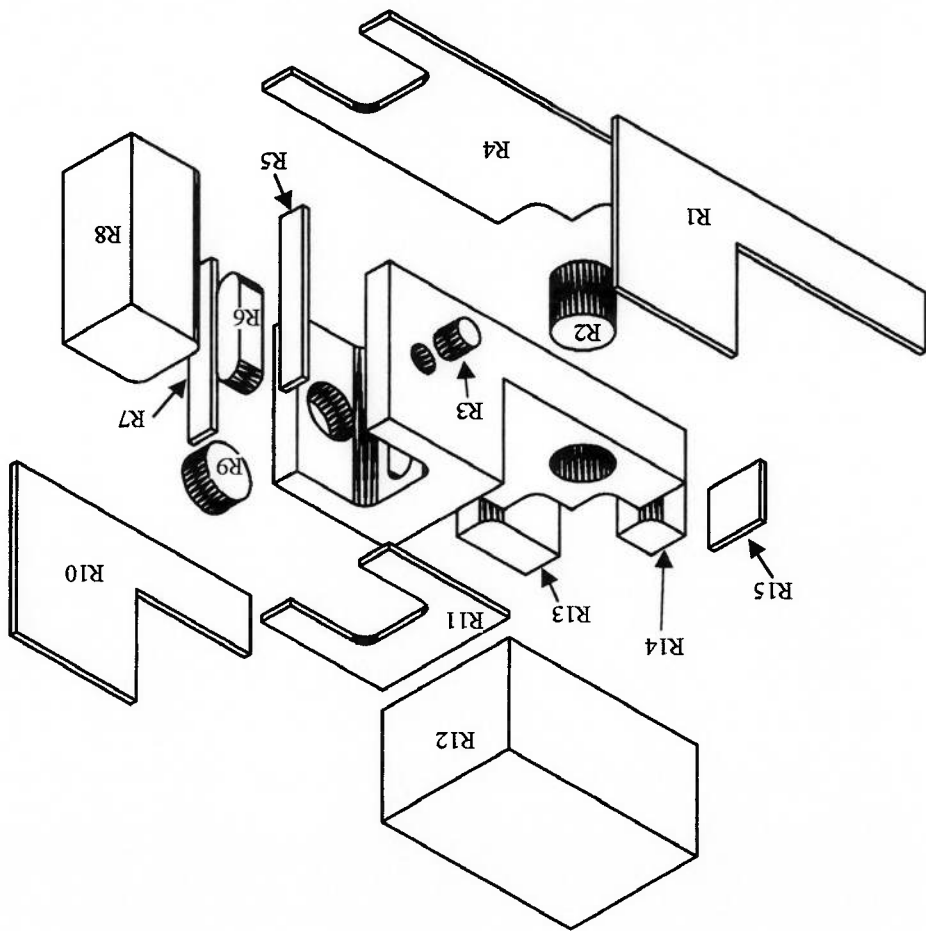
O uso deste modelo é perfeitamente satisfatório para aplicação da estrutura do planejamento da fixação, mas no entanto, se fosse possível dispor de um modelo em que as "features" de preparação de matéria prima pudessem ser reduzidas ao mínimo necessário, isto propiciaria maior flexibilidade para a obtenção da configuração dos dispositivos de fixação.

Para esta minimização o caminho seria o de subtrair das "features" de preparação da matéria prima as partes que são comuns com as demais "features", conforme mostra a

Figura 48.

Neste caso a "feature" "V1" da Figura 47 se transformou na "feature" "R1" da Figura 48 sendo que parte de seu volume foi incorporado a "feature" "R12", com tratamento análogo obtve-se as "features" "R4", "R5", "R7", "R10", "R11" e "R15", com esta segmentação das "features" de preparação da matéria prima, cresce a probabilidade de se encontrar uma configuração para o dispositivo de fabricação, pois torna-se possível o uso de uma face parcial para colocação de localizadores ou sujeitadores.

Figura 48 Modelo da peça baseado em "features" que se adapta melhor a estrutura do planejamento da fixação proposta



5.2.2 Obtenção das informações para a "feature".

Para a continuidade deste exemplo será utilizado o modelo da peça apresentado na Figura 48 e um sistema de referência que é o *sistema de referência da peça*, como já definido no capítulo 3. A Figura 49, apresenta este sistema.

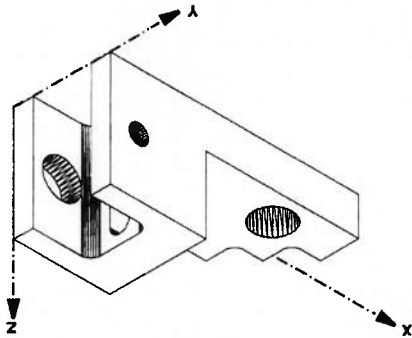


Figura 49 Localização do sistema de referência da peça.

As características de projeto tais como; tolerância dimensional; tolerância macro geométrica; tolerância microgeométrica, tratamento térmico, dados topológicos e geométricos, devem ser fornecidos pela fase de projeto da peça. Nas tarefas de planejamento do processo devem ser acrescidos os dados para fabricação.

Para a estrutura apresentada os dados necessários são:

- A máquina a ser utilizada para a remoção e o *vetor ferramenta-máquina*, que define a orientação da ferramenta com base no sistema de referência da máquina

- A ferramenta a ser aplicada;

- O *vetor ferramenta-peça*, que nada mais é do que um vetor unitário que possui a direção do eixo da ferramenta que usinará a "feature" e um sentido tal que

sempre aponta para o eixo principal da máquina, sendo baseado no *sistema de referência da peça*, pois isto propicia maior flexibilidade para o uso desta informação tornando-a independente da máquina ferramenta;

- O *volume de exclusão* que é o volume ocupado pela ferramenta durante a usinagem da "feature";

- E as relações de dependências entre a "feature" a ser usinada e as demais, conforme já discutido no capítulo 3.

Estes dados devem ser obtidos para cada "feature" que faz parte da peça, o sistema deverá consultar um Banco de Dados de tal forma que caracterizada a "feature", o Banco de Dados forneça informações a respeito dos processos possíveis.

Por exemplo uma "feature" pode ser caracterizada como face plana, caso possua apenas uma face em comum com a peça a ser construída, e neste caso, processos possíveis poderiam ser:

- Fresagem com fresa de facear e *vetor ferramenta-peça* definido pelo vetor perpendicular a face, apontando para fora da peça;

- Fresagem com fresa de topo com o *vetor ferramenta-peça* definido (no caso de peças prismáticas), pelo vetor paralelo a menor dimensão da face sendo possíveis tanto o sentido positivo, como o negativo deste vetor dependendo da existência ou não de "features" interferentes.

A "feature" "R1" (Figura 48) do caso exemplo comporta-se como uma face plana e a ela podem ser aplicados os processos citados anteriormente.

Desto forma pode-se associar a cada "feature" os dados de fabricação. Imaginando que a consulta do Banco de Dados foi realizada, estaria a disposição para cada "feature" um conjunto de informações como as constantes a seguir da Tabela 10 a Tabela 24.

Figura 51 Volume de exclusão quando da aplicação da fresa de faccar

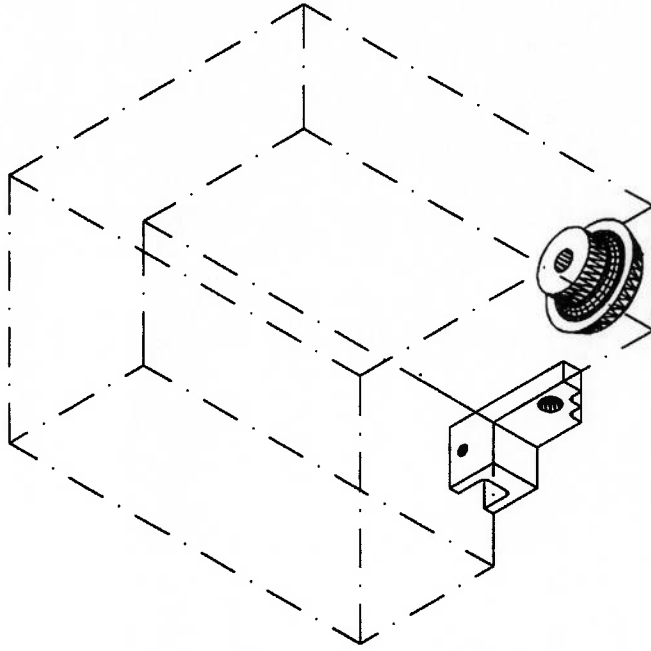
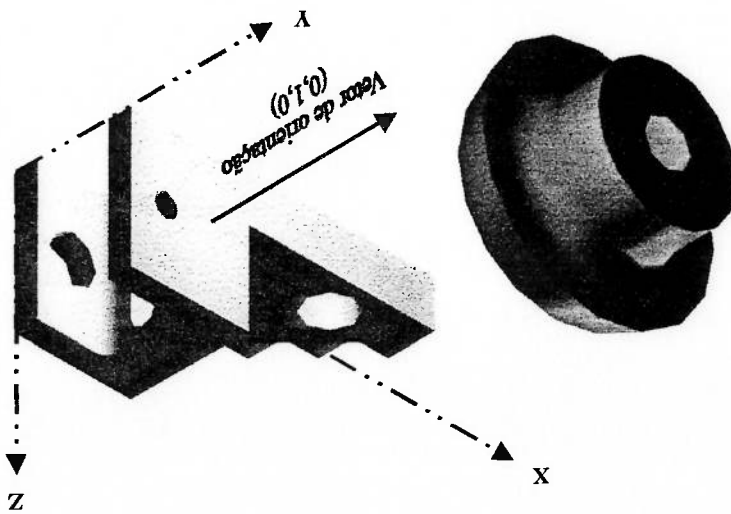


Figura 50 Usinagem da "feature" "R1" com uma fresa de faccar



Nestas tabelas a segunda coluna apresenta a máquina escolhida e o *vetor ferramenta-máquina*, que define a posição do eixo principal com base no sistema de referência da máquina, a terceira coluna especifica a ferramenta a ser utilizada, a quarta coluna apresenta o *vetor ferramenta-peça*, a quinta coluna descreve o volume de exclusão com base no sistema de referência da peça e as demais colunas registram a existência de dependências.

Tabela 10 Dados de fabricação para a "feature" "R1":

Ident. da "feature"	R1	DADOS PARA FABRICAÇÃO		
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclusão
1	Fresadora (0,0,1)	Fresa de facear ϕ 100 mm	0,1,0	Extrusão (0, ∞ , 0) Face[(-100,50,-100), (-100,50,160),(50,50,160), (50,50,20),(230,50,20), (230,50,-100)]
2	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo ϕ 20 x 70	0,0,1	Cubo [(150,50,-2,5),(-20,70, ∞)]
3	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo ϕ 20 x 70	0,0,-1	Cubo [(150,50,20), (30,70, ∞)] Cubo[(70,50,60),(-20,70, ∞)]
Depend. por refer.	Depend. por seq.	Depend. desel.		

Tabela 11 Dados de fabricação para a "feature" "R2":

Ident. da "feature"	R2	DADOS PARA FABRICAÇÃO		
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclusão
1	Fresadora (0,0,1)	Broca ϕ 20 mm	0,0,1	Cilindro R=10 [(100,35,-5), (100,35, ∞)]
2	Fresadora (0,0,1)	Broca ϕ 20 mm	0,0,-1	Cilindro R=10 [(100,35,25), (100,35,- ∞)]
Depend. por referência	Depend. deselável	Depend. por seqüência		
R1 e R15	R12			

Ident. da "feature"		DADOS PARA FABRICAÇÃO					
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclusão	Depend. Por seqüência	Depend. Desaj. refer.	Depend. Por refer.
1	Fresadora	Broca ϕ 10 mm	0,1,0	Cilindro R=5 (15,35,30) (15,30,30)			R4 e R5
2	Fresadora	Broca ϕ 10 mm	0,-1,0	Cilindro R=5 (15,60,30) (15,-30,30)			R4 e R5

Tabela 12 Dados de fabricação para a "feature" "R3":

Ident. da "feature"		DADOS PARA FABRICAÇÃO					
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclusão	Depend. por seq.	Depend. desaj. refer.	Depend. por refer.
1	Fresadora	Fresa de facear ϕ 100 mm	0,0,-1	Extrusão (0,0, ∞) Face[(-100,-100,0), (230,-100,0), (230,150,0), (-100,150,0), (- 100,40,0), (30,40,0), (30,10,0), (- 100,10,0)]			
2	Fresadora	Fresa de topo ϕ 20 x 70	0,1,0	Cubo (-20,-2,5,0) (150, ∞ , -20)			
3	Fresadora	Fresa de topo ϕ 20 x 70	0,-1,0	Cubo (-20,52,5,0) (150,- ∞ , -20)			

Tabela 13 Dados de fabricação para a "feature" "R4":

Ident. da "feature"		DADOS PARA FABRICAÇÃO					
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclusão	Depend. por seq.	Depend. desaj. refer.	Depend. por refer.
1	Fresadora	Fresa de topo ϕ 20 x 70	0,0,1	Cubo (0,70,-2,5) (-20,30, ∞)			
2	Fresadora	Fresa de topo ϕ 20 x 70	0,0,-1	Cubo (0,70,62,5) (-20,30,- ∞)			
3	Fresadora	Fresa de topo ϕ 20 x 70	-1,0,0	Cubo (0,40,-20) (- ∞ ,70,80)			

Tabela 14 Dados de fabricação para a "feature" "R5":

Ident. da "feature"		R8		DADOS PARA FABRICAÇÃO			
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclusão	Depend. por seqüência	Depend. desejável	Depend. por referência
1	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo Diam 10	0,0,1	Cubo (30,40,-2,5) (-10,10,∞)			RI e R7
2	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo Diam 10	0,0,-1	Cubo (30,40,62,5) (-10,10,-∞)			RI e R7

Tabela 17 Dados de fabricação para a "feature" "R8":

Ident. da "feature"		R7		DADOS PARA FABRICAÇÃO			
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclusão	Depend. por seq.	Depend. desej.	Depend. refer.
1	Fresadora (0,0,1)	φ20 x 70	0,0,1	Cubo (0,-20,-2,5) (-20,20,∞)			
2	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo φ20 x 70	0,0,-1	Cubo (0,-20,62,5) (-20,20,-∞)			
3	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo φ20 x 70	-1,0,0	Cubo (0,40,-20) (-∞,70,80)			

Tabela 16 Dados de fabricação para a "feature" "R7":

Ident. da "feature"		R6		DADOS PARA FABRICAÇÃO			
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclusão	Depend. Por seqüência	Depend. desejável	Depend. Por referência
1	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo Diam 10	-1,0,0	Cubo (40,30,55) (-∞,20,15)	R8		R4 e R8

Tabela 15 Dados de fabricação para a "feature" "R6":

Ident. da "feature"		R11		DADOS PARA FABRICAÇÃO			
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Depend. por seq.	Depend. desej.	Depend. por refer.	
1	Fresadora (0,0,1)	Fresa de facear φ 100 mm	0,0,1	Volume de Exclusão			
				Extrusão (0, 0,∞) Face[(-100,-100,60), (150,-100,60), (150,150,60), (-100,150,60),(-100,40,60), (30,40,60),(40,10,60), (-100,10,60)]			
2	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo φ20 x 70	0,1,0				
				Cubo (-20,-2,5, 60) (70,∞, 80)			
3	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo φ20 x 70	0,-1,0				
				Cubo (-20,52,5,60) (70,∞, 80)			

Tabela 20 Dados de fabricação para a "feature" "R11":

Ident. da "feature"		R10		DADOS PARA FABRICAÇÃO			
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Depend. por seq.	Depend. desej.	Depend. por refer.	
1	Fresadora (0,0,1)	Fresa de facear φ 100 mm	0,-1,0	Volume de Exclusão			
				Extrusão (0, -∞,0) Face[(-100,0,-100), (-100,0,160),(50,0,160), (50,0,20),(230,0,20), (230,0,- 100)]			
2	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo φ 20 x 70	0,0,1				
				Cubo [(150,0,-2,5),(-20,-20,∞)]			
3	Fresadora (0,0,1)	Fresa de topo φ20 x 70	0,0,-1				
				Cubo [(150,0,20), (30,-20,∞)] Cubo[(70,0,62,5),(-20,-20,∞)]			

Tabela 19 Dados de fabricação para a "feature" "R10":

Ident. da "feature"		R9		DADOS PARA FABRICAÇÃO			
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Depend. Por seqüência	Depend. desejável	Depend. Por referência	
1	Fresadora (0,0,1)	Broca diam 20 mm	0,-1,0	Volume de Exclusão			R4 e R7
				Cilindro R=10 (15,15,30) (15,-∞,30)			

Tabela 18 Dados de fabricação para a "feature" "R9":

Ident. da "feature"		R15		DADOS PARA FABRICAÇÃO			
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclussão	Depend. por sequência	Depend. desejavél	Depend. por referencia
1	Fresadora (0,1)	Fresa de topo ϕ 20	0,1	Cubo (150,70,2.5) (130,20, ∞)			
2	Fresadora (0,1)	Fresa de topo ϕ 20	0,1	Cubo (150,70,21) (130,20, ∞)			
3	Fresadora (0,1)	Fresa de topo ϕ 20	1,0	Cubo (130,50,20) (∞ ,30,40)			

Tabela 24 Dados de fabricação para a "feature" "R15":

Ident. da "feature"		R14		DADOS PARA FABRICAÇÃO			
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclussão	Depend. por sequência	Depend. desejavél	Depend. por referencia
1	Fresadora (0,1)	Fresa de topo ϕ 10	0,1	Cubo (115,30,-1) (140,-10, ∞)		R12 e R13	R1 e R15
2	Fresadora (0,1)	Fresa de topo ϕ 10	0,1	Cubo (115,30,21) (140,-10, ∞)		R13	R1 e R15

Tabela 23 Dados de fabricação para a "feature" "R14":

Ident. da "feature"		R13		DADOS PARA FABRICAÇÃO			
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclussão	Depend. por sequência	Depend. desejavél	Depend. por referencia
1	Fresadora (0,1)	Fresa de topo ϕ 10	0,1	Cubo (100,15,-1) (140,-10, ∞)		R12	R1 e R15
2	Fresadora (0,1)	Fresa de topo ϕ 10	0,1	Cubo (100,15,21) (140,-10, ∞)			R1 e R15

Tabela 22 Dados de fabricação para a "feature" "R13":

Ident. da "feature"		R12		DADOS PARA FABRICAÇÃO			
Opção	Máquina	Ferram.	Orient.	Volume de Exclussão	Depend. por sequência	Depend. desejavél	Depend. por referencia
1	Fresadora (0,1)	Fresa de topo ϕ 20 x70mm	0,1	Cubo (50,70,20) (150,-20, ∞)			R4 e R5

Tabela 21 Dados de fabricação para a "feature" "R12":

5.2.3 Matriz de remoção

Com base nos dados obtidos anteriormente, pode-se montar a matriz de remoção, que como já descrito, nada mais é do que uma forma de expressar as relações de dependência entre as "features"

		VOLUMES ANTECEDENTES														
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
R1	1							1							1	
R2																
R3																
R4		1				1										
R5			1										1			
R6																
R7							1	1								
R8						1										
R9																
R10																
R11																
R12													2			
R13														2		
R14																
R15															1	

(1) dependência por referência e/ou sequência
 (2) dependência desejável

Figura 52 Matriz de remoção para o caso exemplo.

A completa usinagem de uma peça, na maioria das vezes é realizada em etapas e para cada etapa existe a necessidade da configuração de um dispositivo de fixação. A seguir será apresentado, as principais tarefas necessárias para se obter esta configuração do dispositivo, para a primeira etapa de usinagem, da peça e na sequência apenas os resultados finais das demais etapas de usinagem.

5.3 Seleção das "features" candidatas a serem usadas na primeira montagem

A seleção da primeira "feature", obedece as regras já apresentadas no capítulo 4 e segundo estas regras, a primeira "feature" deve ser completamente independente. Observando-se a matriz de remoção é possível notar que "R1", "R4", "R5", "R7", "R10", "R11" e "R15" satisfazem esta condição.

O segundo critério diz que a "feature" a ser escolhida deve ser a que possui o maior número de dependentes. Analisando-se novamente a matriz de remoção observa-se que "R1" e "R4", ambas com quatro dependentes são as "features" eleitas pelo segundo critério.

O terceiro critério, não permite ainda a escolha da "feature" inicial, pois o estado das superfícies da matéria-prima é o mesmo para todas as faces. Com o uso do quarto critério elege-se "R4" como a "feature" inicial uma vez que sua remoção gerará uma área de 4.868 mm² na peça enquanto que "R1", 4.600 mm².

Selecionada "R4", deve-se agora selecionar todas as demais "features" que potencialmente poderão serem usinadas junto com "R4". Para isto, deve ser analisado para cada par máquina / *vetor ferramenta-peça*, possível de ser utilizado em "R4", as "features" que também possuem o mesmo par.

Para isto basta uma consulta da Tabela 10 a Tabela 24, realizando-se esta consulta verifica-se que o *vetor ferramenta-peça* (0,0,-1) é comum a 10 "features" incluindo "R4". Portanto, como ponto de partida para a obtenção da configuração do dispositivo

Para peças prismáticas usinadas em máquinas de três eixos, que é o domínio desta aplicação, a resposta pode ser obtida facilmente analisando-se o produto vetorial entre o *vetor ferramenta-peça* e o *vetor ferramenta-máquina*.

Para peças prismáticas usinadas em máquinas de três eixos, que é o domínio desta aplicação, a resposta pode ser obtida facilmente analisando-se o produto vetorial entre o *vetor ferramenta-peça* e o *vetor ferramenta-máquina*.

Para peças prismáticas usinadas em máquinas de três eixos, que é o domínio desta aplicação, a resposta pode ser obtida facilmente analisando-se o produto vetorial entre o *vetor ferramenta-peça* e o *vetor ferramenta-máquina*.

Para peças prismáticas usinadas em máquinas de três eixos, que é o domínio desta aplicação, a resposta pode ser obtida facilmente analisando-se o produto vetorial entre o *vetor ferramenta-peça* e o *vetor ferramenta-máquina*.

Para peças prismáticas usinadas em máquinas de três eixos, que é o domínio desta aplicação, a resposta pode ser obtida facilmente analisando-se o produto vetorial entre o *vetor ferramenta-peça* e o *vetor ferramenta-máquina*.

5.4 Obtenção da configuração do dispositivo para a primeira montagem

Para que seja possível a obtenção da configuração do dispositivo de fixação é necessário que se conheça a posição que a peça ocupa no espaço de trabalho da máquina.

Como se conhece o sistema de referência para montagem, o sistema de referência da peça, o *vetor ferramenta-peça* e o *vetor ferramenta-máquina*, com base nestas informações pode-se saber. De quanto deve-se girar a peça e seu sistema de coordenada e com relação a que eixo.

- Para que seja possível a obtenção da configuração do dispositivo de fixação é necessário que se conheça a posição que a peça ocupa no espaço de trabalho da máquina.
- Como se conhece o sistema de referência para montagem, o sistema de referência da peça, o *vetor ferramenta-peça* e o *vetor ferramenta-máquina*, com base nestas informações pode-se saber. De quanto deve-se girar a peça e seu sistema de coordenada e com relação a que eixo.
- Como se conhece o sistema de referência para montagem, o sistema de referência da peça, o *vetor ferramenta-peça* e o *vetor ferramenta-máquina*, com base nestas informações pode-se saber. De quanto deve-se girar a peça e seu sistema de coordenada e com relação a que eixo.
- Como se conhece o sistema de referência para montagem, o sistema de referência da peça, o *vetor ferramenta-peça* e o *vetor ferramenta-máquina*, com base nestas informações pode-se saber. De quanto deve-se girar a peça e seu sistema de coordenada e com relação a que eixo.

de fixação temos que:

- As "features" candidatas a serem usinadas são: "R1", "R2", "R4", "R5", "R7", "R8", "R10", "R13", "R14" e "R15";
- E o *vetor ferramenta-peça* é $(0,0,-1)$.

Neste exemplo de aplicação o resultado do produto vetorial é nulo e a análise dos vetores revela que eles são opostos, portanto para a correta orientação da peça há

de referência da peça.

Conhecendo-se o eixo e o ângulo de giro pode-se construir uma matriz de conversão de coordenadas, para que todos os dados expressos com base no sistema de referência da peça possam ser convertidos para o sistema de referência da montagem que terá orientação como definida no capítulo 3 e origem coincidente com a origem do sistema

ferramenta-máquina.

Se o produto vetorial for nulo, isto implica que os vetores são colineares e para se definir a necessidade de rotação da peça basta analisar se os vetores são idênticos ou opostos, se idênticos não há necessidade de nenhuma rotação, se opostos, gira-se a peça de 180°, tendo como eixo de rotação qualquer dos eixos perpendiculares ao vetor

- θ define o ângulo de giro.
- \vec{R} define o eixo de giro da peça e do sistema de coordenada desta;

Se o resultado do produto vetorial não for nulo, então:

\vec{P} é o vetor ferramenta-peça;
 \vec{M} é o vetor ferramenta-máquina;
 \vec{R} o resultado do produto vetorial e;
 θ é o ângulo entre \vec{P} e \vec{M}

onde:

$$\theta = \arcsen \left(\frac{|\vec{P} \times \vec{M}|}{|\vec{P}| |\vec{M}|} \right) \quad (5.2)$$

$$\vec{P} \times \vec{M} = \vec{R} \quad (5.1)$$

Seja:

necessidade de girar a peça a 180°, tendo como eixo de rotação a ser escolhido entre o eixo "X" ou o eixo "Y" a escolha é indiferente. Para continuidade da aplicação adotaremos o eixo "X" como eixo de rotação. A origem do sistema de coordenada não se altera, portanto a matriz de transformação de coordenadas, reflète apenas a rotação das coordenadas e possui o valor apresentado abaixo.

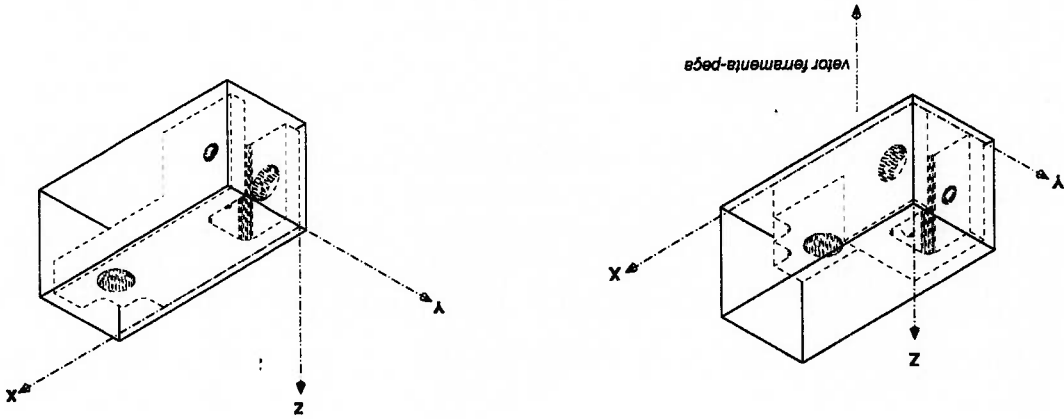
$$(5.3) \quad \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^d \\ y^d \\ z^d \end{bmatrix}$$

Onde

(x_m, y_m, z_m) = coordenadas no sistema de referência da montagem;

(x^d, y^d, z^d) = coordenadas no sistema de referência da peça.

A Figura 53 a seguir apresenta em (a), a peça no seu sistema de coordenada e em (b) a peça já rotacionada e o novo sistema de coordenada que é o sistema de referência da montagem.



(a) A peça referenciada em seu sistema de coordenada mostrando o vetor ferramenta-peça necessário para esta montagem
 (b) A peça rotacionada e a nova referência que é sistema de referência da montagem

Figura 53 Orientação da peça para a primeira montagem.

Segundo as regras já apresentadas no capítulo 4 a face eleita como face primária é a face que na Figura 53 (b) possui a normal igual a $(0,0,-1)$, pois esta é a face de maior área líquida.

Para selecionarmos os pontos de apoio dos localizadores, devemos encontrar nos vértices e pontos médios das arestas, circunferências cujos raios sejam iguais ao do maior localizador existente no Banco de Dados.

Neste exemplo será admitido que o Banco de Dados é formado por todos os elementos do sistema modular NORELEM(1991), cujo um pequeno extrato encontra-se no apêndice B, consultando esta fonte, obtém-se que a zona de segurança do maior localizador vertical tem raio igual a 10 mm, assim foram localizadas sobre a superfície primária oito circunferências de raio 10 mm cujos centros são candidatos a serem pontos de apoio conforme mostra a Figura 54

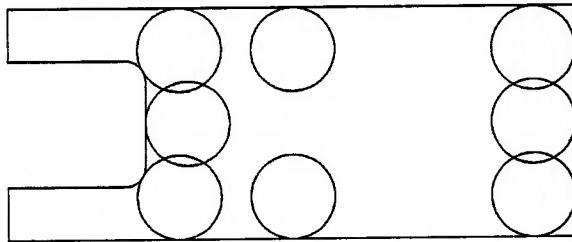


Figura 54 Superfície primária mostrando as circunferências cujos centros são potenciais pontos de apoio de localizadores.

Pelos centros das circunferências foram traçados diversos triângulos e de todos os encontrados, o que segundo os critérios, deverá ser o escolhido e o apresentado abaixo (Figura 55), pois possui a maior área dos triângulos possíveis de serem traçados e além disto possui seu baricentro o mais próximo do centro de massa da peça, entre parênteses na figura, aparece as coordenadas do ponto de contato, baseadas no sistema de referência da montagem

- O campo 1 de sua especificação deve ser o de "LV", pois o plano primário

deste exemplo temos que:

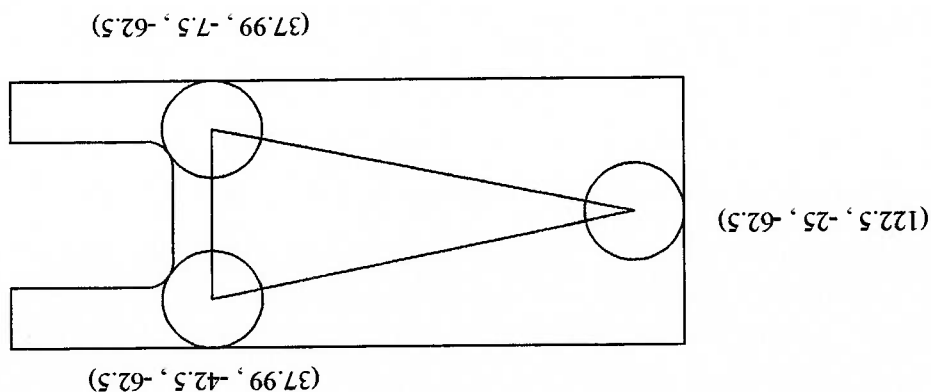
Com isto é possível agora a seleção do localizador primário, selecionar um elemento nada mais é do que especificar os valores possíveis para cada um dos campos de informação deste elemento e posteriormente verificar se existe no Banco de Dados algum elemento que atenda estas especificações. Para o caso do localizador primário

Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Aplicação	Forma e Dimensão	Passo	Rosca / Encaixe
BH	Q 400	40	M10 / 18

Tabela 25 Campos de especificação da base a ser utilizada no exemplo.

Restará agora a seleção dos localizadores, mas antes é necessário que se especifique a base a ser utilizada, como já mencionado, normalmente a especificação da base se comporta como uma condição de contorno para a definição do dispositivo. Assim sendo para esta aplicação será adotada a base código Norelem 2007 010 015, cujos os códigos, no sistema criado para identificação é o apresentado na Tabela 25

Figura 55 Superfície primária mostrando os pontos de aplicação dos localizadores para a primeira montagem.



Adotando-se procedimento idêntico ao utilizado anteriormente e respeitando todas as diretrizes que foram apresentadas nos capítulos anteriores obtve-se como especificação para os demais elementos o seguinte:

1	função	2	forma de contato	3	dimensão característica 1	4	dimensão característica 2	5	zona de segurança	6	volume de segurança	7	vetor normal	8	Ponto de montagem
LV		SE		20	M10 /18	C 10	CIL R14 (0,0,-2) (-0,0,-20)	0,0,1	0,0,-20						

Tabela 26 Campos de informação para o localizador vertical primário selecionado para a primeira montagem (E1, E2, E3).

Baseado nestas condições, foi possível encontrar um localizador cujo código Norem é 208 010 015 e cujos campos de informação são os seguintes:

- E finalmente o campo 5 que define a zona de segurança, pode assumir qualquer forma geométrica que possa se inscrever dentro de uma circunferência de raio 10 mm.
- O campo 4 que define as dimensões do encaixe, deve seguir o já existente na base ou seja "M10 x 18";
- O campo 3, que define a altura do localizador a princípio pode ser qualquer um pois estes são os primeiros localizadores a serem especificados;
- O campo 2 que define a forma de contato pode ser por ordem "PE"(Plana Estrada), "SE"(Superfície Esférica), "PL"(Plana Lisa), ou "SC"(Superfície Cilíndrica) , por se tratar se superfície plana em bruto;
- encontra-se em uma superfície que é paralela ao plano da base;

Um localizador secundário, cujo código Norelem é 2128 010 005 / 216 016 e seus campos de informação são os apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 Campos de informação para um dos localizadores secundários da primeira montagem (E4).

1	função						
2	forma de contato						
3	dimensão 1						
4	dimensão 2						
5	zona de segurança						
6	volume de segurança	CII R 6,5 (0,0,0) + 0,-99,0) + box (15,-30,13) (-15,-60,-52)	C 13	30	52		
7	vetor normal				0,1,0		
8	Ponto de montagem						0,-45,-52

O outro localizador secundário e o localizador terciário são os de código Norelem 2128 010 001 / 216 016 e seus campos de informação são os apresentados na Tabela 28

Tabela 28 Campos de informação para um dos localizadores secundários e o terciário da primeira montagem (E5 e E6)

1	função						
2	forma de contato						
3	dimensão 1						
4	dimensão 2						
5	zona de segurança						
6	volume de segurança	CII R 6,5 (0,0,0) + 0,-99,0) + box (15,-30,13) (-15,-60,-20)	C 13	30	20		
7	vetor normal				0,1,0		
8	Ponto de montagem						0,-45,-20

Para imobilização da peça, após a aplicação de todas as regras descritas no capítulo 4 verificou-se a necessidade de dois sujeitadores e para aplicá-los foi necessário a retirada das "features", "R5", "R7" e "R8", do conjunto de "features" candidatas a serem usinadas

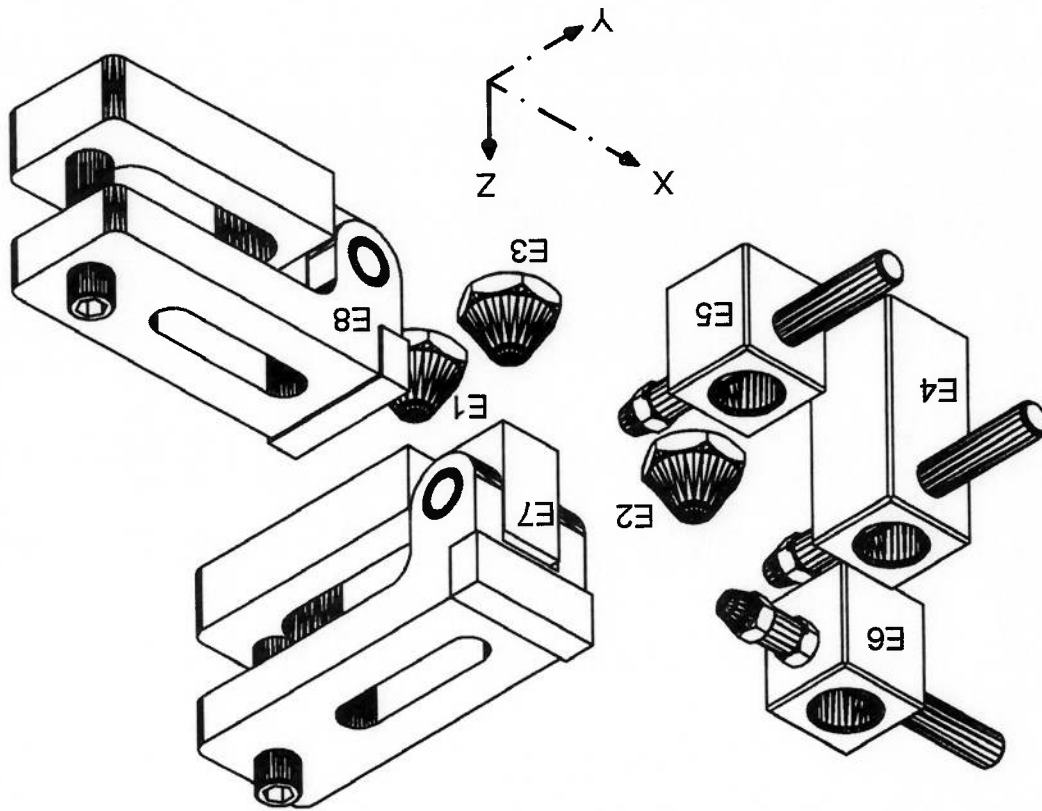
O elemento de sujeição o escolhido foi o sujeitador horizontal que aparece na Tabela 29 (código Norelem 451 010),

Tabela 29 Campos de informação para o sujeitor horizontal a ser utilizado na primeira montagem (E7 e E8).

1	função	SH
2	forma de contato	PE
3	dimensão característica 1	47
4	dimensão característica 2	4
5	zona de segurança	R 18 x 40
6	volume de segurança	box (20,0,9) (-20,-109,-47)
7	vetor normal	0,1,0
8	Ponto de montagem	0,-63,-47

E com isto o leiaute do dispositivo para a primeira montagem ficou como indicado

abaixo



O sistema de coordenada apresentada na figura serve apenas para indicar as direções do eixo e não sua origem

Figura 56 Leiaute de montagem dos localizadores para a primeira montagem.

E1	(37,99, -42,5)	-	0	0	0	0	0	0	(-65,5, -25)
E2	(122,5, -25)	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	(37,99, -7,5)	0	0	0	0	0	0	0	0
E4	(122,5, 47,5)	0	0	0	0	0	0	0	0
E5	(70, 47,5)	0	0	0	0	0	0	0	0
E6	(177,5, -25)	0	0	0	0	0	0	0	0
E7	(96,25, -115,5)	0	0	0	0	0	0	0	0
E8	(-65,5, -25)	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 30 Tabela de coordenadas do ponto de montagem para o primeiro "set-up":

Note-se que os elementos selecionados ocupam a posição indicada com relação a peça, mas com certeza não podem ser montados sobre a base desta forma, pois em primeiro lugar as partes inferiores dos elementos não estão no mesmo plano e finalmente a posição que o ponto de montagem de cada elemento ocupa não garante que exista um furo na base exatamente nesta posição para possibilitar sua montagem.

Para resolver estes problemas, é que existem os elementos auxiliares que já foram apresentados no capítulo 4. Com o uso de calços universais será possível respeitar as posições de cada elemento em relação ao plano XY e ainda encontrar um furo na base para executar a fixação e fazendo-se uso dos calços de altura será possível garantir que as partes inferiores dos elementos estejam no mesmo plano.

Para a seleção dos suportes universais será aplicado o procedimento já descrito no capítulo 4 e que se inicia com a matriz de coordenadas.

Para cada par será calculada a distância em "X" e em "Y" e cada uma destas distâncias será dividida por 40 que é o passo da base utilizada, se o resto desta divisão for menor ou igual a 0,01 para as duas distâncias, na interseção linha coluna correspondente será colocado o número 1 (um) caso contrário 0 (zero)

Como em nenhuma linha apareceu o número 1(um), apenas um elemento poderá ser montado sem o suporte universal e o escolhido será o elemento E4, que preenche os requisitos já apresentados no capítulo 4.

O suporte universal escolhido deverá ter como característica:

- Campo 1 de sua especificação obrigatoriamente SU;
- Campo 2 que define a altura pode ser qualquer um;
- Campo 3 que define a dimensão do encaixe, deve Ter como valor M10 x 18

pois esta é a dimensão do encaixe dos elementos já selecionados;

- O campo 4 deve possuir um R_{min} maior que 20 e como a montagem será feita sobre a base, que a princípio possui área disponível para sua acomodação, o R_{max} pode assumir qualquer valor maior que 40

Baseados nestas características, encontramos o suporte universal código Norem

2146 010 006 cujos campos de informação são:

1	função	2	altura	3	dimensão do encaixe	4	ponto de montagem	5	volume de segurança
SU	20	M10 x 18	$R_{min} = 33$ $R_{max} = 113$	box (20,12,0) (-20,-128,-20)					

Este suporte pode ser aplicado para os localizadores verticais, horizontais e até para o sujeitador horizontal.

Definido o suporte universal e os elementos que se utilizarão dele, o próximo passo é o de calcular os calços de altura necessários. Para isto, inicialmente deve-se obter a

posição da parte inferior de cada elemento (com relação a origem do sistema de referência da montagem), levando-se em conta inclusive, a existência dos suportes universais. Estas informações são de fácil obtenção, uma vez que se conhece o ponto de aplicação de cada elemento na peça e o Banco de Dados dos elementos possui a posição do ponto de montagem, a tabela abaixo sintetiza estas informações inclusive apresentando o valor do calço necessário.

Tabela 31 Valor dos calços necessários para montagem dos elementos sobre a base.

Elemento	Distância do pto de montagem até a origem	Altura do calço necessário
E ₁	-102,5	5,75
E ₂	-102,5	5,75
E ₃	-102,5	5,75
E ₄	-82	26,25
E ₅	-92,5	15,75
E ₆	-81,25	27
E ₇	-108,25	0
E ₈	-108,25	0

Normalmente existem calços ou combinações de calços que propiciam a obtenção de qualquer valor, mas neste exemplo, será admitido que só se dispõe dos calços que são apresentados no apêndice B, e consultando esta fonte observa-se que o menor valor de calço existente é de 8 mm, como o menor calço requerido é de 5,75 mm, deve-se somar 8 (a dimensão do menor calço existente) a todos os valores obtidos na Tabela 31, para que seja possível a existência de calços, desta forma os calços a serem utilizados são os apresentados na Tabela 32.

Tabla 32 Calços a serem utilizados na primeira montagem.

Elemento	Altura do calço necessário	Calço a ser utilizado	Altura real
E ₁	13.75	1 pç 2118 010 115 E25	14
E ₂	13.75	1 pç 2118 010 115 E25	14
E ₃	13.75	1 pç 2118 010 115 E25	14
E ₄	34.25	1 pç 2118 010 155 E25 +1 pç 2116 010 015	34
E ₅	23.75	1 pç 2118 010 155 E25 + 1 pç 2118 010 125 E05	24
E ₆	35	1 pç 2116 010 010	35
E ₇	8	1 pç 2116010006	8
E ₈	8	1 pç 2116010006	8

Finalmente, durante a fase de montagem dos elementos sobre a base, deverão ser escolhidos os elementos auxiliares, parafusos, arruelas etc..., que permitam a montagem de todos os elementos.

Nas figuras a seguir apresenta-se a montagem final do dispositivo para esta fase da usinagem, nestas figura o sistema de coordenada apresentada representa a direção dos eixos e não sua origem e o eixo de maior comprimento representa o eixo X, o segundo maior o eixo Y e o menor o eixo Z.

Figura 58 Outros ângulos de visualização do leiaute do dispositivo.

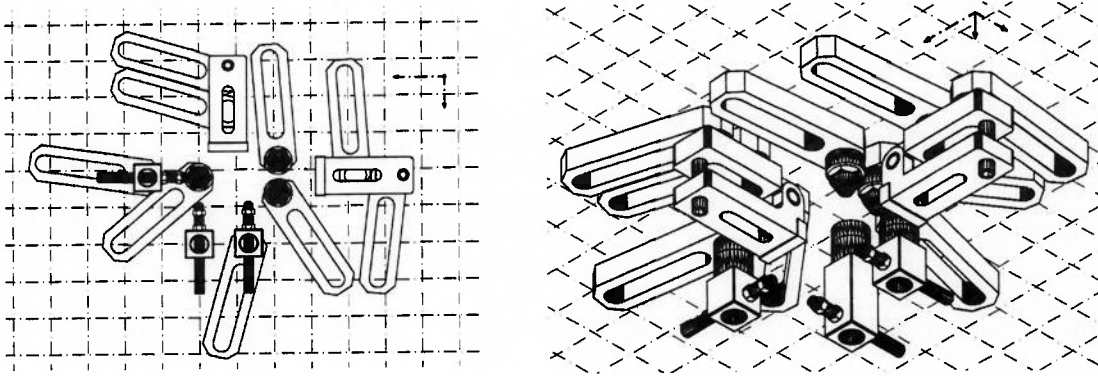
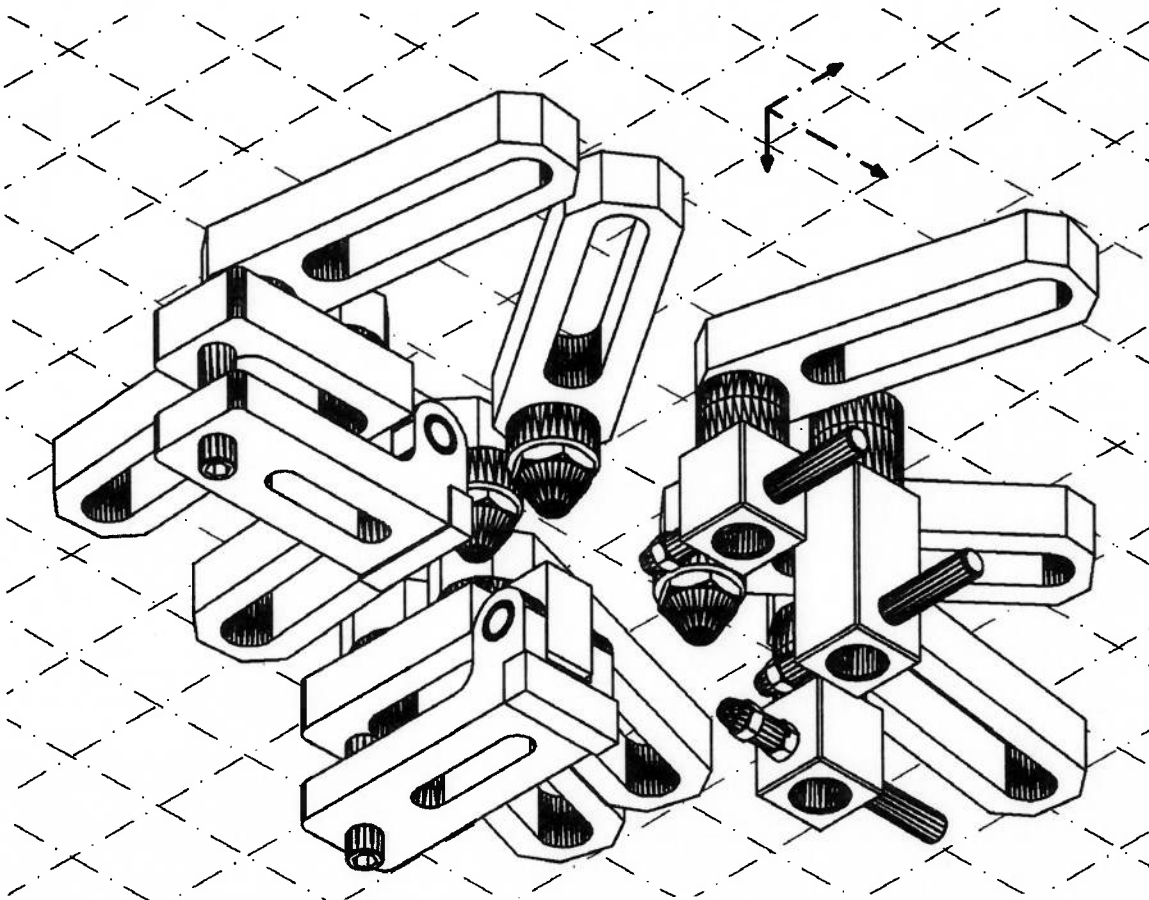


Figura 57 Leiaute final do dispositivo para a primeira montagem.



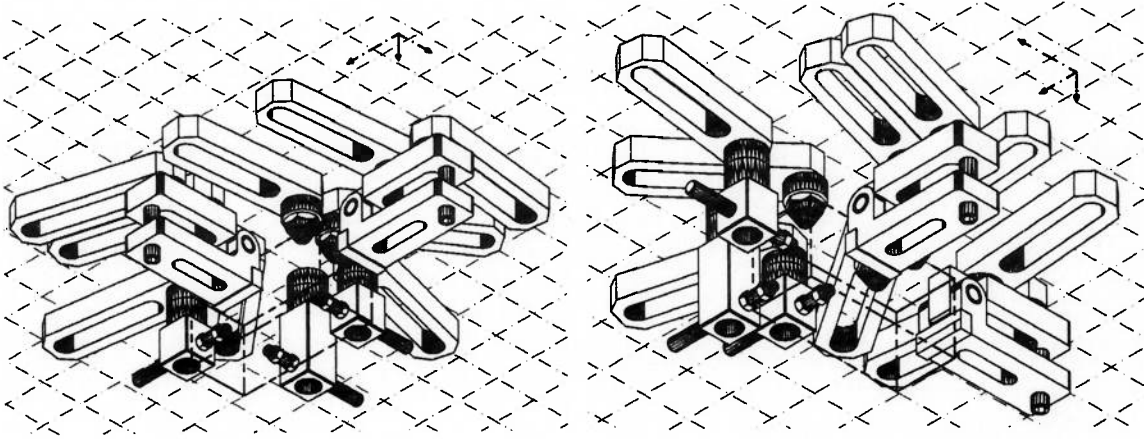


Figura 59 A fixação da matéria prima no dispositivo para a primeira montagem.

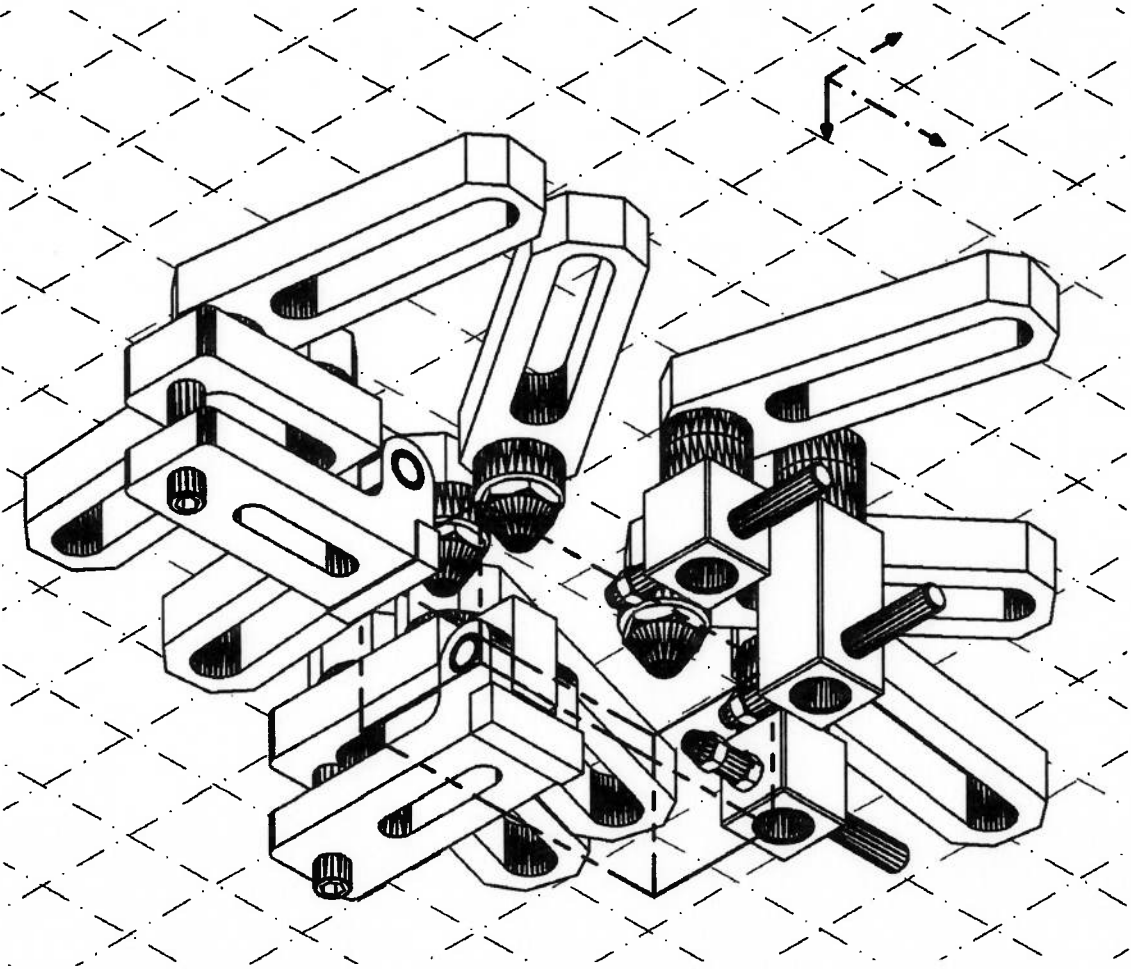


Figura 60 Outros ângulos de visualização da matéria prima fixada no dispositivo para a primeira montagem.

Figura 62 A peça depois de usinada na primeira montagem vista por outro ângulo

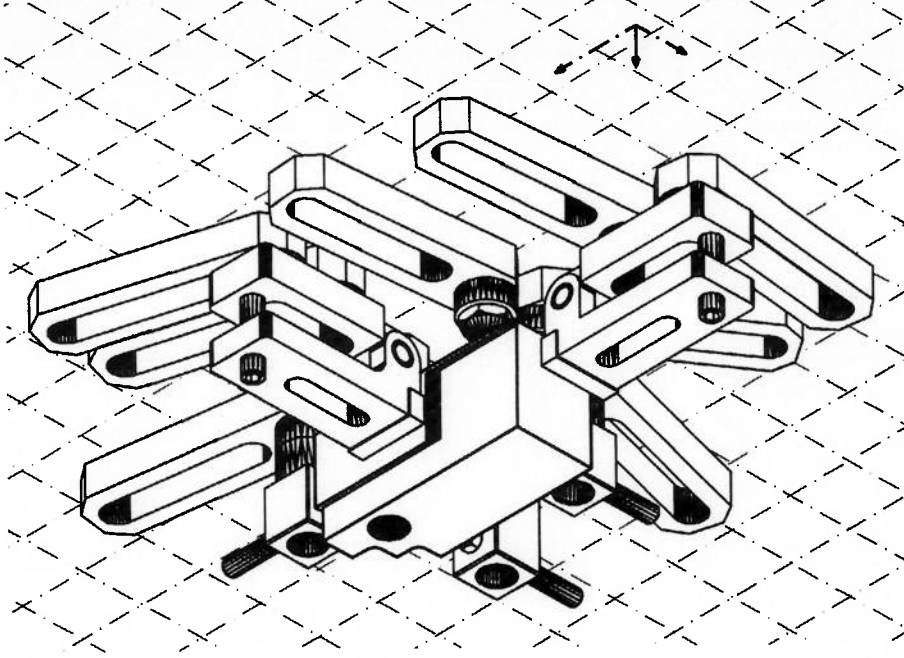
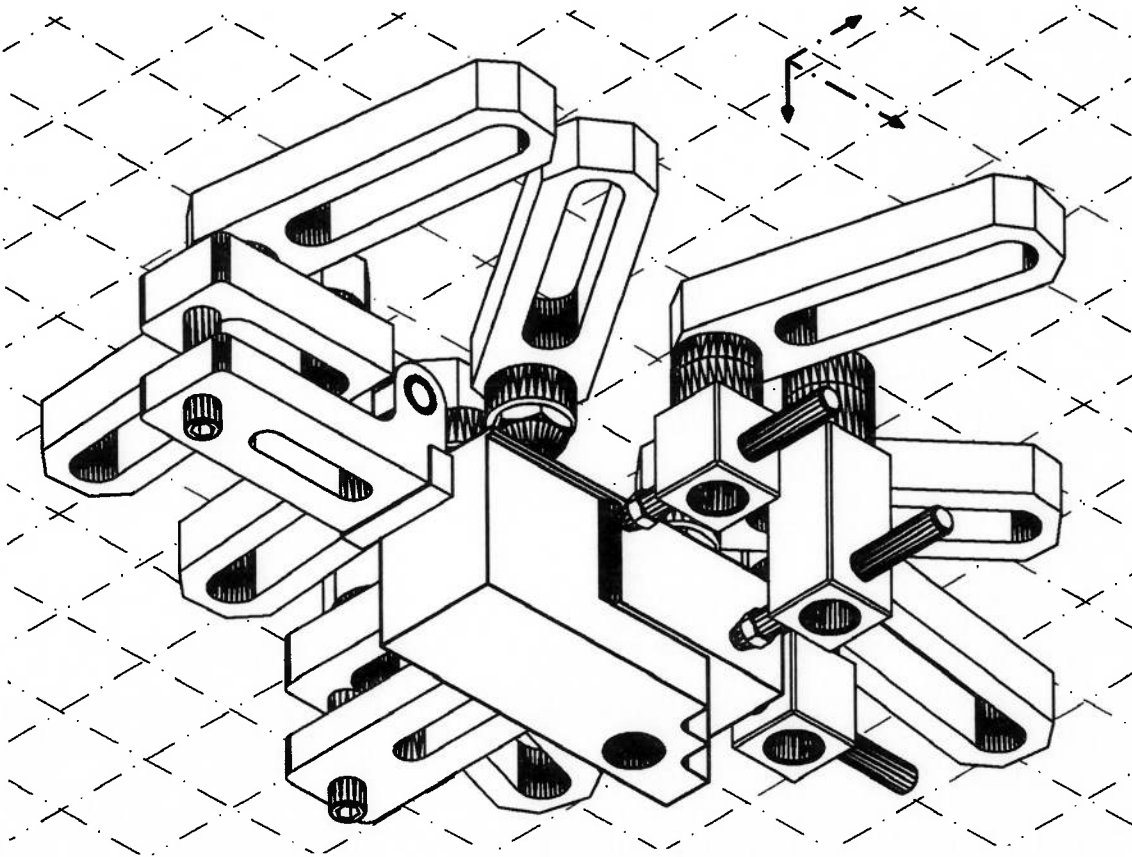


Figura 61 A peça depois de usinada na primeira montagem.



A aplicação da estrutura proposta, indica como necessário mais três montagens para que se possa concluir a fabricação da peça, isto em função da existência de detalhes a usinar em todas as suas faces e de que alguns detalhes possuem direcões de usinagem bem específicos.

Na sequência, de forma sintética, são apresentados os resultados finais, obtidos pela aplicação da estrutura, para a configuração, de cada uma das montagens, que são necessárias até a completa construção da peça.

5.5 A configuração do dispositivo para a segunda montagem

A matéria prima para esta etapa é a peça usinada na etapa anterior e sua forma pode ser vista na Figura 63.

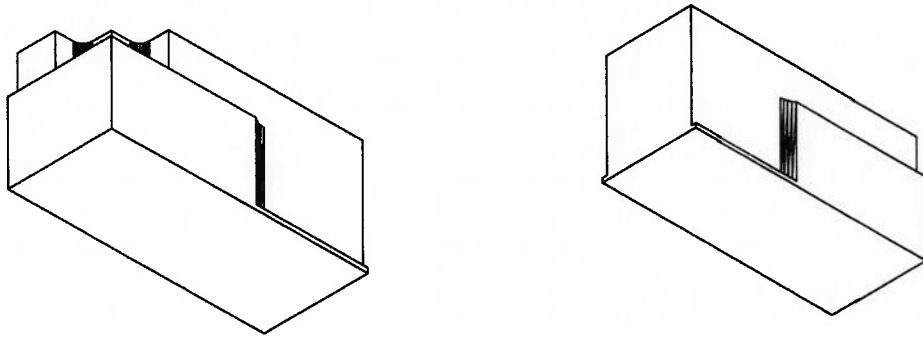


Figura 63 A matéria prima para a segunda etapa de usinagem vista em dois ângulos diferentes.

Aplicando-se as regras apresentadas no capítulo 4, resulta que as "features" a serem removidas nesta montagem são as indicadas na Figura 64 e o *vetor ferramenta-máquina*, não havendo adequado é o $(0,0,1)$, que coincide com o *vetor ferramenta-máquina*, não havendo portanto necessidade de se rotacionar a peça.

Os pontos de contato entre estes elementos e a peça são os apresentados na Tabela 3 e o leiaute de montagem é o apresentado na Figura 65.

- 02 sujeitadores código Norelem 451 010.
de contato plana lisa (E4 e E6);
- 02 localizadores horizontais código Norelem 2128 010 001 / 216 010 ponta
contato plana lisa (E5);
- 01 localizador horizontal código Norelem 2128 010 005 / 216 010 ponta de
contato plana lisa (E5);
- 03 localizadores verticais código Norelem 208 010 015 (E1, E2, E3);

o dispositivo de fixação os seguintes:

Respeitando-se rigorosamente as regras apresentadas seleciona-se como elementos para

Figura 64 Nesta segunda etapa, foram eleitas para serem usinadas as "features" "R5", "R7", "R8", "R11" e "R12".

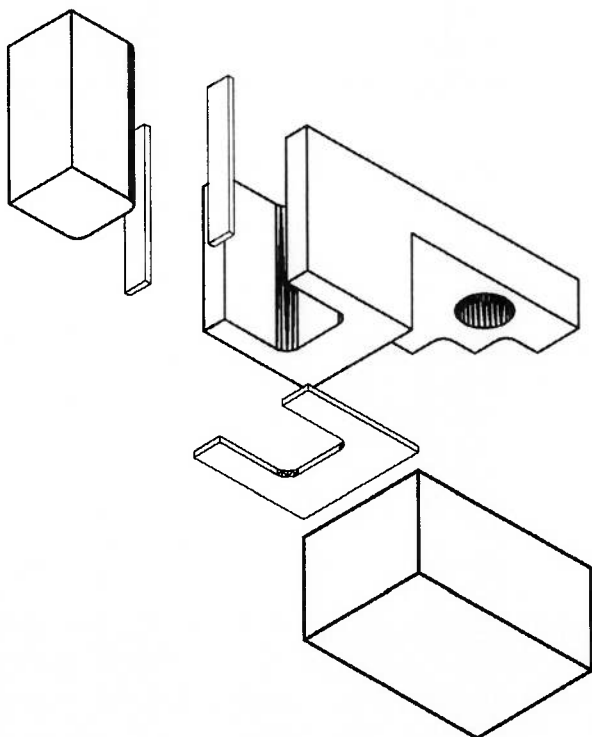


Tabella 33 pontos de contato entre os elementos e peça para a segunda montagem.

Elemento	Ponto de contato com peça
E1	(120, 40, 0)
E2	(39.3, 40, 0)
E3	(50, 10, 0)
E4	(120, 50, 10)
E5	(10, 50, 50)
E6	(130, 40, 10)
E7	(80, 0, 10)
E8	(25, 0, 50)

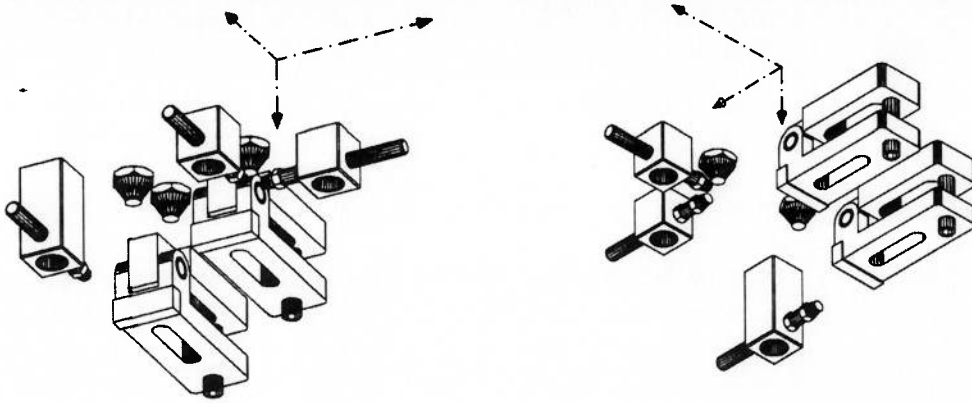
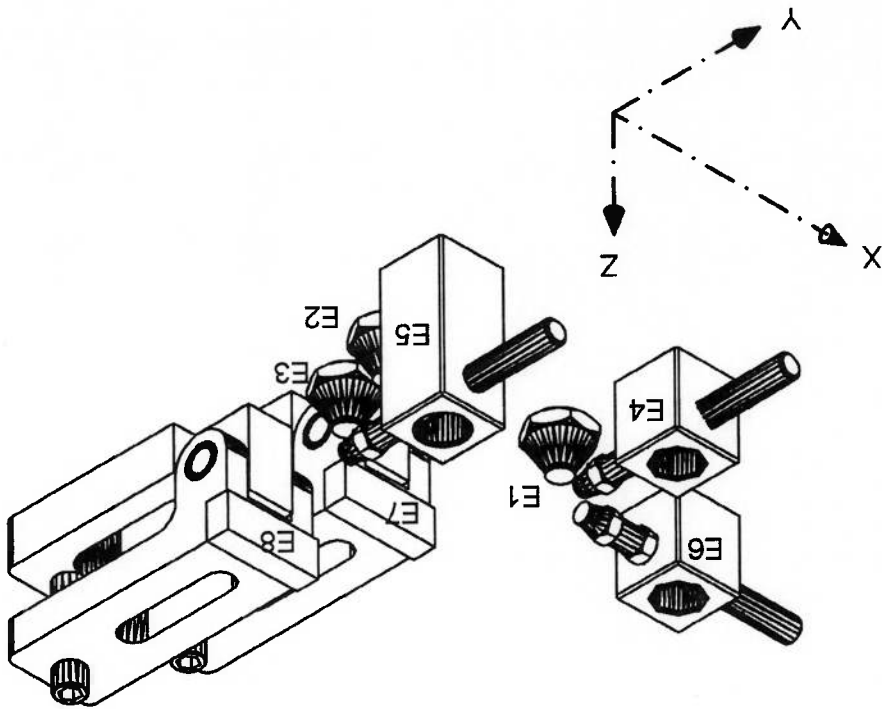


Figura 65 O leiaute de montagem dos elementos localizadores e de sujeição, para a segunda montagem, visto de vários ângulos.

No levantamento realizado a respeito da necessidade de suportes universais e calços de

altura, a aplicação da estrutura proposta resultou que os elementos "E1", "E2" e "E7", não necessitam dos suportes universais e com relação aos calços de altura o resultado foi o seguinte:

Tabella 34 Relação de calços necessários para a segunda montagem.

Elem.	Calço necessário	Código do calço Norelem
E1	14+14	2 pcs 2118 010 115 E25
E2	14 + 14	2 pcs 2118 010 115 E25
E3	8	2116 010 006
E4	10+8	2118 010 125 E05 + 2116 010 006
E5	10 + 16	2118 010 125 E05 + 2118 010 115 E30
E6	10+8	2118 010 125 E05 + 2116 010 006
E7	11	2118 010 115 E10
E8	11 +20	2118 010 115 E10 + 2116 010 015

Com isto esta definido o dispositivo de fixação, como pode ser observado nas figuras a

seguir.

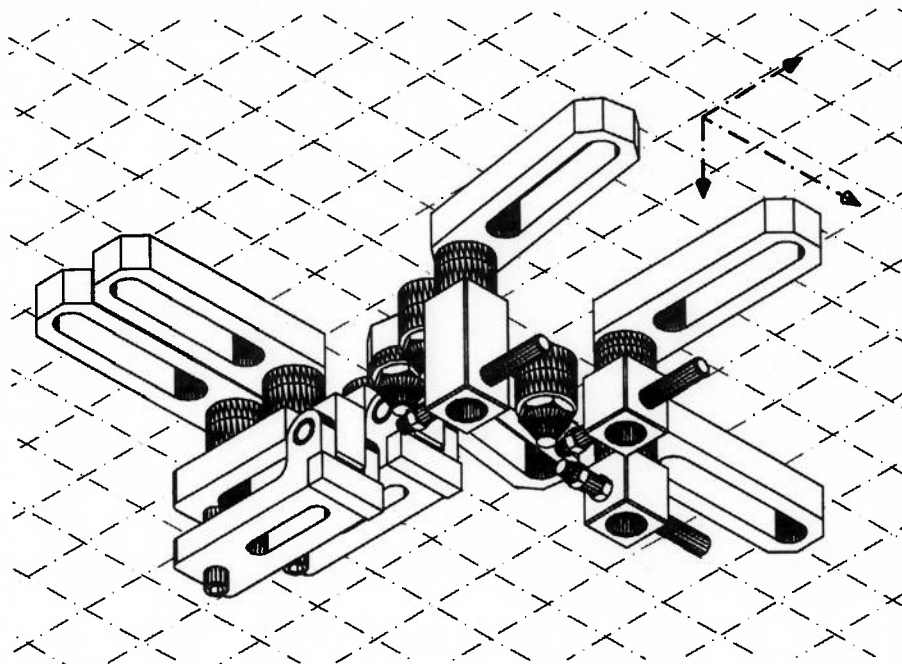


Figura 66 A montagem do dispositivo para o segundo "set-up" com os suportes universais e os calços de altura.

Figura 68 A matéria prima montada no dispositivo para a segunda sequência de usinagem, vista de dois ângulos.

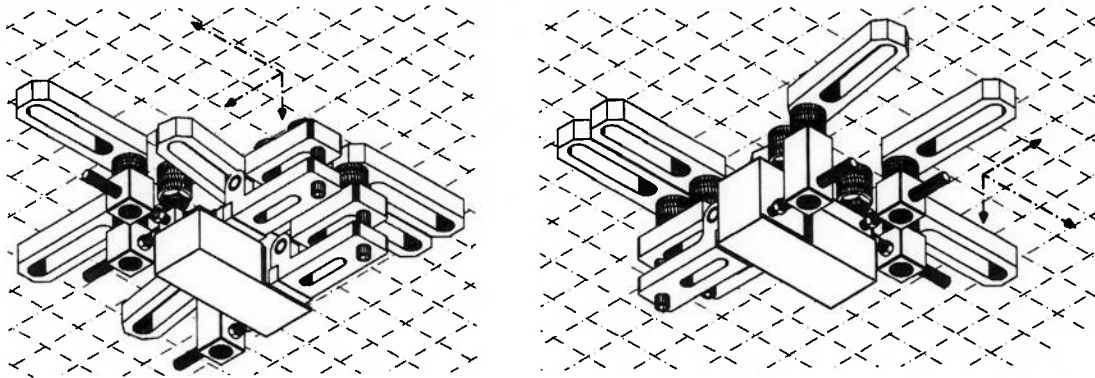
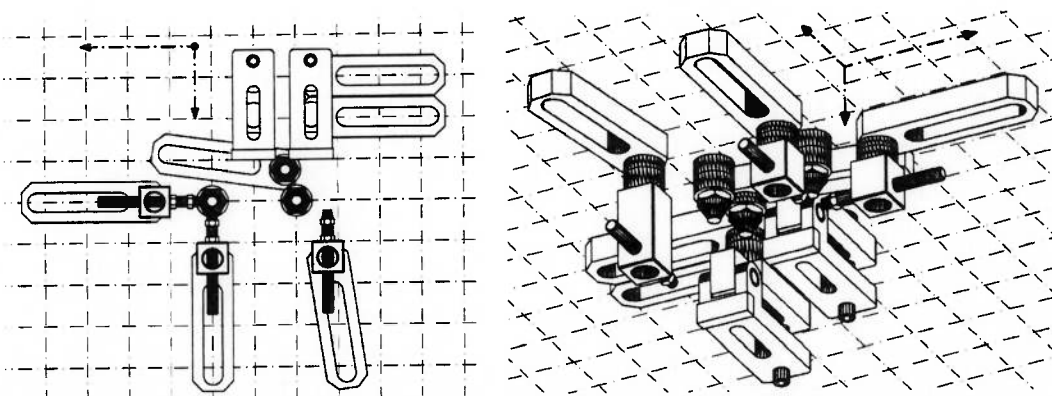


Figura 67 A montagem do dispositivo para o segundo "set-up" com os suportes universais e os calços de altura vista de outros ângulos.

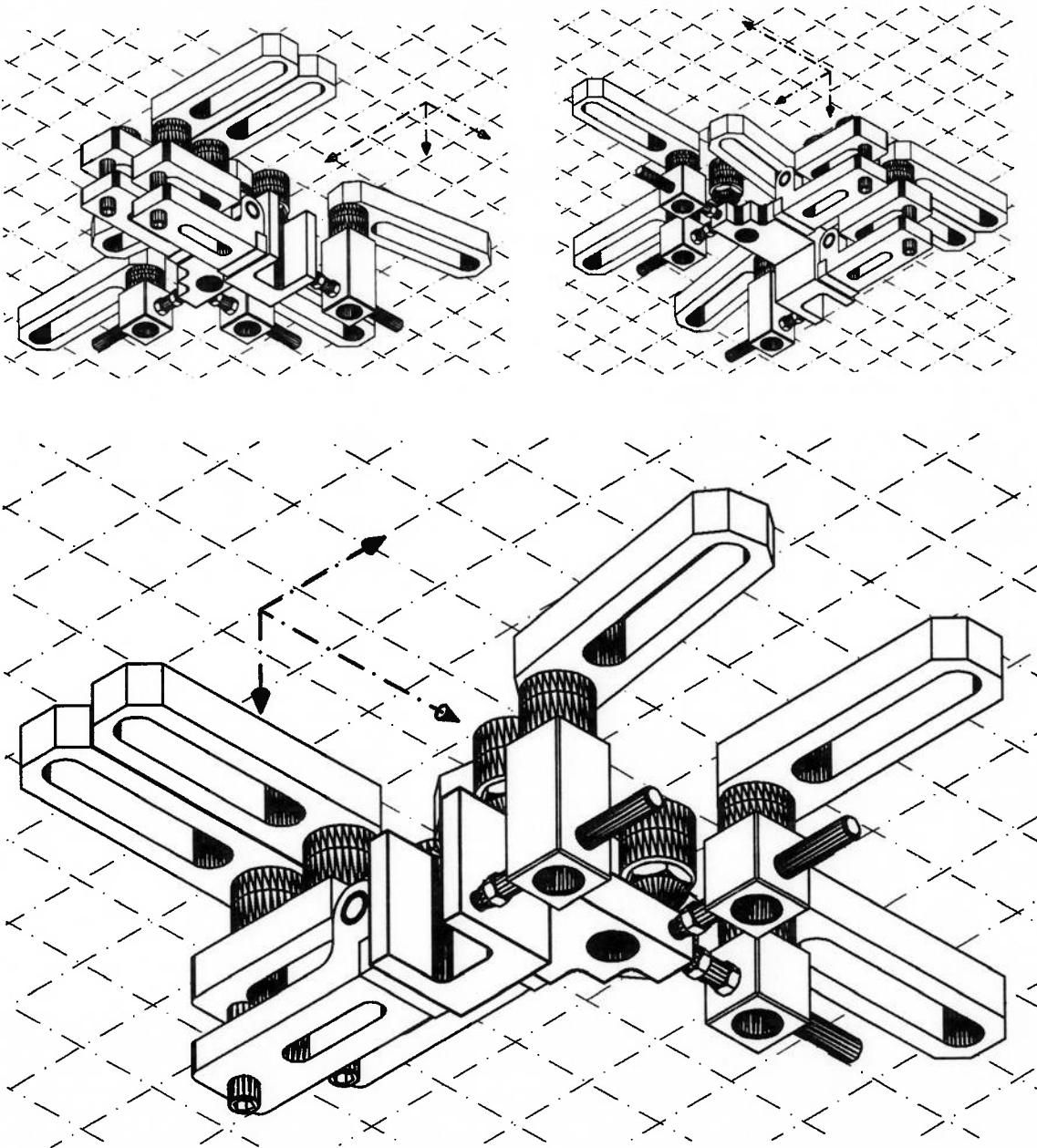


vista na Figura 70

A matéria prima para esta etapa é a peça usinada na etapa anterior e sua forma pode ser

5.6 A configuração do dispositivo para a terceira montagem

Figura 69 A peça já usinada na segunda montagem, vista de vários ângulos.



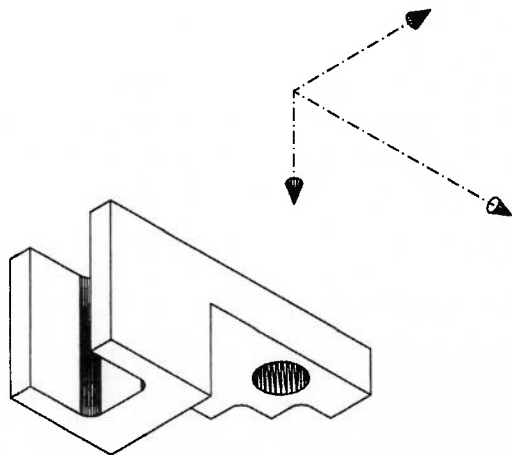


Figura 70 A matéria prima para a terceira etapa de usinagem.

Aplicando-se as regras apresentadas no capítulo 4, resulta que a única "feature" a ser removida nesta etapa é a "feature" "R6" e o vetor *ferramenta peça* adequado é o $(-1,0,0)$, havendo portanto necessidade de se rotacionar a peça de 90° segundo o eixo Y, a Figura 71 apresenta a peça já em posição de usinagem e a "feature" a ser removida nesta terceira etapa

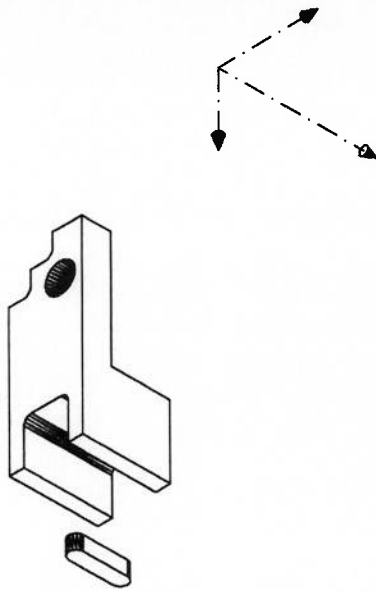


Figura 71 Nesta terceira etapa, será usinada a "feature" "R6" e a peça com seu sistema de coordenada deverão ser rotacionados de 90° com relação ao eixo Y.

Respeitando-se rigorosamente as regras apresentadas seleciona-se como elementos para o dispositivo de fixação os seguintes:

- 04 localizadores verticais código Norelem 208 010 015 (E1, E2, E3 e E6);
- 01 localizador horizontal código Norelem 2128 010 005 / 216 010 ponta de contato plana lisa (E5) com campo L mínimo (igual a 20);
- 01 localizador horizontal código Norelem 2128 010 001 / 216 010 ponta de contato plana lisa (E4) com campo L mínimo (igual a 20);
- 02 sujeitadores código Norelem 451 010.

Os pontos de contato entre estes elementos e a peça são os apresentados na Tabela 35 abaixo e o leiaute de montagem é o apresentado na Figura 72.

Tabela 35 pontos de contato entre os elementos e peça para a terceira montagem.

Elemento	Ponto de contato com peça
E1	(0, 40, -120)
E2	(0, 40, -39.3)
E3	(0, 10, -50)
E4	(10, 50, -120)
E5	(50, 50, -10)
E6	(40, 25, -50)
E7	(60, 25, -39.30)

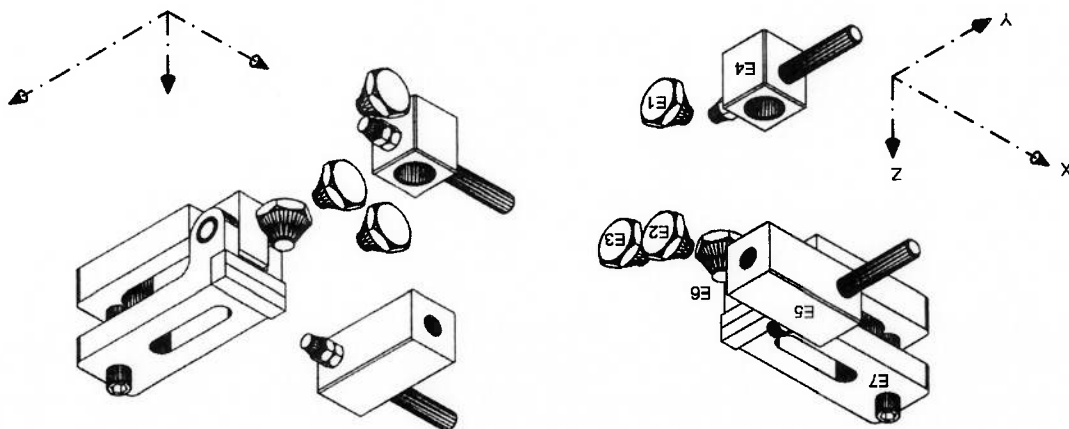
Em função da existência do bloco, surgem duas superfícies possíveis de serem utilizadas para a fixação dos elementos, é necessário se decidir que elemento será fixado em que superfície, utilizando-se novamente as regras já expressas no capítulo 4 tem-se que 'E1', 'E2', 'E3', 'E5', serão fixados no bloco os demais na base.

Tabela 36 Campos de informação para o bloco a ser aplicado na terceira montagem

Campos 1	Campos 2	Campos 3	Campos 4
Aplicação	Forma e Dimensão	Passo	Rosca / Encaixe
BL	P 119 x 160 x 160	40	M10 / 18

Nesta montagem pode-se observar que o plano primário se localiza em uma superfície que é perpendicular a superfície da base, em função disto faz-se necessário o uso de um bloco de fixação como preconiza as regras do capítulo 4 e seguindo estas mesmas regras advém que o bloco a ser escolhido deve primeiramente possuir encaixes compatíveis com o da base já selecionada (M10 x 18) e dimensões maiores que a superfície eleita como primária (idealmente as dimensões da face de apoio deveriam ser de 210 mm de altura e 130 mm de largura), procurando no Banco de Dados adotado, encontramos o Bloco código Norelem 2041 010 006, cujos campos de informação no sistema criado neste trabalho seriam:

Figura 72 O leiaute de montagem dos elementos localizadores e de sujeição, para a terceira montagem, visto de dois ângulos.



No levantamento realizado a respeito da necessidade de suportes universais e calços de altura, a aplicação da estrutura proposta resultou que os elementos "E1" e "E2" não necessitam dos suportes universais e com relação aos calços de altura o resultado foi o seguinte:

seguinte:

Tabela 37 *Relação de calços necessários para a terceira montagem.*

Elem.	Calço necessário	Código do calço Norelem
E1	20	2116 010 015
E2	20	2116 010 015
E3	0	-
E4	0	-
E5	9 + 9	2 pcs 2118 010 115 E05
E6	60 + 10	2118 010 125 E25 + 2118 010 125 E05
E7	40 + 14	2118 010 125 E15 + 2118 010 115 E25

Com isto está definido o dispositivo de fixação como pode ser observado nas figuras a seguir:

seguir:

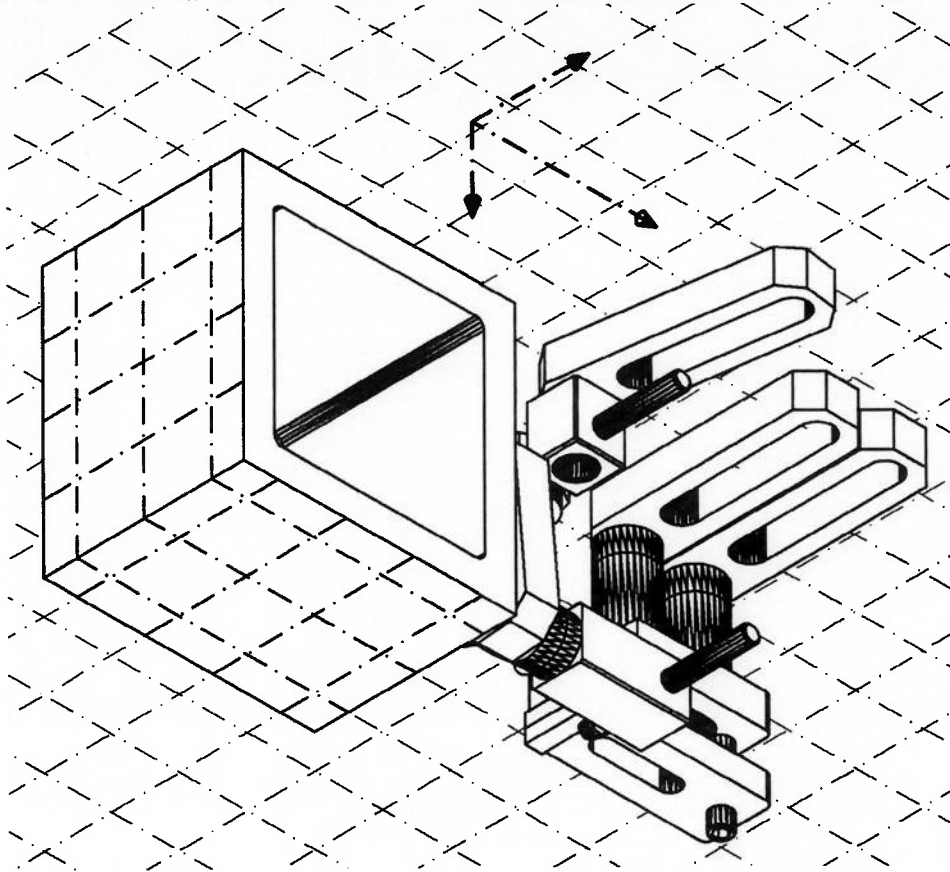


Figura 73 *A montagem do dispositivo para o terceiro "set-up" com os suportes universais e os calços de altura.*

Figura 75 A matéria prima montada no dispositivo para a terceira sequência de usinagem, vista de dois ângulos.

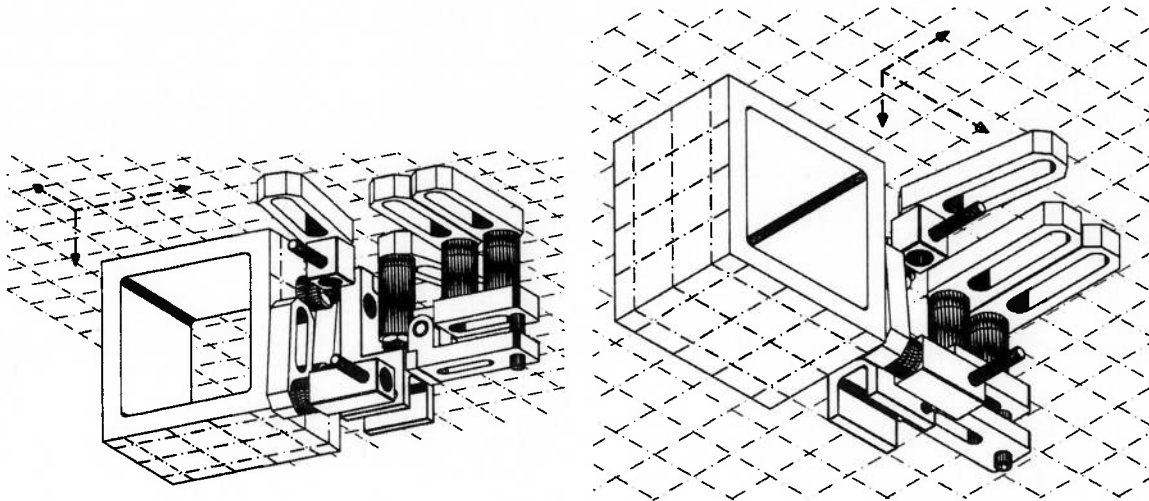
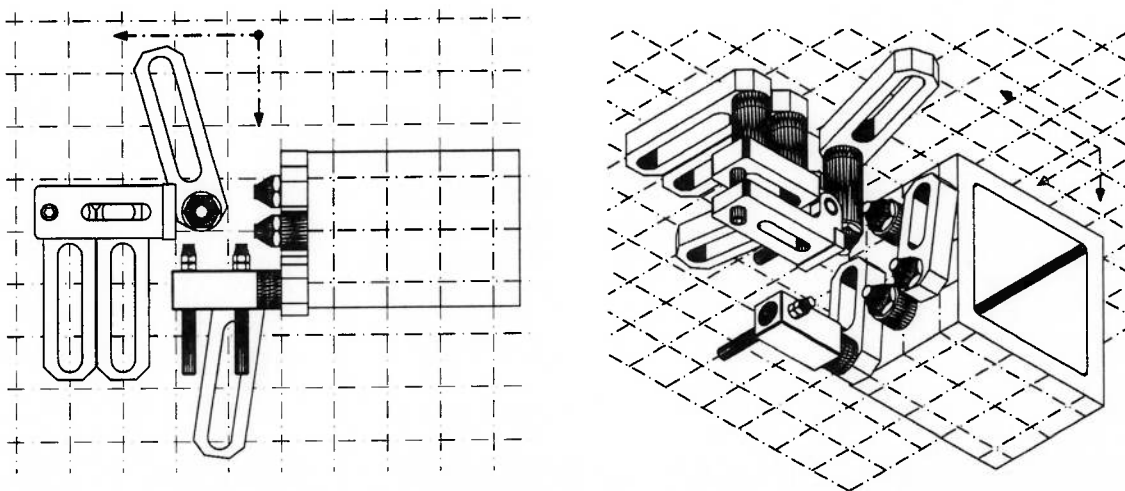


Figura 74 A montagem do dispositivo para o terceiro "set-up" com os suportes universais e os calços de altura vista de outros ângulos.

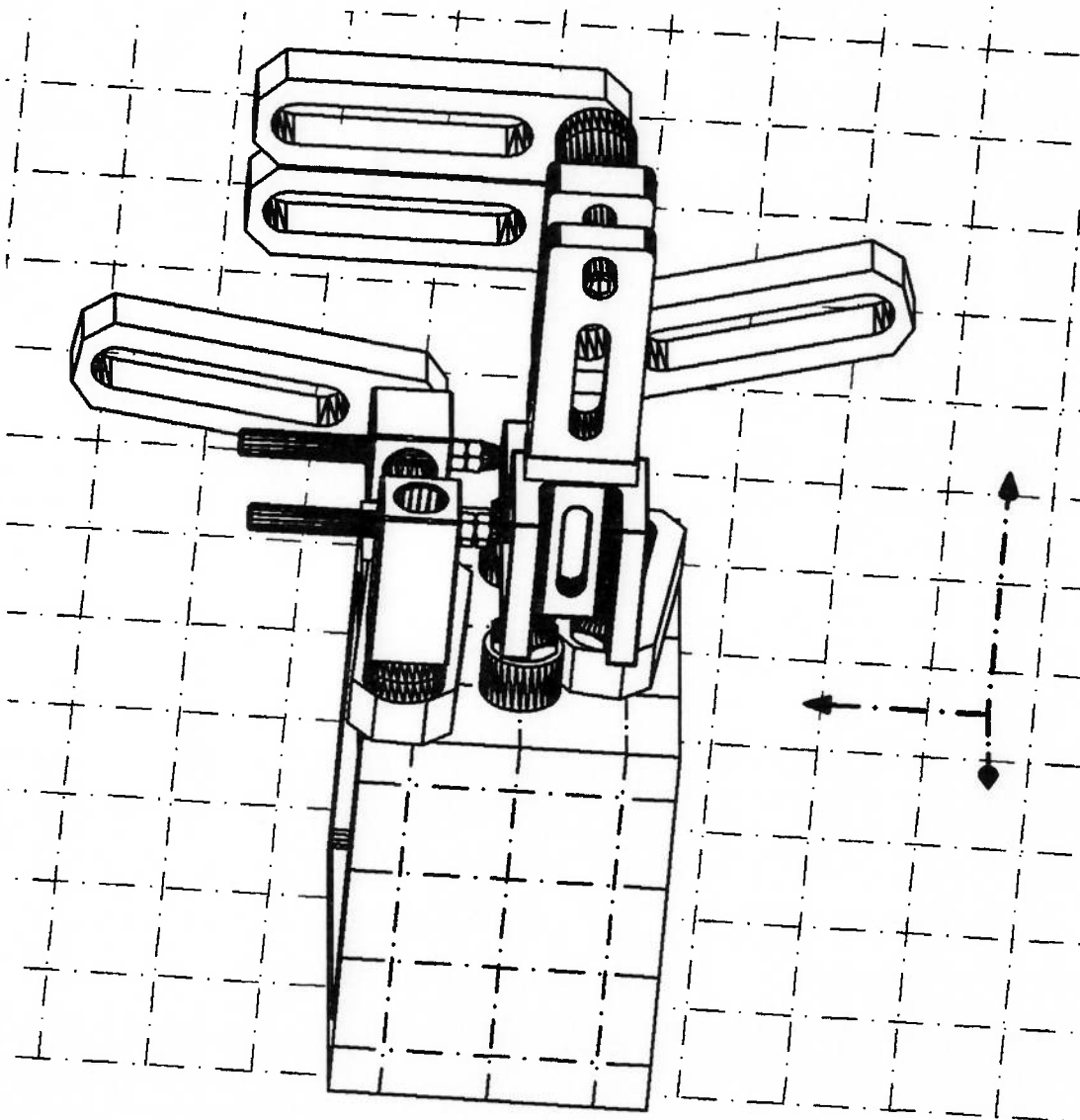


vista na Figura 70

A matéria prima para esta etapa é a peça usinada na etapa anterior e sua forma pode ser

5.7 A configuração do dispositivo para a quarta montagem

Figura 76 A peça já usinada na terceira montagem.



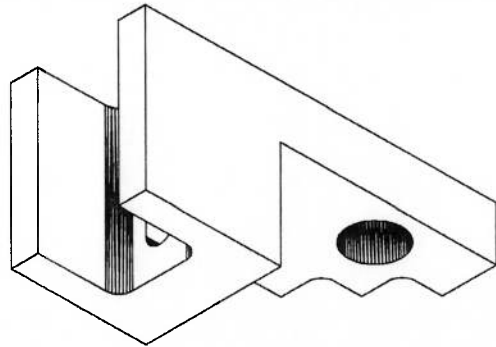


Figura 77 A matéria prima para quarta etapa de usinagem.

Aplicando-se as regras apresentadas no capítulo 4, resulta que as "features" a serem removidas nesta etapa são as "features" "R3" e "R9" e o vetor ferramenta peça adequado é o $(0, -1, 0)$, havendo portanto necessidade de se rotacionar a peça de 90° segundo o eixo X, a Figura 71 apresenta a peça já em posição de usinagem e as "features" a serem removidas nesta terceira etapa

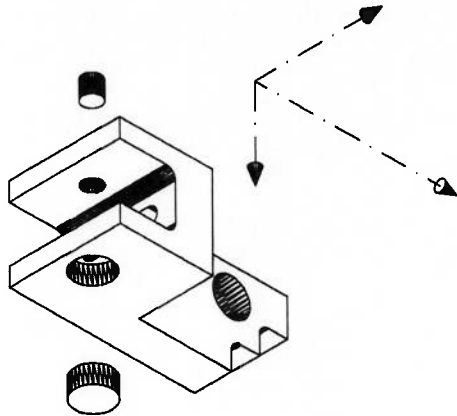


Figura 78 Nesta quarta etapa, serão usinadas as "features" "R3" e "R6" sendo que a peça com seu sistema de coordenada deverá ser rotacionados de 90° com relação ao eixo X.

Respeitando-se rigorosamente as regras apresentadas, seleciona-se como elementos para o dispositivo de fixação os seguintes:

- 05 localizadores verticais código Norem 208 010 015 (E1, E2, E3, E4 e E5);

- 01 localizador horizontal código Norelem 2128 010 005 / 216 010 ponta de contato plana lisa (E6) com campo L mínimo (igual a 20);
- 01 sujeitador código Norelem 451 010. (E7)

Os pontos de contato entre estes elementos e a peça são os apresentados na Tabela 38 abaixo e o leiaute de montagem é o apresentado na Figura 72.

Tabela 38 pontos de contato entre os elementos e peça para a quarta montagem.

Elemento	Ponto de contato com peça
E1	(120, 0, -40)
E2	(39.3, 0, -40)
E3	(50, 0, -10)
E4	(10, 50, -50)
E5	(120, 10, -50)
E6	(0, 30, -5)
E7	(80, 20, -40)

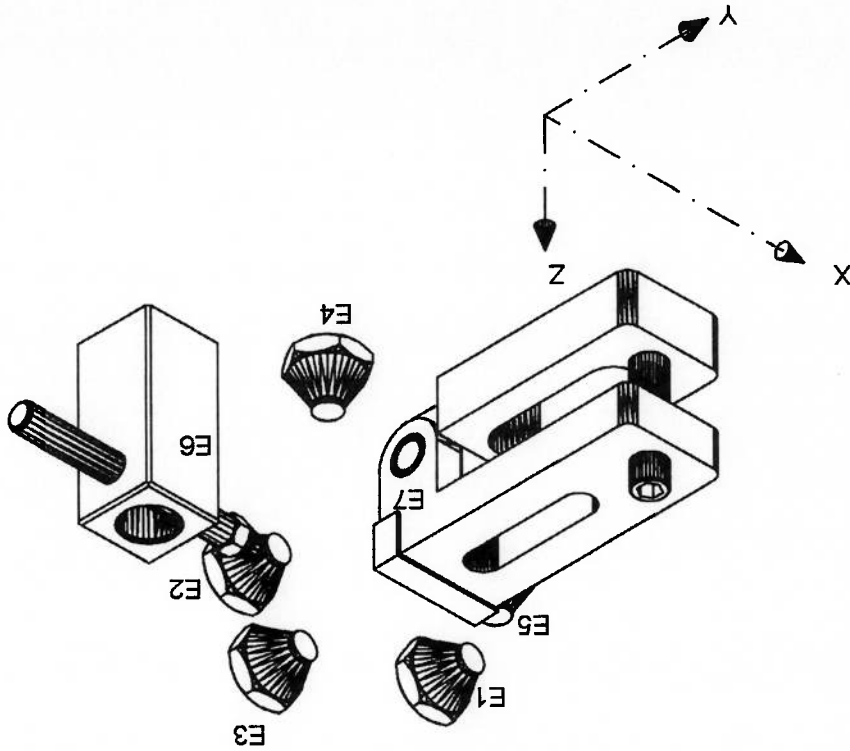


Figura 79 O leiaute de montagem dos elementos localizadores e de sujeição, para a quarta montagem.

Nesta montagem pode-se observar que o plano primário também se localiza em uma superfície que é perpendicular a superfície da base, em função disto faz-se necessário novamente o uso de um bloco de fixação como preconiza as regras do capítulo 4 e seguindo estas mesmas regras advém que o bloco a ser escolhido deve primeiramente possuir encaixes compatíveis com o da base já selecionada (M10 x 18) e dimensões maiores que a superfície eleita como primária (idealmente as dimensões da face de apoio deveriam ser de 210 mm de largura e 130 mm de altura), procurando no Banco de Dados adotado, encontramos o Bloco código Norelem 2041 010 006, cujos campos de informação no sistema criado neste trabalho seriam:

Tabela 39 Campos de informação para o bloco a ser aplicado na quarta montagem

Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Aplicação	Forma e Dimensão	Passo	Rosca / Encaixe
BL	P 119 x 160 x 160	40	M10 / 18

Em função da existência do bloco, surgem duas superfícies possíveis de serem utilizadas para a fixação dos elementos, é necessário se decidir que elemento será fixado em que superfície, utilizando-se novamente as regras já expressas no capítulo 4 tem-se que "E1", "E2", e "E3", serão fixados no bloco os demais na base.

No levantamento realizado a respeito da necessidade de suportes universais e calços de altura, a aplicação da estrutura proposta resultou que os elementos "E1", "E2" e "E7" não necessitam dos suportes universais e com relação aos calços de altura o resultado foi o seguinte:

Tabela 40 Relação de calços necessários para a quarta montagem.

Elem.	Calço necessário	Código do calço Norelem
E1	20	2116 010 015
E2	20	2116 010 015
E3	0	-
E4	30	2118 010 125 E10
E5	30	2118 010 125 E10
E6	13 + 30	2118 010 115 E20 + 2118 010 125 E10
E7	13 + 20	2118 010 115 E20 + 2116 010 015

Com isto está definido o dispositivo de fixação como pode ser observado nas figuras a

seguir.

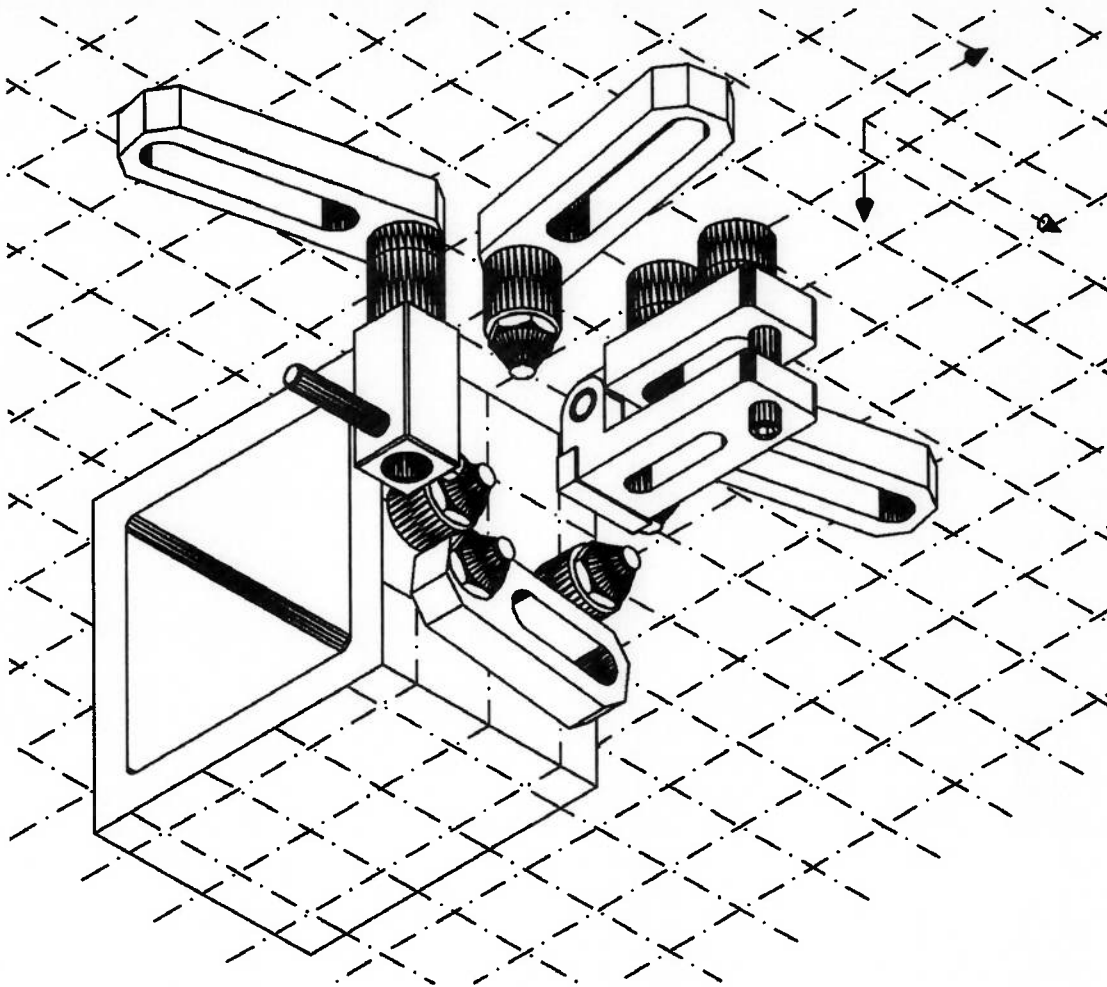


Figura 80 A montagem do dispositivo para o quarto "set-up" com os suportes universais e os calços de altura.

Figura 82 A matéria prima montada no dispositivo para a quarta sequência de usinagem, vista de dois ângulos.

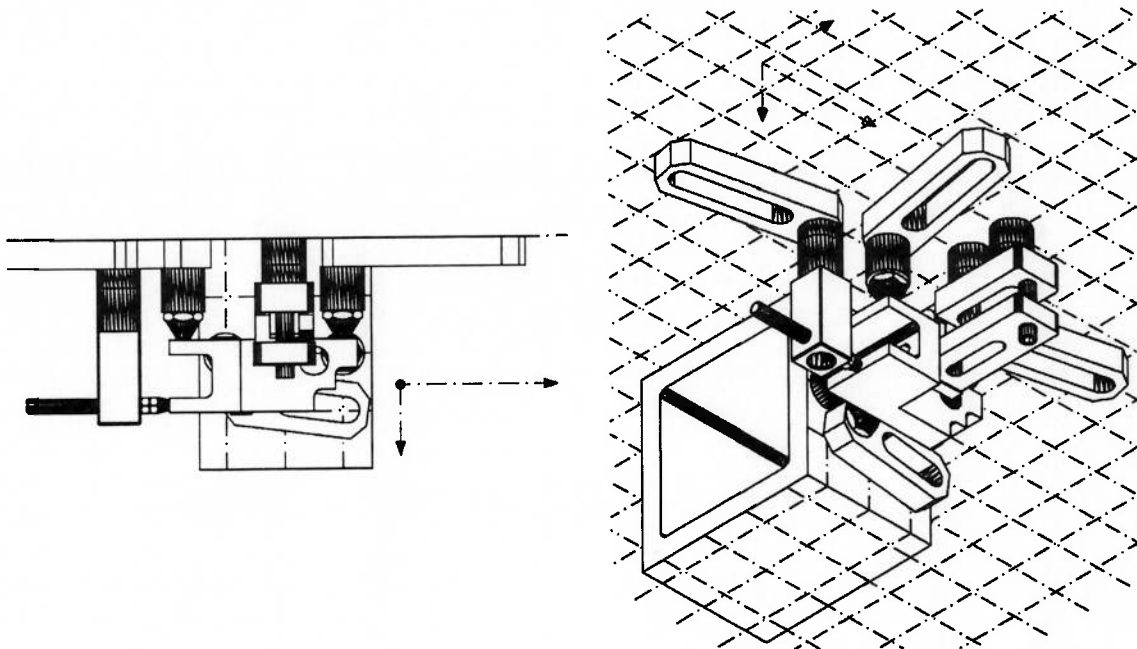
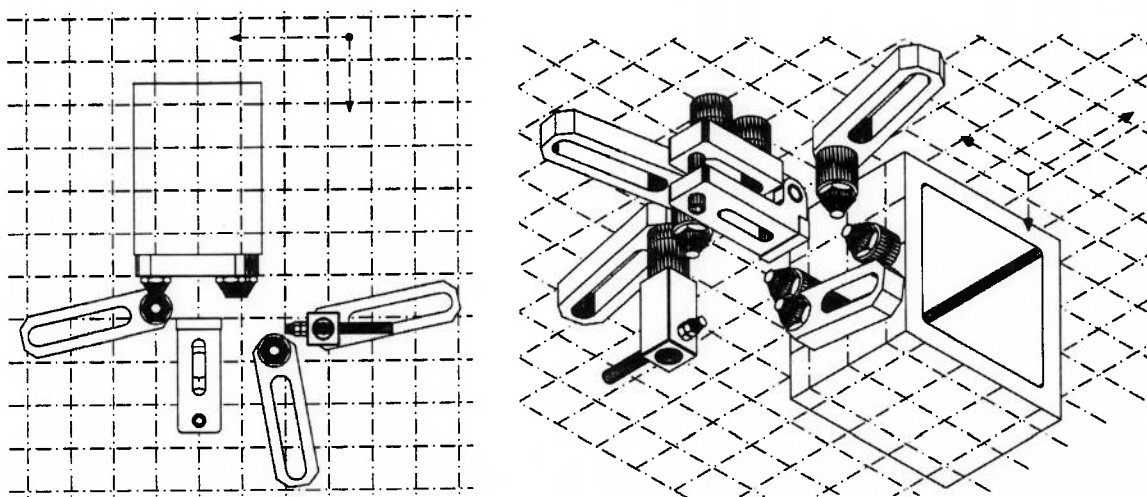


Figura 81 A montagem do dispositivo para o quarto "set-up" com os suportes universais e os calços de altura, vista de outros ângulos.



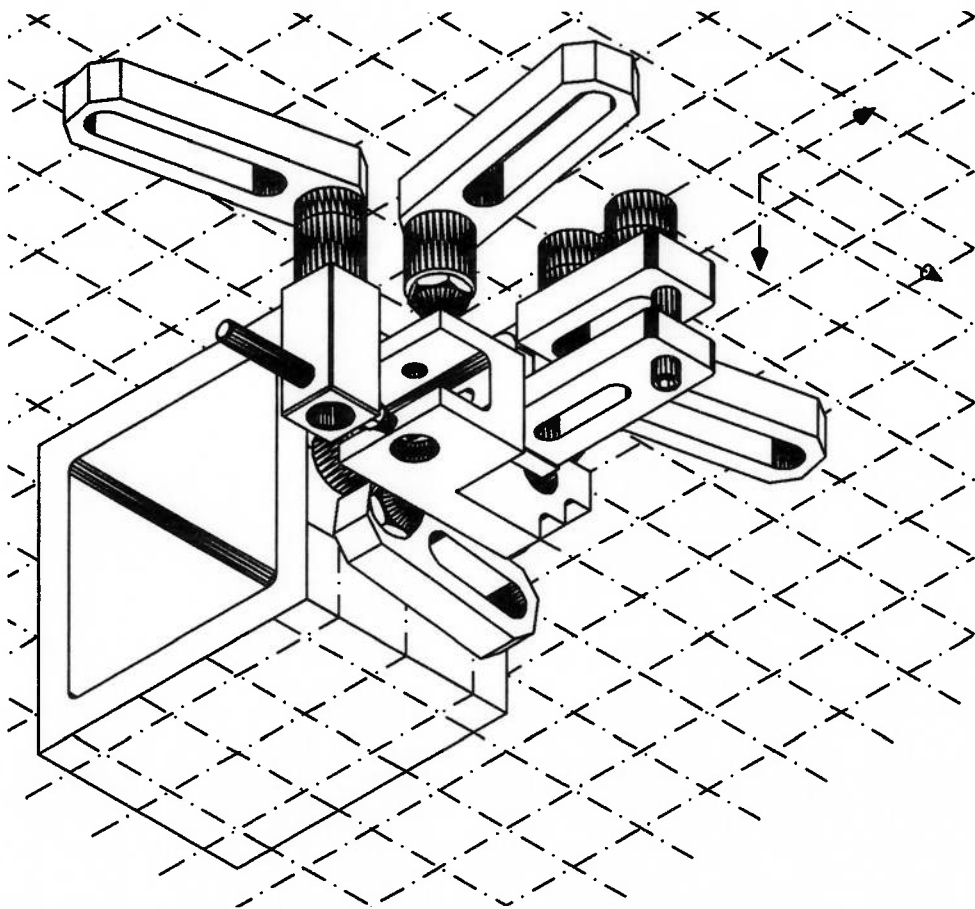
interpretação subjetiva. Pode-se observar que realmente a estrutura proposta conduz a Durante a execução manual da estrutura, buscou-se eliminar toda e qualquer

capítulos 3 e 4.

Os resultados apresentados neste capítulo foram obtidos com a fiel aplicação da estrutura proposta e do modo de operação de cada um dos módulos como descritos nos

5.8 Considerações finais sobre a estrutura

Figura 83 A peça já usinada na quarta e última montagem.



uma solução para o planejamento da fixação e para a definição do grupo de "features" a serem removidas em uma dada peça. O que valida a estrutura proposta, pelo menos no domínio de aplicação definido.

No entanto, como em diversas tarefas foram aplicadas regras heurísticas, é provável que existam casos que impliquem em um enriquecimento destas regras para possibilitar um correto funcionamento da estrutura, pois o uso de métodos heurísticos para planejamento da fixação, torna o sistema vulnerável a generalizações.

A substituição das regras heurísticas por algoritmos baseados em uma análise mais rigorosa da atividade de fixação pode ser também, um caminho a ser utilizado para melhorar a aplicação da estrutura.

Observando-se criticamente a estrutura, pode-se notar que o volume de informações necessários ao funcionamento é expressivo, o que implica na construção, manutenção e manipulação de Banco de Dados de grande porte. Destes Banco de Dados o que sem dúvida apresenta maior dificuldade em sua realização é o de processos, máquinas e ferramentas, que deverá conter informações de processos de fabricação, relacionados a cada tipo de "feature". Uma solução para seu desenvolvimento, é o da aplicação de domínios específicos de usinagem, desta forma restringe-se a aplicação da estrutura mas possibilita-se a construção de Banco de Dados menores.

Outra solução para este problema é fazer com que a tarefa de atribuição das informações de processo de fabricação para cada "feature", seja feita de forma interativa entre o homem e o sistema, ou seja o sistema apresenta em forma gráfica todas as "features" a remover e o homem define as informações de máquina, ferramenta, *vetor ferramenta-peça*, volume de exclusão e de dependências por sequência para cada "feature". A partir

destas informações o sistema reassume a execução automática das tarefas.

Outro ponto a ser analisado é o da manipulação das informações de ordem geométrica e topológicas, a princípio todas as ferramentas necessárias a manipulação destas informações já existem, resta verificar como seria seu funcionamento de forma integrada na estrutura.

A estratégia utilizada para obtenção da configuração do dispositivo de fabricação, o princípio 3-2-1, é uma técnica de aplicação geral, podendo ser aplicada em qualquer tipo de peça.

O que se altera quando mudamos o domínio de aplicação é a forma de se obter os planos primário, secundário e terciário, a localização, o número de apoios necessários e os tipos de contatos e vínculos entre peças e elementos do dispositivo de fixação, mas estas mudanças já foram estudadas e existe boa documentação a respeito (ROSSI(1971), DONALDSON et al (1973), POLLACK (1976), BARSOV(1978), HOFFMAN(1984), e RAMSAY(1984)).

Seria necessário transportar estes estudos para um formato adequado à estrutura, como o que foi realizado para peças prismáticas neste trabalho.

A estrutura proposta apresenta uma forma lógica e ordenada de manipular as informações fazendo com que o planejamento da fixação e a definição das sequências de usinagem ocorram de forma interativa, ela representa sem dúvida uma sistematização do planejamento da fixação e portanto serve como ponto de partida para sua automação.

CONCLUSÃO

6

Ao longo de todos os estudos que resultaram neste trabalho, foi observado a falta de uma abordagem sistemática para o planejamento da fixação, encontrou-se muito comumente regras orientativas para o projeto de dispositivos de fabricação, mas raramente técnicas para seu planejamento.

Isto advém de que até meados da década de 70, nos sistemas de produção predominavam as produções em grandes lotes, realizados com dispositivos de fixação dedicados.

Com o surgimento da necessidade de produção em pequenos lotes apareceram demandas por novas tecnologias, no sentido de viabilizar de forma econômica este novo modelo de produção.

Neste novo cenário aparece a necessidade do planejamento da fixação de forma automática. Em um primeiro instante para agilizar a própria tarefa de se obter dispositivos de fixação. Mas sem perder de vista que esta automação pode contribuir para o desenvolvimento da automação do planejamento do processo que é a ponte entre as tarefas de projeto e de fabricação.

Mas para que seja possível a criação de um sistema automático para o planejamento da fixação é necessário primeiramente cobrir a lacuna existente e se criar uma forma sistemática de planejar a fixação.

Este trabalho apresenta uma contribuição neste sentido, seu objetivo é o de apresentar uma formalização do planejamento da fixação de peças visando sua posterior automação.

Ao longo destes desenvolvimentos foi possível concluir que a tarefa do planejamento da fixação não ocorre de forma isolada, ela possui uma forte relação com a definição dos grupamentos que podem ser usados em uma mesma montagem.

Para compreender melhor estas relações, inicialmente foi realizado um estudo a respeito de quais as tarefas se relacionam de forma direta com o planejamento da fixação deste estudo resultou que prioritariamente o planejamento da fixação deveria ser realizado de forma interativa com a definição do grupo de "features" a serem usadas em uma dada montagem da peça.

Para possibilitar esta interação foi apresentada uma estrutura envolvendo as tarefas do planejamento da fixação e definindo como deveriam ser realizadas as tarefas do planejamento do processo de forma a possibilitar o funcionamento do planejamento da fixação proposto.

Nesta estrutura os volumes a serem removidos para a construção da peça são tratados como "features". A peça é então modelada com base nestas "features" e a cada "feature" são associados os potenciais processos de fabricação, são também obtidas as relações de precedência entre as "features".

Estas relações de precedência explicitam as dependências existentes entre as "features" originadas em função de características topológicas e/ou de referência existente entre elas.

Com base nestas informações as "features" são convenientemente agrupadas e para cada agrupamento obtêm-se uma configuração do dispositivo de fixação.

A obtenção do dispositivo de fixação é realizado utilizando-se do princípio 3-2-1 de locação isostática. As leis deste princípio foram transformadas em regras heurísticas, que permitem para o domínio de aplicação das peças prismáticas, obter os pontos necessários para o correto posicionamento e orientação da peça.

Para a consistente seleção dos elementos que irão compor o dispositivo de fixação foi criado um sistema de codificação e classificação, baseado em campos de informação, desta forma estruturou-se um Banco de Dados e critérios de seleção que são utilizados no momento da escolha dos elementos.

Finalmente para validar a estrutura, esta foi aplicada para gerar o planejamento de fixação de uma peça prismática sendo o resultado desta aplicação apresentado no capítulo 5.

A aplicação da estrutura, permitiu verificar que ela é eficaz em produzir o planejamento da fixação de uma peça e em agrupar as "features" a serem removidas. Em função do uso de regras heurísticas o sistema pode necessitar de complementação nestas regras para que seja aplicado para uma variedade maior de peças.

Mas isto não invalida a estrutura, pois o objetivo do trabalho como exposto em seu início era o de propor uma estrutura para o planejamento da fixação.

A forma de realização das tarefas apresentadas, não se esgotam neste trabalho, possivelmente existirão soluções mais elegantes, para a sua realização. O que se pretendeu, foi o de apresentar um ponto de partida e principalmente, mostrar que existe

a possibilidade de execução do planejamento da fixação da forma como proposto.

Neste trabalho apresentou-se uma proposta para a sistematização do planejamento da fixação, explorando e definindo, as principais interações entre as tarefas do planejamento do processo e da fixação, cobrindo inclusive aquelas deficiências encontradas nas abordagens, descritas no capítulo 2.

O sistema apresentado, dependendo do domínio de aplicação pode se tornar muito grande. Mas nesta fase, esta não foi a preocupação principal, é possível que com base neste trabalho se possa elaborar de forma mais adequada a execução das tarefas objetivando uma estrutura de implementação mais fácil.

No caso da estrutura proposta, sua implementação em domínios específicos de usinagem, propiciará uma diminuição no tamanho dos Bancos de Dados e também de suas rotinas de funcionamento propiciando melhor adequabilidade para implantação.

Possivelmente outro caminho para se iniciar a implementação da estrutura apresentada, seja com a criação de um sistema interativo em que algumas decisões e tarefas, a princípio sejam feitas pelo usuário e outras que já estejam melhor consolidadas sejam feitas de forma automática por um software.

É necessário ainda entriquecer os desenvolvimentos com critérios de otimização do dispositivo, com estudos sobre a influência da variação de posição e orientação da peça devida ao dispositivo sobre as dimensões geradas na usinagem, é necessário se proceder um estudo sobre as deformações decorrentes da aplicação das forças de sujeição e usinagem e sua influência na qualidade da peça fabricada, em fim muitos estudos precisam ainda ser feitos até que seja possível se obter um sistema para planejamento da fixação de uso irrestrito.

O planejamento da fixação é uma tarefa muito ampla e feita normalmente de forma empírica. Alguns estudos tentaram sistematizá-lo de modo a permitir sua automação, mas as abordagens empregadas consideravam apenas uma parte do problema.

A contribuição deste trabalho é o de apresentar uma sistematização do planejamento da fixação visto de uma forma um pouco mais completa, ensajando potenciais meios de realização das principais tarefas.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7

Existem desenvolvimentos que podem ser feitos para melhorar a estrutura proposta e outros que podem ser feitos para acrescer funções ao apresentado, a seguir são apresentadas algumas sugestões destes trabalhos:

- A elaboração de técnicas para localização e imobilização de peças menos dependentes de regras heurísticas;

- Incorporação a estrutura de outras técnicas de posicionamento e orientação como por exemplo o uso de furos que podem ser construídos em um apêndice da peça e que diminuem consideravelmente o número de elementos necessários para o dispositivo de fixação;

- Adaptação da estrutura proposta para aplicações em máquinas com mais de três eixos, o que deve diminuir o número de montagens necessárias, uma vez que a máquina pode aplicar ferramentas em mais de uma direção;

- Adaptação da estrutura para fixação de peças em outros tipos de máquinas como tornos, serras, máquinas de eletro-erosão etc...

- Um estudo sobre a influência do posicionamento dos elementos do dispositivo de fixação no resultado final de usinagem;

- Estudo da propagação de erros nas cotas usinadas devido as montagens sucessivas da peça no dispositivo;

- Incorporação à estrutura de técnicas de Tecnologia de Grupo que permitam que um planeamento já realizado possa ser utilizado em parte ou na sua totalidade para situações de similitaridade;
- Estudo das deformações decorrentes das forças de sujeição e de usinagem e a elaboração de métodos para se adicionar suportes para minimizar estas deformações;
- Desenvolvimento de técnicas que permitam o planeamento da fixação para mais de uma peça ao mesmo tempo na máquina de forma integrada, compartilhando alguns dos elementos do dispositivo;
- A elaboração de métodos de otimização para as configurações dos dispositivos de fixação;

8.1 Referências Bibliográficas

- ABOU-HANNA, J. and OKAMURA, K. Mechanical properties of steel pellets in particulate fluidized bed fixtures. Journal of Manufacturing Systems, Vol 10 Nº4, p. 307-313, 1991
- ABOU-HANNA, J. et al. Experimental study of static and dynamic rigidities of flexible particulate bed fixtures under external vertical and torque loads. Journal of Manufacturing Systems, Vol 13 Nº3, p. 177-189, 1994
- ASADA, H. and BY, A. B. Kinematic analysis of workpart fixturing for flexible assembly with automatically reconfigurable fixtures. IEEE Journal of Robotics and automation, vol RA 1 Nº2, p.86-94, June 1985
- BARSOV, A. Cutting tool production. Moscow, Mir Publishers, 1978. Cap.2, p.60-127: Work-holding devices in cutting-tool production
- CAILLAUD, E. et al. Sistema de fixação de peças: um conhecimento especializado. Máquinas e Metais, Ano XXX, Nº 346, p.26-33, 1994.
- CHAN, K. et al. A modular programmable fixturing system. ASME Journal of Engineering for Industry, VOL 113, p.93-100, Feb. 1991
- CHAN, K. et al. A reconfigurable fixturing system for robotic assembly. Journal of Manufacturing Systems, Vol 9 Nº3, p. 206-221, 1990
- CHANG, C. H. Computer assisted fixture planning for machining processes. Manufacturing Review, VOL 5 Nº 1, p. 15-28, 1992

CHANG, T. C. Expert process planning for manufacturing. Addison-Wesley Publishing Company, 1990

CHOU, Y-C. et al. A mathematical approach to automatic configuration of machining fixtures: analysis and synthesis. ASME Journal of Engineering for Industry, VOL 111, p.299-306, Nov. 1989

CUTKOSKY, M. R. and LEE, S. H. Fixture planning with friction. ASME Journal of Engineering for Industry, VOL 113, p.320-327, Aug. 1991

DeMETER, E. C. Min-max load model for optimizing machining fixture performance. ASME Journal of Engineering for Industry, VOL 117 p.186-193, may. 1995

DeMETER, E. C. Restrain analysis of fixtures which rely on surface contact. ASME Journal of Engineering for Industry, n° 2, VOL 116, p.207-215, may. 1994

DeMETER, E. C. The min-max load criteria as measure of machining fixture performance. ASME Journal of Engineering for Industry, VOL 116, p.500-507, nov. 1994

DONALDSON, C. et al. Tool design. 3° edição. s.l., Mc Graw-Hill Book Company, 1973

ENGLERT, P. J. and WRIGHT, P. K. Principles for part setup and working in automated manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, Vol 7 N°2, p. 147-161, 1988

FAIDHERBE, G. Máquinas boas, mas que podem ficar ainda muito meliores. Máquinas e Metais, Ano XXVII, N° 314, p.22-7, 1992

GANDHI, M. V. and THOMPSON, B. S. Flexible fixturing system for CIM environments. In: DROZDA, T. J., ed. JIGS AND FIXTURES. 3. ed. Dearborn, Michigan, SME, p.203-212, 1989.

GANDHI, M. V. AND THOMPSON, B. S. Fluidized bed fixturing. Manufacturing Engineering. VOL. 93, N° 6, pp 79-80, 1984

GANDHI, M. V. AND THOMPSON, B. S. Phase-change fixturing for FMS. Manufacturing Engineering. March 1986

- GRANT, H. E. Dispositivos em usinagem: Fixações, localizações e gabaritos não convencionais. Trad. Nivaldo Lemos Cupini e Lamartine Bezerra da Cunha, São Paulo, Liv Ciência e Tecnologia, 1982
- GUNN, T.G. Manufacturing for competitive advantage: becoming a world class manufacturer. New York, Ballinger, 1987
- HALEVI, G. and WEILL, R.D. Principles of process planning. London, Chapman & Hall, 1995
- HANADA, T.; BANDYOPADHYAY, B. P. and HOSHI, T. Implementation of low-volume FMS for prismatic components. Journal of Manufacturing Systems, Vol 14 Nº2, p. 91-108, 1995
- HAZEN, F. B. and WRIGHT, P. K. Workholding automation: innovations in analysis, design, and planning. Manufacturing Review, VOL 3 Nº 4, p.224-237, 1990
- HOCKENBERGER, M. J. and DeMETER, E. C. The effect of machining fixtures design parameters on workpiece displacement. Manufacturing Review, VOL 8 Nº 1, p.22-32, 1995
- HOFFMAN, E. G. Fundamentals of tool design. 2º edição, Dearborn - Michigan, Society of Manufacturing Engineers, 1984
- KING, L. S. and HUTTER, I. Theoretical approach for generating optimal fixturing locations for prismatic workparts in automated assembly. Journal of Manufacturing Systems, Vol 12 Nº 5, p. 409-416, 1993
- KOCH, D. H. Modular fixtures build fast, hold fast. In: DROZDA, T. J., ed. JIGS AND FIXTURES. 3. ed. Dearborn, Michigan, SME, pp.70-71, 1989.
- KOCH, D. H. Undedicated fixturing: a solution. In: DROZDA, T. J., ed. JIGS AND FIXTURES. 3. ed. Dearborn, Michigan, SME, pp.74-83, 1989
- KOU-REY, C. et all. Robot-assisted flexible fabrication. In: DROZDA, T. J., ed. JIGS AND FIXTURES. 3. ed. Dearborn, Michigan, SME, pp.159-185, 1989.
- KUSIAK, A. Intelligent manufacturing systems. Singapore, Prentice-Hall, 1990

- LEE, J. D. and HAYNES, L. S. Finite-element analysis of flexible fixturing system. ASME Journal of Engineering for Industry, VOL 109, p.134-139, May 1987
- LEPIKSON, H. A. Padronização e interação das unidades de fabricação, inspeção e manipulação de uma célula flexível de manufatura. Florianópolis, [cap 4]. Tese (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1990.
- MANGELS, M. Arts: etapa para a reengenharia de processo dentro da CIM. Máquinas e Metais, Ano XXX, Nº 346, p.84-89, 1994
- MARKUS, A. Strategies for the automated generation of modular fixtures. In Proceedings Manufacturing International, Vol 3 p. 97-104, ASME, 1988
- MENASSA, R. J. and DEVRIES, W. R. Optimization methods applied to selecting support positions in fixture design. ASME Journal of Engineering for Industry, VOL 113, p.412-418, Nov. 1991
- NEE, A. Y. C. et al. A knowledge-based CAD of jigs and fixtures. SME Technical Paper # TE85-902, 1985
- NNAJI, B.; ALLADIN, S. and LYU, P. A framework for a rule-based expert fixturing system for face milling planar surfaces on a CAD system using flexible fixtures. Journal of Manufacturing Systems, Vol 7 Nº3, p. 193-207, 1988
- NORELEM. Système modulaire. Ed. 1991 A. France 1991
- POLLACK, H. W. Tool design. Virginia, Reston Publishing Company, 1976.
- PORTO, A. J. V.; AGOSTINHO, O. L. Proposta de um método de integração entre o planejamento do processo e o planejamento e controle da produção. In: Anais XII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Vol III p. 1567-1570, Brasília, 1993
- QUEIROZ, A. A. Melhoria do processo contínuo como nova abordagem do CAPP. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Vol III, p. 1555-1558, Brasília, 1993
- QUEIROZ, A. A. and SILVA, A. D. P. Programação NC apoiada em dados fornecidos por sistemas CAD/CAPP. In: Anais X Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Vol II, p. 495-498, Rio de Janeiro, 1989

- RAMSAY, J. M. G. Introducción al diseño de ligas y fijaciones. Arica - Chile, Universidad de Taparaca, 1984.
- ROSSI, M. Utilidades mecánicas y fabricaciones en serie. Trad. de Ramon Fortet Gay. 3º edição. Barcelona, HOEPLI Editorial Científico-Médica, Cap. VII, p. 303-515; Elementos de los utillages, 1971.
- ROZENFELD, H. Desenvolvimento de um sistema integrado de CAPP para a realidade Brasileira. In: Anais X Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Vol II, p. 511-514, Rio de Janeiro, 1989
- ROZENFELD, H. Desenvolvimento de uma base de dados integrada para o planejamento do processo assistido por computador CAPP. In: Anais X Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Vol II, p. 515-518, Rio de Janeiro, 1989
- ROZENFELD, H. and MODOLO, D. L. Sistema modular de planejamento de processo (CAPP) visando padronização e maior velocidade ao planejamento do processo. In: Anais XI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. p. 591-593, São Paulo, 1991
- ROZENFELD, H. and RODRIGUES, R. S. Técnicas de inteligência artificial aplicadas em domínios específicos no planejamento do processo integrados ao CAPPE. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Vol III, p. 1595-1598, Brasília, 1993
- SAKURAI, H. Automatic setup planning and fixture design for machining, Journal of Manufacturing Systems, Vol 11, Nº 1, p. 30-38, 1992
- SAKURAI, H. Automatic setup planning and fixture design for machining. Tese (Doutorado) - Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1990
- SALERNO, M. S. Flexibilidade, organização e trabalho operatório: elementos para análise da produção na indústria. São Paulo, [cap 3] Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1991.
- SALISBURY, J. K. Kinematic and force analysis of articulated hands. In: BENI, G.; HACKWOOD, S. Recent advances in robotics. EUA, John Wiley & Sons, Cap. 4, p. 131-174, 1985

- SHRINZADEH, B. Issues in the design of the reconfigurable fixture modules for robotic assembly. Journal of Manufacturing Systems, Vol 12 Nº1, p. 1-14, 1993.
- SIMON, A. T. Sistemas de fixação de peças por morsas modulares. Máquinas e metais. Ano XXVII, Nº 309, p.22-24, outubro de 1991
- TRAPPEY, A.J.C. and MATRUBHUTAM, C. Fixture configuration using Projective geometry. Journal of Manufacturing Systems, Vol 12, Nº 6, p. 486-495, 1993
- WRIGHT, P. K. Principles of open-architecture manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, Vol 14, Nº 3, p. 187-202, 1995.
- ZEID, I. CAD/CAM: Theory and Practice. Singapore, McGraw-Hill, 1991. Cap 20, p.975-1031: Part Programming and manufacturing.
- ARAI, E. and IWARA, K. Sistema de modelamento no projeto conceitual de produtos mecânicos. Máquinas e Metais, Ano XXX, Nº 349, p.24-39, 1995
- CEGLAREK, D. and SHI, J. Fixture failure diagnosis for autobody assembly using pattern recognition. ASME Journal of Engineering for Industry, VOL 118, p.55-66, Feb. 1996
- MARTINS, F. P. et al. Inteligência artificial aplicada à integração CAD/CAM. In: Anais do X Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Vol II, p. 523-526, Rio de Janeiro, 1989
- OHWOVORIOLE, M.S. and ROTH, B. An extension of screw theory. ASME Journal of Mechanical Design, VOL 103, p.725-735, Oct. 1981
- RONG, Y. and BAL, Y. Automated generation of fixture configuration design. ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, VOL 119, Nº 2, p.208-219, May. 1997.

8.2 Bibliografia recomendada

ROSA, E. et al Uma base computacional para a engenharia simultânea. Maquinas e
Metals, Ano XXX, Nº 346, p.42-61, 1994

SARMA, S.E. and WRIGHT, P.K. Algorithms for the minimization of setups and tool
changes in "simple fixturable" components in milling. Journal of Manufacturing
Systems, Vol 15, Nº 2, p. 95-112, 1996

TOLEDO, C. F. M. et al. CAPP automático. In: Anais XII Congresso Brasileiro de
Engenharia Mecânica. Vol III p. 1767-1770, Brasília, 1993

TSUZUKI, M. S. G. Modelagem de sólidos: representação (B-rep) In: Anais VI
Siberapl. p. 1-17, 1993

TSUZUKI, M. S. G. et al. Modelagem de sólidos: representação por fronteira (B-rep)
In: Anais XI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. p. 611-614, São
Paulo, 1991

WELLS, D. Tecnologia de supervisão para sistemas flexíveis de manufatura.
Maquinas e Metals, Ano XXVII, Nº 325, p.48-64, 1993.

DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO FLEXÍVEIS

APÊNDICE A

DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO FLEXÍVEIS

Além do planejamento da fixação, o desenvolvimento de novos dispositivos de fixação tem merecido atenção de diversos pesquisadores a seguir apresenta-se um breve resumo sobre estes trabalhos apenas com a finalidade de ilustrar em que direção se encaminham os desenvolvimentos nesta área.

A.1 Dispositivos de fixação por mudança de fase

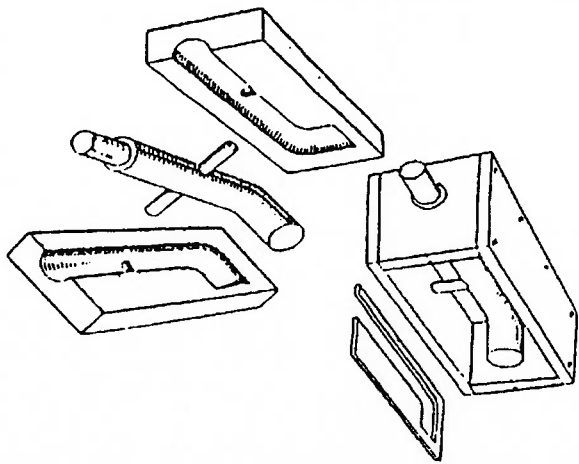
A concepção de fixação por mudança de fase se baseia na imersão da peça a ser fixada em um meio que no estado inicial permite com facilidade esta imersão. Após a imersão o meio muda de estado fixando a peça. Existem dois tipos de mudança de fase:

- mudança de fase autêntica;
- Pseudo mudança de fase

Na mudança autêntica de fase (figura A1) utiliza-se como meio de fixação um elemento que efetivamente muda da fase sólida para líquida e vice-versa, neste caso a peça e seu envoltório são fixados na máquina pelo uso de grampos, parafusos, morsa ou outro meio convencional.

Como elementos para mudança de fase, têm-se utilizado ligas com baixo ponto de fusão (ligas de bismuto por exemplo), polímeros termo-ativos e polímeros

eletro-ativos que quando na presença de campos elétricos, aumentam drasticamente sua viscosidade. Existem fluidos que com aplicações de campos elétricos de 2-4 kV/mm sofrem alterações na sua viscosidade passando de 50 centípoise



FONTE : LEPKSON (1990)

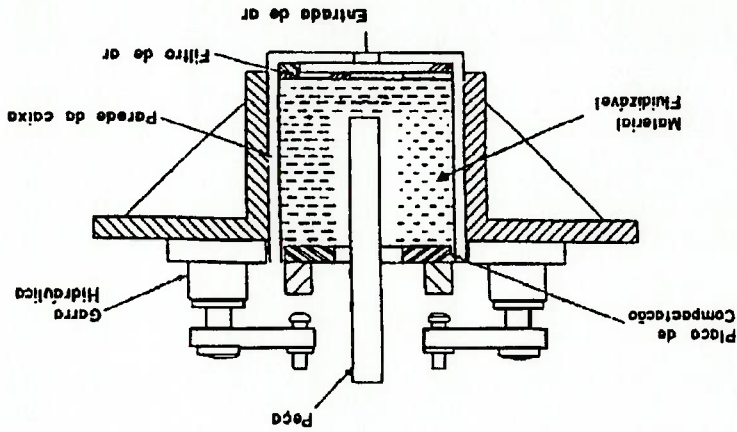
Figura A1 - Fixação por mudança autêntica de fase

para praticamente estado sólido, sendo capazes de resistir a tensões da ordem de 7-10 kPa.

Segundo GANDHI; THOMPSON (1984) nos sistemas de fixação por mudança autêntica de fase a quantidade de energia necessária para a mudança de fase, o tempo necessário para que ela ocorra e ainda a degradação do fluido são fatores que influem decisivamente no aspecto econômico e muitas vezes inviabilizam a utilização prática deste conceito. Um outro aspecto que não pode ser considerado são as consequências para a peça, da variação de temperatura a que esta estará submetida, nos casos em que o ativador da mudança de fase é o calor.

Uma outra alternativa que tem sido estudada é a chamada pseudo mudança de fase, nesta abordagem, conforme Figura A2, o meio que irá fixar a peça é constituído por um volume ocupado por diversas esferas metálicas com

diâmetros da ordem de 1mm, na parte inferior deste volume existe uma parede porosa cuja finalidade é a de distribuir um fluxo de ar por todo o volume. Quando da inserção da peça, a alimentação de ar é ativada e as partículas ficam imersas em um leito fluidizado, oferecendo pouca resistência a inserção da peça, terminada a colocação da peça o fluxo de ar é desligado e as esferas se acomodam em torno da peça, quando então é aplicada uma carga de compactação através de garras hidráulicas, aumentando a rigidez do sistema peça-estera.



FONTE: GANDHI; THOMPSON 1989

Figura A2- Dispositivo de fixação por pseudo-mudança de fase

Um dos primeiros a estudar esta concepção foi Gandhi e Thompson, eles analisaram o comportamento deste tipo de fixação para três tipos de carga externa (axial de extração, torcional e lateral), desenvolveram ainda um modelo matemático simples, seus estudos no entanto se limitaram ao comportamento do sistema sob cargas estáticas (GANDHI; THOMPSON -1989). Já ABU-HANNA et al (1991,1994) através de experimentos determinaram as propriedades mecânicas das partículas do leito fluidizado, verificando o

comportamento do sistema face a variação do tamanho das esferas, carga de compactação e comprimento de imersão, aprofundaram ainda o estudo do comportamento do sistema analisando sua resposta a solicitações dinâmicas e concluíram que com a aplicação de cargas de compactação da ordem de 690 kPa, a peça estará suficientemente imobilizada frente as solicitações das operações de usinagem em acabamento.

Mas os dispositivos de fixação por mudança de fase apenas imobilizam as peças, eles não conseguem localizar ou orientar peças. Por isto para aplicações em usinagem é necessário que a máquina ferramenta onde ele se aplica, disponha de um controle numérico adaptativo (CNA), que através de um apalpador eletrônico seja capaz de identificar a posição e orientação da peça e com estas informações possibilitar as correções necessárias para a perfeita execução da peça.

Para que estas correções sejam efetuadas, no caso genérico, a máquina ferramenta deve possuir no mínimo seis eixos (seis direções de movimento controladas pelo comando numérico da máquina), pois a geometria da peça que se usina é função também da orientação desta. Assim, por exemplo, para usinagem da face "A" da Figura A3, é necessário que o eixo da ferramenta esteja perpendicular a base e para que isto aconteça, deve-se inclinar a peça ou a ferramenta, não é possível apenas com a correção da trajetória obter esta perpendicularidade.

Por isto, a necessidade da máquina ferramenta de seis eixos, para seja possível compensar em qualquer direção os desalinhamentos, gerados pelo fato dos dispositivos de fixação por mudança de fase não orientarem as peças .

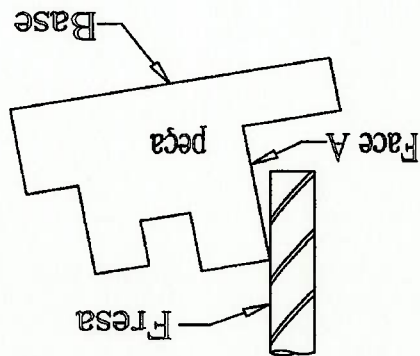


Figura A3- A importância da orientação peça ferramenta

A.2 Dispositivos de fixação conformáveis

Nesta concepção a intenção é que o dispositivo se deforme de modo a acomodar o formato da peça que se deseja fixar . Um exemplo, deste tipo de dispositivo está na Figura A4 destinada a fixação de pás de turbina. O dispositivo é constituído de diversos grampos (detalhe da figura) cada grampo possui na sua base diversas lâminas que são impulsionadas para cima através de molas ou ar comprimido as lâminas se amoldam à superfície côncava da pá, quando encontrada a posição correta as lâminas são então fixadas mecanicamente, através por exemplo, de um parafuso. A parte superior do grampo é constituída de uma cinta de "Kevlar" que é esticada acomodando a superfície convexa da peça. Um fixador, que pode ser hidráulico, se encarrega de manter a parte superior e inferior unidas de forma a imobilizar a peça.

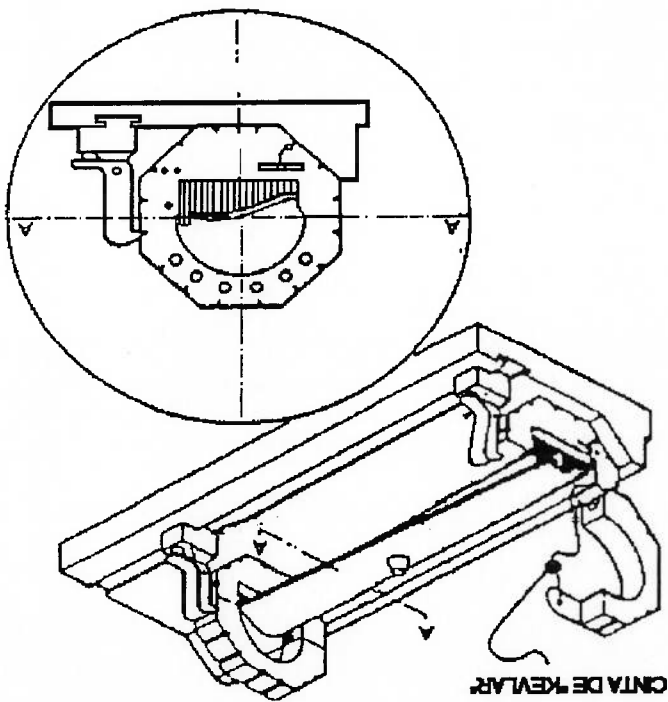


Figura A4- Dispositivo de fixação conformável usado para fixação de pá de turbina

A.3 Dispositivos de fixação configuráveis

Os sistemas *configuráveis* são aqueles que pelo reposicionamento e/ou troca de seus componentes se habilitam a fixar peças diferentes. Existem duas grandes famílias deste sistema: os configuráveis modulares ; e os configuráveis de forma automática, a diferença básica entre eles está no fato de que no segundo tipo, busca-se a automatização da configuração, seja pela ação de servomecanismos que reposicionam partes do dispositivo, ou seja pela ação de um robô que é capaz de montar e desmontar os componentes do dispositivos conforme a necessidade. Dentro deste conceito SHIRINZADEH (1993) apresenta um protótipo (Figura A5) de sistema flexível reconfigurável,

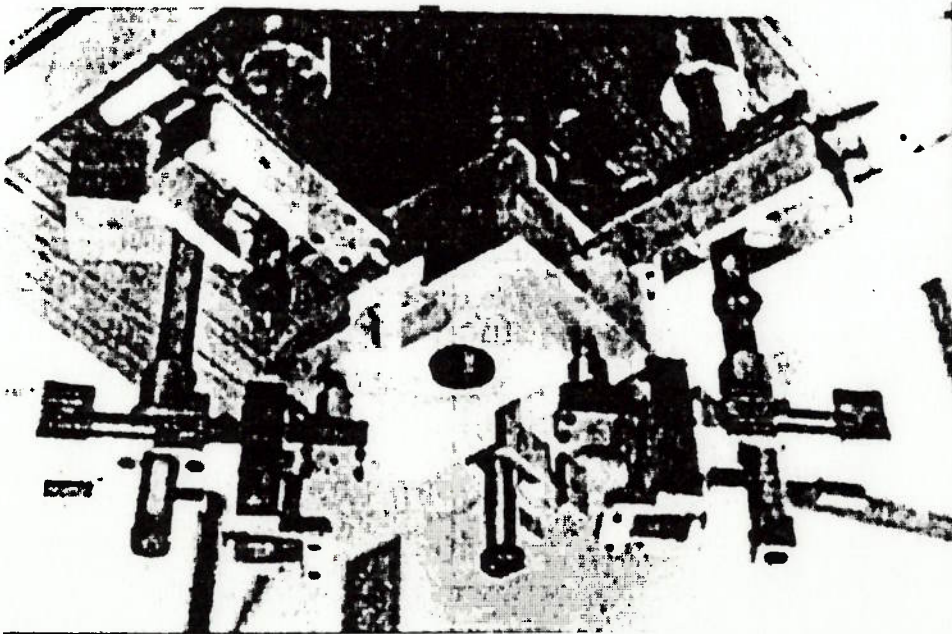
apenas de montagem.

flexibilidade da operação, mas a um custo relativamente alto e para aplicações Com o controle em malha fechada da operação, consegue-se maior precisão e placa base provida de uma matriz de furos.

fechada do dispositivo, os componentes são montados por um robô em uma componentes são providos de sensores que permitem um controle em malha sistema proposto é constituído de vários módulos também, só que todos os CHAN (1990,1991) na mesma linha propõe um sistema mais sofisticado, o montagem e não pode ser utilizado com peças ferromagnéticas.

dispositivo de fixação assim constituído serve para emprego nas operações de placa magnética que quando acionada fixa rigidamente os componentes, o facilitar sua manipulação por robôs, os módulos são posicionados sobre uma o sistemas é constituído de diversos módulos que foram projetados para

Figura A5- Exemplo de fixação de uma peça com o sistema proposto por SHIRINZADEH (1993)



KOU-REY et al (1989) apresenta um sistema automático (Figura A6) para montagem de dispositivos de fixação, onde o robô monta os acessórios de fixação que são utilizados para mobilizar trechos de tubos que serão cortados, dobrados e soldados e soldados de forma a constituir um tubo apropriado a ser utilizado em aeronaves.

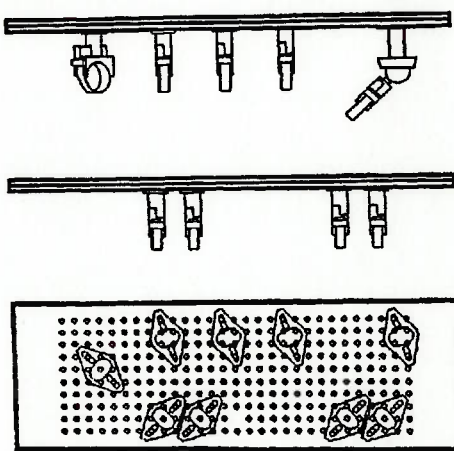


Figura A6- Desenho esquemático do sistema proposto por KOU-REY et al (1989)

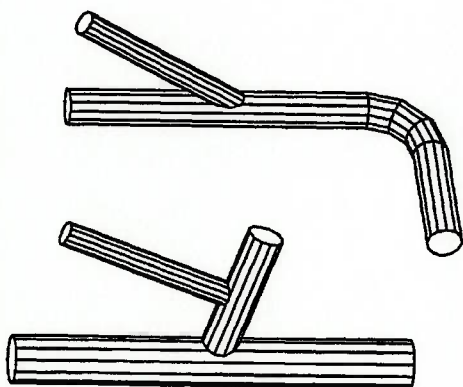


Figura A7- Exemplos de tubos fabricados com o gabarito montado pelo robô

Nestes sistemas, configuráveis pela ação de um robô, surgem diversos desenvolvimentos a serem efetuados:

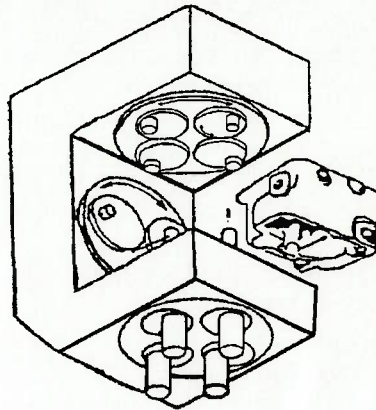
- Inicia-se com o projeto dos módulos de fixação que devem ser adequados a manipulação por robôs;
- exige-se o planejamento de todo o ambiente que circunda o robô, com previsão de magazines para armazenamento dos módulos e outros acessórios;
- é necessário o desenvolvimento de ferramentas computacionais para a programação do robô;

- e exige-se também o desenvolvimento de rotinas automáticas para o

planejamento da fixação.

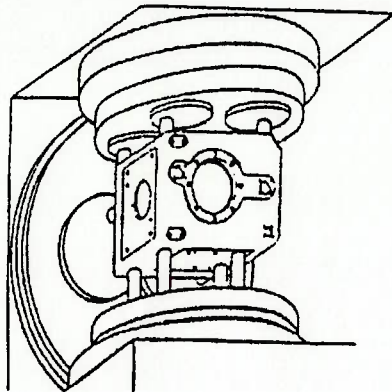
Mas, este último tópico tem sido negligenciado pelos pesquisadores. Em alguns casos nem um esboço de solução para o problema do planejamento é dado, parte-se do pressuposto que o planejamento da fixação já existe e desenvolve-se a programação do robô, com base neste planejamento já existente. Em outros casos utiliza-se rotinas simples, desenvolvidas para um caso particular e que não admite generalização. Nota-se novamente a falta de uma abordagem sistematizada para o planejamento da fixação.

Nas Figura A8 e Figura A9 pode-se observar exemplos de sistemas configuráveis automáticos com o uso de servomecanismos, nestes casos cabe ao servomotor a responsabilidade de implementar a alteração necessária para acomodar as diversas peças. Estes sistemas são relativamente caros, necessitam de um sistema de controle adaptativo complexo, o que atualmente os tornam inviáveis economicamente.



(a)

O sistema de fixação é constituído por 10 atuadores hidráulicos, montados sobre discos que giram tanto no sentido horário como anti-horário os discos por



(b)

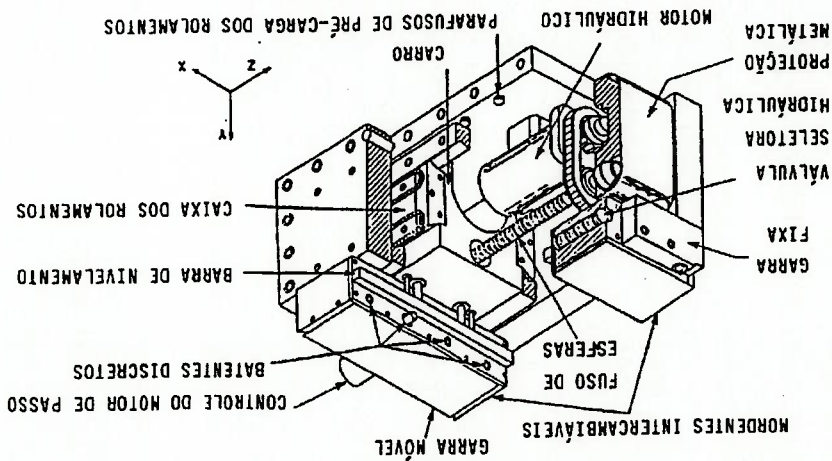
Com o conveniente posicionamento dos cilindros consegue-se a fixação de variados tipos de peça, originalmente o dispositivo foi idealizado para fixação

sua vez estão montados em tambores também giratórios, com isto pode-se posicionar os cilindros de forma que estes possam orientar, posicionar e mobilizar uma peça

de peças fundidas a serem usinadas em centros de usinagem horizontais

FONTE: HAZEN; WRIGHT (1990)

Figura A8- Sistema de fixação configurável por servomecanismos desenvolvido na Universidade de Stuttgart



Pesquisadores do National Institute of Standards and Technology (NIST), desenvolveram esta morsa reconfigurável automaticamente, barras de nivelamento servo controladas podem ser posicionadas na posição desejada para apoiar a peça, uma válvula seletora hidráulica seleciona que batedeira discreta será avançada para funcionar como localizador terciário. Um motor hidráulico fornece a energia necessária e possui controles que fazem compensação no caso da variação da temperatura. Os mordentes podem ser trocados (manualmente) para acomodar peças não prismáticas.

FONTE: LEPIKSON (1990)

Figura A9- Morsa reconfigurável automaticamente desenvolvida pelo NIST

Muitos destes desenvolvimentos estão sendo utilizados apenas a nível experimental, em laboratórios ou plantas piloto de produção. A nível industrial, os sistemas configuráveis do tipo modular, são os que têm maior aplicação no "chão de fábrica" no capítulo 4 estes sistemas foram brevemente discutidos.

O desenvolvimento de dispositivos de fixação é uma importante área de pesquisa. Além de realizarem a tarefa de posicionamento, orientação e mobilização das peças, influem decisivamente sobre os aspectos econômicos da usinagem. Por isto existe um grande número de pesquisas e desenvolvimentos sendo realizados nesta área, por indústrias e centros de pesquisa. As indústrias centram seu desenvolvimento no aumento da eficiência

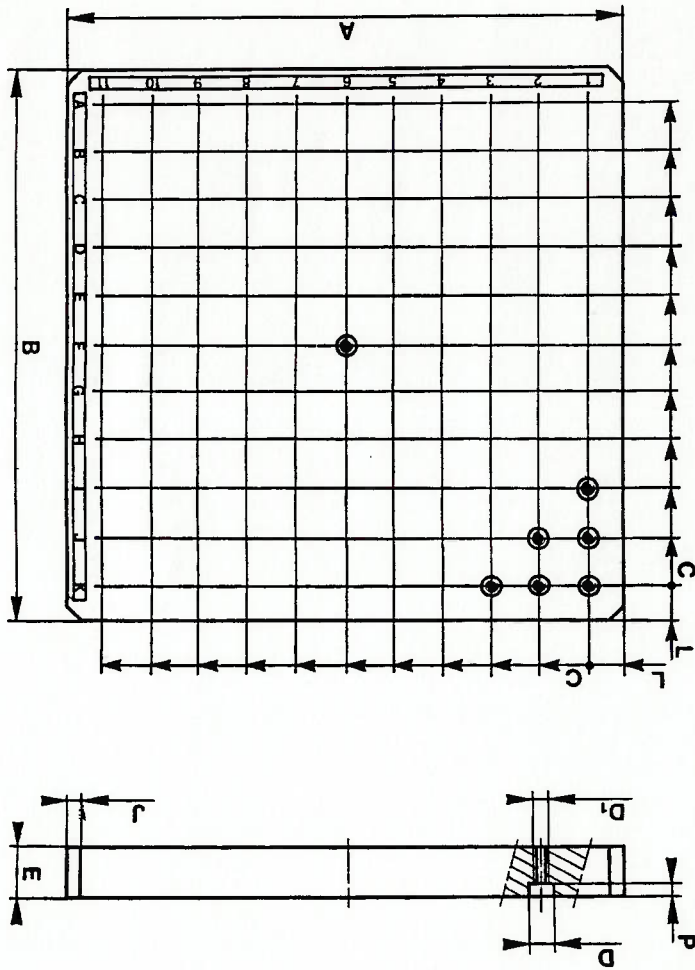
e precisão dos dispositivos e ainda na miniaturização como a que tem ocorrido com os atuadores hidráulicos empregados como elementos de sujeição. Já pelo lado acadêmico as pesquisas se direcionam para o desenvolvimento de dispositivos com mais flexibilidade e maior grau de automação.

DE ALGUNS ELEMENTOS MODULARES
CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS

APÊNDICE B

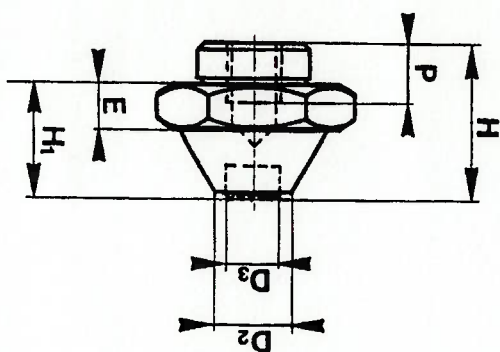
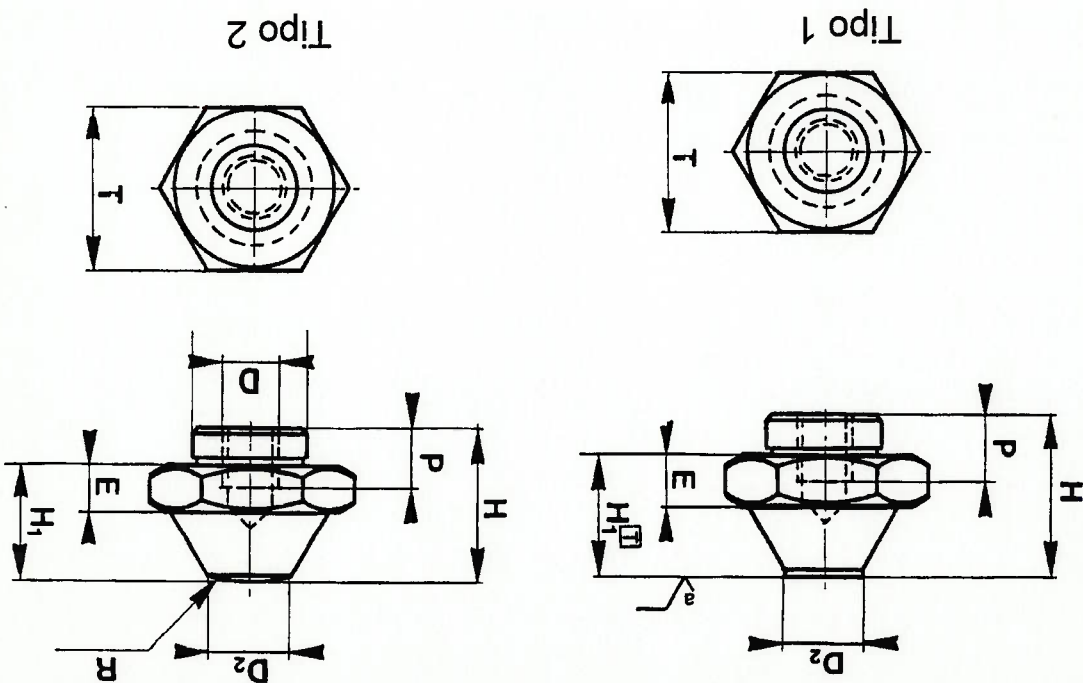
Neste apêndice, serão apresentadas as características dimensionais de alguns elementos modulares que compõe o sistema de fixação modular comercializado pela empresa francesa Norelem e que foram utilizados ao longo do capítulo 5.

1 BASE HORIZONTAL



NLN	2007 006 005	2007 006 010	2007 006 015	2007 010 010	2007 010 015	2007 010 020	2007 010 025	2007 010 030	2007 016 020	2007 016 025	2007 016 030
A	250	315	315	315	400	400	500	630	500	500	800
B	250	315	25	40	400	500	630	800	500	500	800
C	25	25	25	40	40	40	40	40	60	60	60
D	122	122	122	182	182	182	182	182	262	262	262
D ₁	M.6	M.6	M.6	M.10	M.10	M.10	M.10	M.10	M.16	M.16	M.16
E	30	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40
J	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
L	25	32,5	25	37,5	40	35	50	40	70	75	40
P	5	5	5	7	7	7	7	7	11	11	11
Rançães de trous	9	11	11	7	7	7	7	7	9	9	13
± kg	5	8	11	10	16	26	40	65	26	40	65

2 LOCALIZADOR VERTICAL

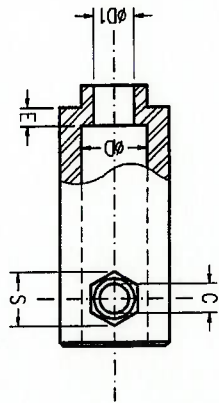


Tipo 3

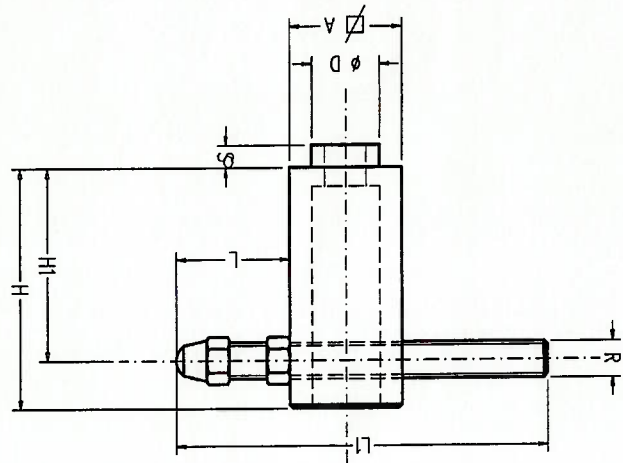
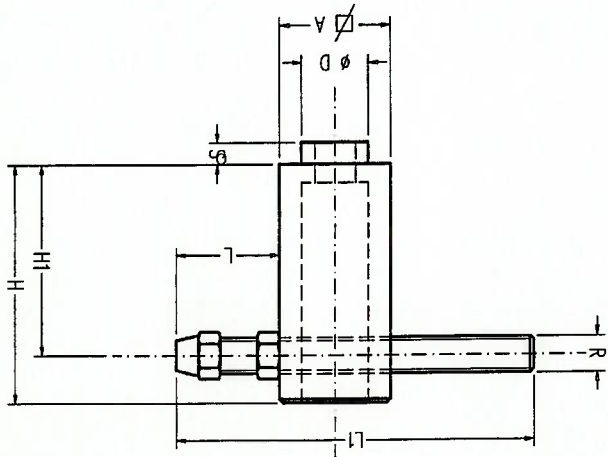
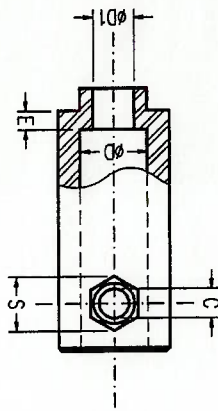
NLM	Type	D	D ₁	D ₂	D ₃	E	H	H ₁	P	R	T	fta gr
208 006 010	1	M.6	12	7	—	—	16	12,5	6	—	17	42
208 006 015	2	M.6	12	7	—	—	16	12,5	6	—	17	42
208 010 010	1	M.10	18	10	—	—	20	20	6	—	24	130
208 010 015	2	M.10	18	10	—	—	20	20	6	—	24	130
208 010 020	3	M.10	18	17	—	9,5	25	20	10	—	24	130
208 016 010	1	M.16	26	20	—	—	40	30	16	—	41	290
208 016 015	2	M.16	26	20	—	—	40	30	16	—	41	290
208 016 020	3	M.16	26	20	—	9,5	40	30	16	—	41	290

3 LOCALIZADOR HORIZONTAL

Ponta de contato plana lisa

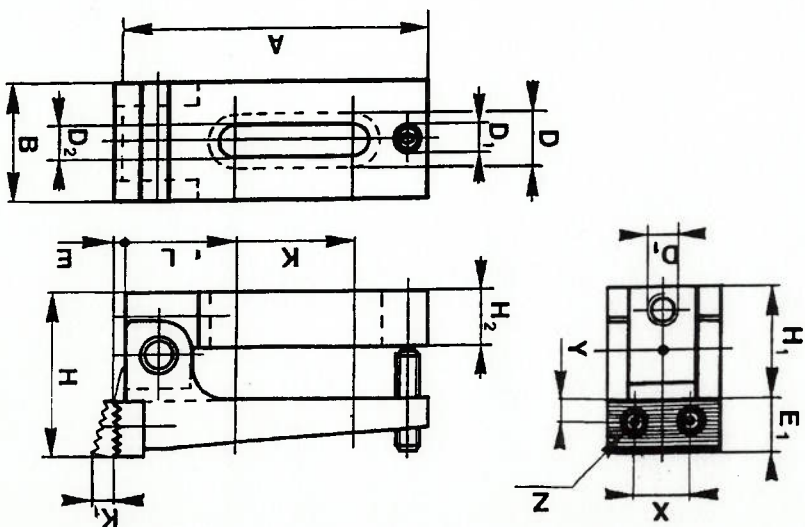


Ponta de contato esférica



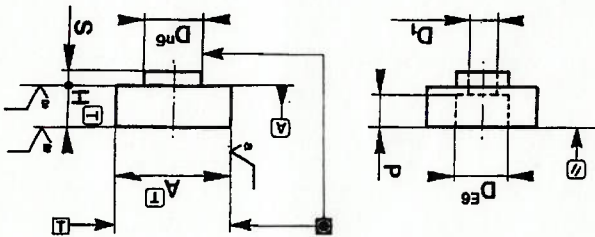
O	L	L (max)	A	D	D1	E	S	C	R	L1	H	H1	L	L (min)	L (max)
2128 016 005 / 216 016	20	12	7	3	8	4	M6	61	250	16	16	16	41	4	4
2128 016 001 / 216 016	20	12	7	3	8	4	M6	61	250	16	16	16	41	4	4
2128 010 005 / 216 010	30	18	11	5	13	8	M10	99	33	20	20	20	69	6	6
2128 010 001 / 216 010	30	18	11	5	13	8	M10	99	33	20	20	20	69	6	6
2128 010 005 / 216 010	30	18	11	5	13	8	M10	99	65	52	20	20	69	6	6
2128 016 001 / 216 016	50	26	17	8	20	12	M16	152	60	40	32	32	102	10	10
2128 016 005 / 216 016	50	26	17	8	20	12	M16	152	60	40	32	32	102	10	10

4 SUEITADOR HORIZONTAL

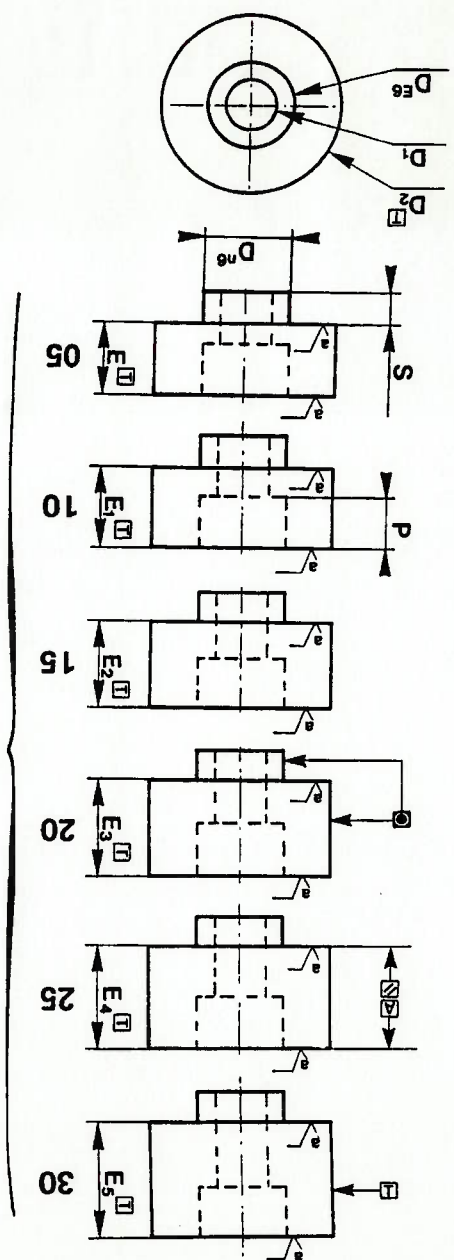


NLM	A	B	D	D ₁	D ₂	E	E ₁	H	H ₁	H ₂	K	K ₁	L	X	Y	Z	Dotille	Vis	± kg
451 006	65,5	25	12,2	M.6	7	2,5	11	35	24	13	25	2,5	24	12	4,5	M.3	006 016	*	0,24
451 010	105	40	18,2	M.10	11	4	18	56	38	20	40	4	39	20	8	M.5	010 026	*	0,97
451 016	161	58	26,2	M.16	17	7	30	90	60	30	60	7	63	32	13	M.10	016 040	*	3,8

5 CALÇOS

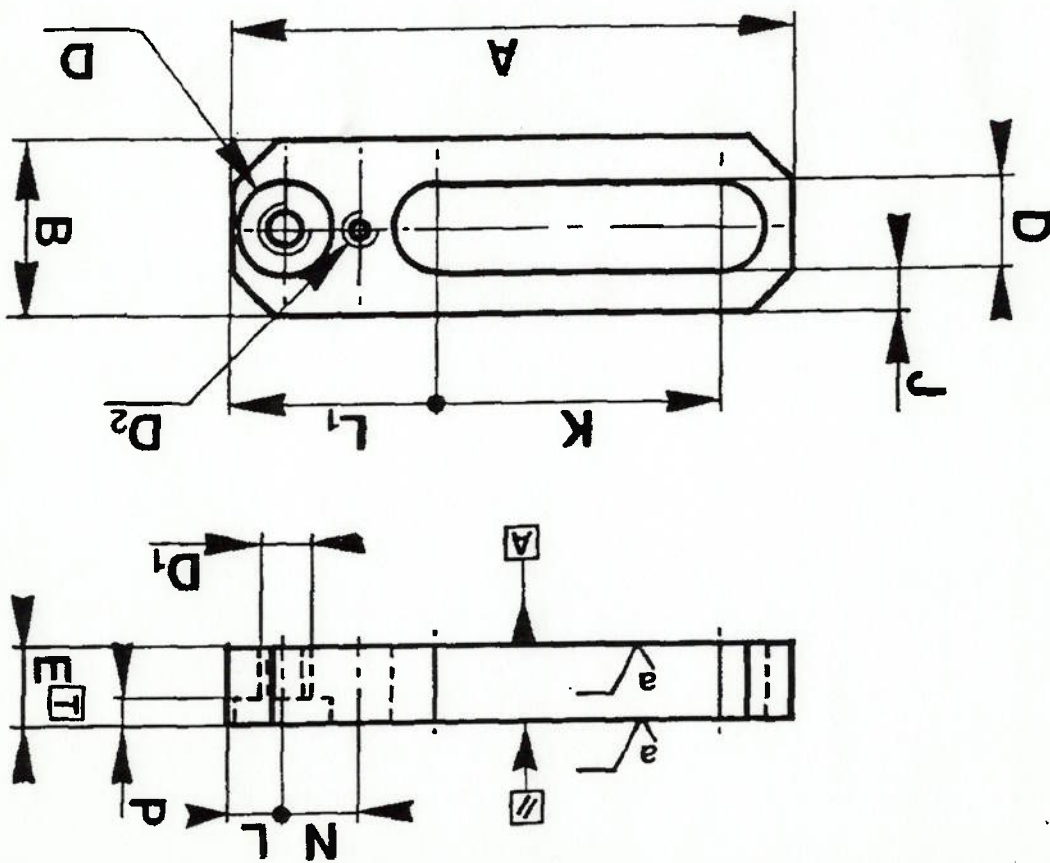


NLM	A	D	D ₁	H	P	S
2116 006 005	25	12	7	5,5	4,5	4
2116 006 010	25	12	7	9,5	7	4
2116 006 015	25	12	7	12,5	7	4
2116 010 006	30	18	11	8	6,5	6
2116 010 010	30	18	11	15	11	6
2116 010 015	30	18	11	20	11	6
2116 016 005	60	26	17	13	11	10
2116 016 007	60	26	17	15	11	10
2116 016 010	60	26	17	22	17	10
2116 016 015	60	26	17	30	17	10



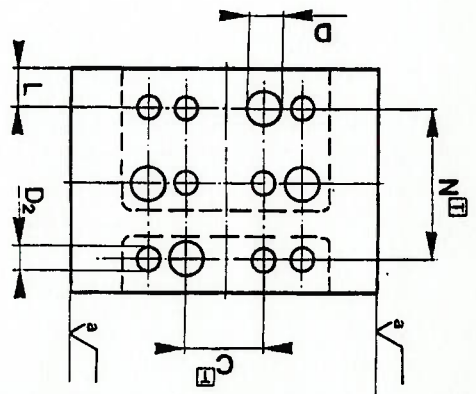
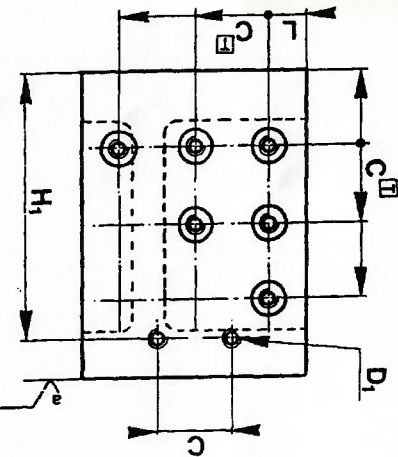
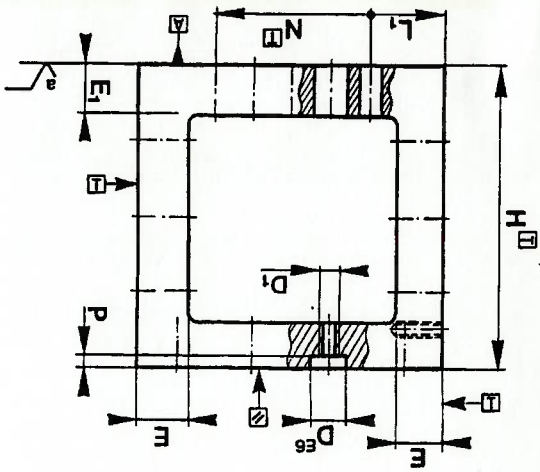
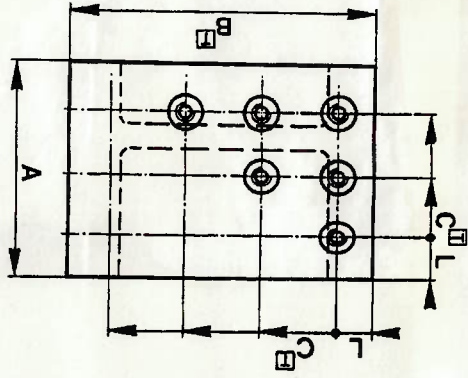
NLM	D	D ₁	D ₂	E						S
				E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	P	
2118 006 105	12	7	25	6.2	6.5	6.6	6.7	6.9	4.5	4
2118 006 115	12	7	25	6	9	10	11	13	4.5	4
2118 006 125	12	7	25	7	9	10	11	13	7	4
2118 010 105	18	11	30	9.9	10.2	10.3	10.4	10.6	6.5	6
2118 010 115	18	11	30	9	12	13	14	16	6.5	6
2118 010 125	18	11	30	10	12	13	14	16	11	6
2118 016 105	26	17	60	14.9	15.2	15.3	15.4	15.6	10	10
2118 016 115	26	17	60	14	17	18	19	21	11	10
2118 016 125	26	17	60	14	17	18	19	21	11	10

6 SUPORTES UNIVERSAIS



NTM	A	B	D	D ₁	D ₂	E	J	K	L	L ₁	L ₂	M	N	P
2146 006 003	64	24	12,2	M.6	M.4	12,5	6	25	8	31	10	4	4	4
2146 010 003	89	24	12,2	M.6	M.4	12,5	6	50	8	31	10	4	4	4
2146 010 006	100	39	18,2	M.10	M.6	20	10	40	12	45	16	6	6	6
2146 016 003	149	59	26,2	M.16	M.8	30	16	60	19	72	25	10	10	10
2146 016 006	209	59	26,2	M.16	M.8	30	16	120	19	72	25	10	10	10

2041 016 006	2041 010 006	2041 008 005	NL M
179	119	74	A
240	160	100	B
60	40	25	C
26	18	12	D
M.16	M.10	M.6	D ₁
17	11	7	D ₂
40	25	20	E
48	24	18	E ₁
240	160	100	H
210	140	87,5	H ₁
30	20	12,5	L
60	40	25	L ₁
120	80	50	N
10	6	4	P
			mini



7 BLOCOS